

# **Bau - Ressourcenmanagement in urbanen Räumen**

## **Fallstudie Wien**

Nachhaltiger Einsatz von Holz im Rohbau

### **Dissertation**

Erstellt von

Adolf Daniel Merl

Begutachtet von

O. Univ. Prof. DDI Wolfgang Winter

Institut für Architekturwissenschaften: Tragwerkplanung und Ingenieurholzbau

Technische Universität Wien

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Maydl

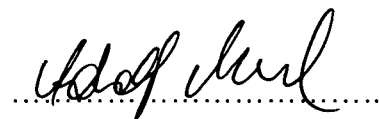
Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie

Technische Universität Graz

Eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

Wien, im September 2005



Dipl.-Ing. Adolf Daniel Merl

---

## **Vorwort:**

Die Anfänge und methodische Basis dieser Arbeit liegen im Jahr 1994, als ich im Zuge eines spannenden Vortrags über den „Urbanen Stoffhaushalt“ von Prof. Paul H. Brunner (Abteilung Abfallwirtschaft der TU Wien) mit dem Thema konfrontiert wurde. Es folgte die Diplomarbeit und Projektmitarbeit an der Abteilung Abfallwirtschaft, wo mir unter der Anleitung von Prof. Brunner und Hans Daxbeck die Methode der Stoffflussanalyse und das wissenschaftliche Arbeiten beigebracht wurden. Dafür, und für die bis heute stets offene Institutstüre möchte ich mich herzlich bedanken.

1998 kam es zur Mitarbeit am Lehrstuhl von Prof. Wolfgang Winter am Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau der TU Wien mit der Aufgabe, die Schnittstelle zwischen nachhaltigem Bauen und Tragwerksplanung zu besetzen. In dieser Zeit kristallisierte sich schließlich der Titel der vorliegenden Arbeit heraus. Für die Begutachtung der Arbeit und die vielen Diskussionen zum Thema sowie der Ermöglichung der gestalterischen Freiräume meiner Tätigkeit bin ich Prof. Winter sehr dankbar. Dank der Forschungs- und Lehrtätigkeit am Institut kam es auch zu unzähligen Kontakten, die direkt und indirekt auf das Entstehen der Arbeit Einfluss nahmen:

Meinen Dank möchte ich insbesondere Prof. Peter Maydl, Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie der TU Graz, für die Begutachtung der Arbeit sowie die wertvollen und wichtigen Kommentare und Anmerkungen aussprechen.

Durch die Teilnahme an den europäischen Programmen Cost<sup>1</sup> E9 (LCA of Forestry and Forestry Products) und Cost E31 (European Management of Recovered Wood) konnte ich mein Wissen über Ökobilanzen vertiefen. Mein besonderer Dank gilt Gerfried Jungmeier (Joanneum Research, Graz).

Vielen Dank allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Tragwerkslehre für das tolle Arbeitsklima. Direkten Einfluss auf die vorliegende Arbeit hatten Stefan Millonig mit seinem Wissen über Holz- und Forstwirtschaft sowie Fabian Dembski und Richard Hauck mit EDV – Tipps und Druck der Arbeit. Für anregende Diskussionen und moralische Unterstützung bedanke ich mich vor allem bei Katharina, Margit, Marjan, Kamyar, Martin, Oliver, Stefan und Wieland. In diesem Zusammenhang gilt mein Dank auch den zahlreichen Studentinnen und Studenten, die ich betreuen durfte, und die mir wieder viel zurückgegeben haben.

Mein besonderer Dank gilt meinen Kollegen Richard Obernosterer und Hans Daxbeck von der Ressourcen Management Agentur (RMA) für ihr Verständnis und ihre inhaltlichen Anregungen. Für Literaturtipps und inhaltliche Beiträge bedanke ich mich auch noch bei Ass. Prof. Heinrich Bruckner (TU – Wien, Institut für Hochbau und Technologie) und bei Frank Werner (Umwelt & Entwicklung, Zürich). Für das Feedback zum Abstract danke ich Katie Livesey (BRE, England and Wales) und meiner Schwester Christina.

Aber alles wäre ohne meine Eltern nichts geworden. Auf ihre volle Unterstützung und ihren Rückhalt ist immer Verlass. Danke!

---

<sup>1</sup> European Cooperation in the field of scientific and technical research.

---

## Kurzfassung

Die Bauordnung für Wien ermöglicht den Einsatz von Holzkonstruktionen in Gebäuden mit bis zu fünf Geschoßen. Diese Fallstudie konzentriert sich auf den urbanen Einsatz von Holz in tragenden Strukturen des Büro- und Wohnbaus in Wien und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit (z.B. Gestaltung der Nutzungskaskade, Ressourcenverfügbarkeit, etc.). Ein Schwerpunkt wird auf den Treibhauseffekt gelegt. Alle notwendigen Grundlagen werden im ersten Teil der Arbeit recherchiert und dokumentiert.

Für die Fallstudie Wien werden im zweiten Teil der Arbeit drei Szenarien mit unterschiedlich intensivem Holzeinsatz für die Herstellung der funktionalen Einheit, der gesamten 2001 in Wien errichteten Wohn- und Büronutzfläche, entwickelt. Szenario 1 zeigt den IST – Stand des Jahres 2001, Szenario 2 simuliert den gemäß Bauordnung maximal möglichen Holzeinsatz in den 2001 errichteten Gebäudebestand (alle Gebäude bis zu fünf Geschoßen werden in Holzbauweisen konstruiert, Gebäude mit mehr als fünf Geschoßen bleiben gegenüber Szenario 1 unverändert) und Szenario 3 simuliert die Errichtung der 2001 hergestellten Büro- und Wohnfläche ausschließlich in Holz- und Holzmassivmischbauweisen in maximal fünfgeschossigen Gebäuden.

Die Materialmengen für die drei Szenarien werden mittels Kombination von Daten aus der Statistik mit Bauweisen- und Grundrissanalysen errechnet. Die Modellierung der dazugehörigen Materialflüsse erfolgt mit der Methode der Stoffflussanalyse. Die Bewertung erfolgt aus einer Kombination der Methode der Stoffflussanalyse, der Methode des Kumulierten Energieaufwandes und der CML – Methode. Mit der Kombination dieser drei Methoden und der Verwendung der Datenbank Ecoinvent 2000 zur Berechnung der Umweltwirkungen wird eine Methode für ein Ressourcenmanagement im Bauwesen entwickelt, welches abhängig von der Zielsetzung und Fragestellung flexibel eingesetzt werden kann und sich für verschiedene Variantenvergleiche innerhalb des Systems eignet. Alle Güterflüsse werden systematisch erfasst und dargestellt, dadurch können auch einfach weitere Methoden in das Vorgehen integriert werden.

Zwischen 60 und 80 % der untersuchten Umweltwirkungen geschehen in der die Stadt mit Rohstoffen versorgenden Region (Hinterland). 2001 wurden im untersuchten System knapp 2,2 Mio. t an Baumaterialien eingebaut, über 95 % davon sind mineralischen Ursprungs (davon 80 % Beton). Stahl hat einen Anteil von 2,3 % und Holz von 1,15 % (Szenario 1). Szenario 2 führt zu einer jährlichen Reduktion der Materialmengen um 315.000 t. Dabei sind 92 % der Materialien mineralisch, 4,6 % sind Holz- und Holzprodukte (Mehrbedarf gegenüber Szenario 1 um 64.000 t) und 2,3 % Stahl. Bei Szenario 3 sinkt der Materialbedarf gegenüber Szenario 1 um 900.000 t/a. Dabei beträgt der Anteil der mineralischen Baumaterialien 81 %, 13,2 % sind Holz und Holzprodukte (Mehrbedarf gegenüber Szenario 1 um 152.000 t), der Anteil des Stahls macht ca. 2 % aus. Bei Szenario 3 verdoppelt sich der Anteil der Dämm- und Kunststoffe gegenüber Szenario 1. Das vorhandene Ressourcenpotential von Holz ist für alle betrachteten Szenarien ausreichend.

Um die Umweltbelastungen gering zu halten, muss Holz so eingebaut werden, dass es unbehandelt bleibt, eine lange Lebensdauer aufweist, ökonomisch und ökologisch effizient mit geringen Verlusten wieder ausgebaut und getrennt werden kann und dann wieder verwendet, recycelt oder thermisch verwertet werden kann („Design for Recycling“ und „Design for

---

Energy“). Die letzte Nutzung muss die Produktion von Energie sein, nur so kann ein Beitrag zum Klimaschutz mittels Substitution von fossilen Energieträgern erfolgen.

Das Lager wächst, für die nächsten 100 Jahre zeigt der Trend für Szenario 1 eine Verdopplung, für Szenario 2 ein Wachstum von 70 % und für Szenario 3 ein Wachstum von 50 % gegenüber dem Jahr 2001. Um das darin gebundene Ressourcenpotential zukünftig stofflich und energetisch nutzen zu können, ist die Kenntnis der stofflichen Zusammensetzung und die Form der Verfügbarkeit erforderlich.

Mit der Forcierung des Holzeinsatzes erhöht sich der Anteil an erneuerbarer Energie im betrachteten System, dieser beträgt bei Szenario 1 ca. 15 %, bei Szenario 2 rund 20 % und bei Szenario 3 ca. 30 %. Gegenüber Szenario 1 wird bei Szenario 3 der Bedarf nicht erneuerbarer Energieträger um ca. 15 % reduziert.

Der Treibhauseffekt beträgt für das Jahr 2001 bei Szenario 1 ca. 400.000 t CO<sub>2</sub> - Äquivalente, bei Szenario 2 rund 221.000 t (Reduktion um 179.000 t) und bei Szenario drei beträgt die Bilanzsumme aufgrund der Speicherung im Holzlager der Gebäude minus 20.000 t (Reduktion um ca. 420.000 t CO<sub>2</sub> - Äquivalente gegenüber Szenario 1). Damit könnte der in Wien verursachte Treibhauseffekt (9 Mio. t) um ca. 5 % gemildert werden. Zum Wiener Klimaschutzprogramm (2 Mio. t Reduktion der jährlichen treibhauswirksamen Emissionen) könnte Szenario 2 einen Beitrag von knapp 10 % und Szenario 3 einen Beitrag von ca. 20 % leisten. Der Variantenvergleich hinsichtlich der Verwertung bzw. Entsorgung von Bau- und Abbruchholz für Szenario 1 zeigt, dass mit einer Kombination von Recycling und Energiegewinnung gegenüber der Deponierung pro Jahr 83.000 t an treibhauswirksamen CO<sub>2</sub> - Äquivalenzemissionen vermieden werden können.

Der Landverbrauch ist beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe eine limitierende Größe. Gegenüber Szenario 1 benötigt Szenario 2 für die Gewinnung der Rohstoffe die 3,5 - fache Fläche und Szenario 3 die 7 - fache Fläche. Daher trägt Wiederverwendung und Recycling von Altholz vor allem zur Reduktion des Flächenverbrauchs und damit zur Naturraumschonung bei.

---

## Abstract

The Vienna Building Code allows for timber structures up to five storeys. This case study focuses on urban use of timber in load bearing structures in office- and residential buildings in the city of Vienna and its consequences for sustainability (e.g. design of the cascaded use, availability of resources, etc). A special emphasis is placed on its associated greenhouse effect. The first part of the study presents relevant basic principles.

In the second part, three scenarios of timber use for the functional unit are developed. For the purpose of this study, the functional unit is the offices and residential built up area of Vienna in 2001. Scenario 1 is a baseline of the actual state in the year 2001; scenario 2 simulates the maximum timber use as allowed by the Building Code in 2001 (i.e. all buildings up to five storeys are constructed with wooden structures, buildings with more than five storeys are constructed in their original structure like scenario 1); and scenario 3 simulates the use of solely mixed timber structures, the whole built up area as constructed in 2001 is situated in maximal five-storey office and residential buildings.

The amounts of materials used in the three scenarios are calculated by means of statistical data and an analysis of construction and ground plans. Material flows are modelled by a material flow analysis method. The assessment is based on a combining material flow analysis, the cumulated energy demand method and the CML method. To calculate environmental impacts Ecoinvent 2000 data were used. The author developed a resource management methodology for the construction sector that can be applied in flexible way. This methodology is able to compare different scenarios within a single system. As all material flows are systematically captured, other methods may easily be applied.

Between 60 and 80 % of environmental impacts analysed are taking place in the area which supplies Vienna with resources. As shown in scenario 1, in 2001, approximately 2.2 million tons of building materials were used in the system under investigation. Over 95 % were of mineral origin (80 % concrete); steel amounted to 2.3 %; timber amounted to 1.15 %; all other materials amounted to 1.55 %. In scenario 2, a reduction of materials by 315,000 tons is reached. Materials of mineral origin amount to 92 % and 4.6 % is timber and timber products, which in comparison to scenario 1 suggests an additional use of timber of 64,000 tons; additionally steel amount to 2.3 % and all other materials amount to 1.1 %. In scenario 3, the material used decreases by 900,000 tons against scenario 1. Building materials of mineral origin amount to 81 %; timber and timber products to 13.2 %. This indicates increase in wood used to total 152,000 tons compared to scenario 1. In this scenario, steel amounts to approximately 2 % and the amount of insulation and synthetic materials is double the amount of scenario 1. In all three scenarios, the potential of available timber is sufficient.

To minimise the adverse impacts on the environment non-treated timber with a long service life has to be used for structures. Furthermore, it is important that the timber can be dismantled, separated, reused, recycled or thermally used in an economically efficient way with low environmental impacts (e.g. "Design for Recycling" and "Design for Energy"). The final service life ought to be the production of energy as this is the only way to protect the climate by substitution for fossil fuels.

The stock of built in building materials grows and the trend shows an increase by 100 % over the next 100 years in scenario 1; an increase by 70 % in scenario 2; and an increase by

---

50 % in scenario 3, based on the year 2001. To enable efficient material and energy use of these stored building materials in the future, it is necessary to have a good knowledge of the built in materials and their future availability.

An increased use of timber results in an increased amount of resource for generating renewable energy in the system under investigation. This amounts to approximately 15 %, 20 %, and 30 % in scenario 1, 2 and 3 respectively. Compared to scenario 1, the demand of non-renewable energy in the system under investigation is reduced by about 15 % in scenario 3.

In scenario 1, the greenhouse effect amounts to approximately 400,000 tons of CO<sub>2</sub>-equivalents. In scenario 2, it amounts to approximately 221,000 tons (a reduction of 179,000 tons); and in scenario 3 the total CO<sub>2</sub> – equivalent emissions amounts to minus 20,000 tons due to storage in the timber stock of the buildings (a reduction by approximately 420,000 tons of CO<sub>2</sub> – equivalents).

Therefore, the greenhouse effect could be reduced by approximately 5 % in Vienna by scenario 3. Scenario 2 could contribute approximately 10 % to the Vienna Climate Protection Programme (an annual reduction by 2 million tons of emissions causing the greenhouse effect); and scenario 3 could contribute approximately 20 %. A comparison of various options for management of building and demolition of timber regarding utilisation and disposal shows that in scenario 1, a combined method of recycling and energy generation reduces the annual CO<sub>2</sub> – emissions compared to the option of landfill at approximately 83,000 tons.

The land use for raw material supply is a limiting factor in the use of renewable raw materials. Compared to scenario 1, scenario 2 uses the 3.5 -fold area, and scenario 3 the seven-fold area. This is why reuse and recycling of waste particularly contribute to the reduction of land use and therefore contribute to the protection of unspoiled nature.

---

## Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung.....	1
2	Zielsetzung und Fragestellung .....	2
3	Methodisches Vorgehen.....	4
4	Nachhaltigkeit, Bauwesen und Holz .....	6
4.1	Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung .....	6
4.2	Strategien im Umweltschutz im Wandel der Zeit.....	7
4.3	Das Bauwesen als Schlüsselprozess im Umweltschutz.....	8
4.4	Die Stellung der Bauwirtschaft in der österreichischen Volkswirtschaft .....	11
4.5	Der Einsatz der nachwachsenden Ressource Holz.....	12
4.6	Der Wald und seine Funktionen .....	13
4.7	Regionale und globale nachhaltige Verfügbarkeit von Holz .....	14
4.8	Fallbeispiel: Die Stadt Wien.....	19
5	Ökobilanzen und der regionale Stoffhaushalt: Methoden und Beispiele .....	20
5.1	Allgemeines .....	20
5.1.1	Ökologische Bewertung speziell für das Bauwesen: .....	21
5.1.2	Ganzheitliche, grundlagenorientierte Ansätze .....	22
5.1.3	EDV – Werkzeuge als Arbeitshilfen.....	23
5.1.4	Qualitative Checklisten als Orientierungshilfe für den Planer.....	23
5.1.5	Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie .....	23
5.2	Überblick internationaler Stoffhaushaltsstudien bis 1990.....	25
5.2.1	Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie .....	27
5.3	Nationale und internationale Stoffhaushaltsstudien seit 1990.....	28
5.3.1	Beispiel Dänemark.....	28
5.3.1.1	Allgemeines .....	28
5.3.1.2	Methodisches Vorgehen .....	28
5.3.1.3	Ergebnisse .....	28
5.3.1.4	Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie .....	29
5.3.2	Bewertung des regionalen Holzhaushaltes - Schweiz.....	30
5.3.2.1	Allgemeines .....	30
5.3.2.2	Methodisches Vorgehen: .....	30
5.3.2.3	Ergebnisse .....	30
5.3.2.4	Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie: .....	31

---

5.3.3	Österreich – Bauwerk Österreich.....	31
5.3.3.1	Allgemeines .....	31
5.3.3.2	Methodisches Vorgehen .....	32
5.3.3.3	Ergebnisse.....	32
5.3.3.4	Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie .....	35
5.4	Der Stoffhaushalt der Region Wien .....	35
5.4.1	Der anthropogene Stoffhaushalt der Stadt Wien – Projekt Pilot.....	35
5.4.1.1	Allgemeines .....	35
5.4.1.2	Methodisches Vorgehen: .....	36
5.4.1.3	Ergebnisse.....	36
5.4.1.4	Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie: .....	39
5.4.2	Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien .....	40
5.4.2.1	Allgemeines .....	40
5.4.2.2	Methodisches Vorgehen .....	41
5.4.2.3	Ergebnisse .....	41
5.4.2.4	Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie .....	43
6	Holz und CO <sub>2</sub> : Wichtige Aspekte für die vorliegende Arbeit.....	44
6.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen beim Baustoff Holz .....	44
6.2	Holz als Primärrohstoff .....	46
6.2.1	Ressourcenpotential im Österreichischen Wald .....	46
6.2.2	Holzschutz .....	48
6.2.3	Technische Eigenschaften und Kennzahlen von Holz.....	50
6.3	Holz als Sekundärrohstoff .....	51
6.3.1	Stoffliche Verwertung von Holz.....	51
6.3.2	Thermische Verwertung von Holz.....	55
6.4	Der Emissionshandel - Emissionszertifikate.....	56
6.4.1	Das Kyoto – Protokoll .....	56
6.4.2	Die Funktionsweise des Emissionszertifikatshandels.....	57
6.4.3	Die Treibhausgas Emissionen in Österreich und in Wien.....	59
6.5	Holzbildung und Kohlenstoffbindung im Holz .....	60
6.5.1	Holzbildung allgemein.....	60
6.5.2	Anrechenbare Kohlenstoffbindung im Bauholz.....	64
6.5.3	Regeln für eine nachhaltige Nutzung von Holz.....	68



---

7	Gängige Bauweisen in Wien und dazugehörige Materialmengen.....	70
7.1	Holzskelettbau .....	71
7.2	Holzrahmenbauweise .....	72
7.3	Holzskelettbau kombiniert mit Massivholzwandelementen.....	73
7.4	Holzmassivbauweise: Brettstapel und Beton.....	74
7.5	Massivbauweise: Ziegel und Beton .....	76
7.6	Massivbauweise: Beton.....	77
7.7	Historische Ziegelbauweise mit Holztramdecken .....	79
7.8	Kellergeschoss in Betonbauweise .....	80
8	Methodische Grundlagen und Beschreibung der neuen Methode .....	82
8.1	Die verwendeten Methoden zur Erfassung und Bewertung .....	82
8.1.1	Die Stoffflussanalyse .....	83
8.1.2	CML – Methode .....	84
8.1.3	Kumulierter Energieaufwand (KEA).....	85
8.1.4	ISO 14040ff.....	85
8.2	Auswahl der ökologischen Bewertungskriterien .....	87
8.2.1	Prinzipien einer nachhaltigen Entwicklung .....	87
8.2.2	Das Abfallwirtschaftsgesetz [AWG 2002]: .....	89
8.2.3	Kriterien des Wiener Bodenbereitstellungsfonds:.....	91
8.3	Wahl der Bewertungsindikatoren.....	92
8.4	Beschreibung der ausgewählten Bewertungsindikatoren.....	94
8.4.1	Güter- und Stoffflüsse – Systembildinterpretation .....	94
8.4.2	Regionales Ressourcenpotential .....	95
8.4.3	Energieeffizienz – Kumulierter Energieaufwand KEA.....	97
8.4.4	Treibhauspotential .....	97
8.4.5	Stratosphärisches Ozonabbaupotential.....	98
8.4.6	Versauerungspotential.....	100
8.4.7	Eutrophierungspotential.....	100
8.4.8	Photooxidantienpotential .....	101
8.4.9	Denaturierende Landbeanspruchung .....	102
8.5	Methodisches Vorgehen bei der Fallstudie Wien .....	102
9	Anwendung der Methode - Fallstudie Wien.....	105
9.1	Zielsetzung und Fragestellung.....	105

---

9.2	Wahl der funktionalen Einheit - Szenarien.....	106
9.3	Verwendete Methoden und methodisches Vorgehen.....	107
9.4	Untersuchungsrahmen .....	108
9.5	Systemanalyse und Systembeschreibung Wien.....	108
9.5.1	Allgemeines .....	108
9.5.2	Allgemeine Beschreibung des Bauwesens.....	109
9.5.3	Systemgrenzen.....	110
9.5.4	Subsysteme und Prozesse .....	112
9.5.4.1	Prozess Rohstoffgewinnung und Veredelung.....	115
9.5.4.2	Prozess Baumaterialproduktion und Vorfertigung .....	115
9.5.4.3	Prozess Verteilung von Baumaterialien .....	116
9.5.4.4	Prozess Hochbau.....	117
9.5.4.5	Prozess Tiefbau.....	121
9.5.4.6	Prozess Sekundärressourcenmanagement.....	122
9.6	Datenerfassung .....	133
9.6.1	Statistische Grunddaten für Wien .....	133
9.6.2	Grobbilanz des gesamten Hoch- u. Tiefbaus in Wien .....	139
9.6.2.1	Methodisches Vorgehen bei der Berechnung.....	139
9.6.2.2	Bestimmung der Inputflüsse für den Hoch- und Tiefbau Wien .....	140
9.6.2.3	Abschätzung des Lagers im Hoch und Tiefbau .....	142
9.6.2.4	Bestimmung der Outputflüsse Hoch- und Tiefbau Wien.....	147
9.6.3	Baumaterialinput für den Wohnungs- und Bürobau, Szenarios.....	149
9.6.4	Datenerfassung für die einzelnen Prozesse - Güterbilanz.....	159
9.6.4.1	Prozess Rohstoffgewinnung und Veredelung.....	159
9.6.4.2	Prozess Baumaterialproduktion und Vorfertigung .....	160
9.6.4.3	Prozess Verteilung der Baumaterialien.....	164
9.6.4.4	Prozess Errichtung von Wohn- und Bürobauten.....	166
9.6.4.5	Prozess Lager Wohn- und Bürobauten.....	172
9.6.4.6	Prozess Rückbau und Abbruch .....	174
9.6.4.7	Prozess Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung: .....	176
9.6.4.8	Prozess Tiefbau.....	179
9.6.4.9	Stoffliche Verwertung außerhalb des Systems .....	180
9.6.4.10	Prozess Deponie.....	180

---

9.6.4.11	Prozess Müllverbrennung .....	181
9.6.4.12	Prozess Thermische Verwertung – Kraft – Wärme – Kopplung .....	182
10	Bewertung – Ergebnisse der Fallstudie Wien.....	185
10.1	Güter- und Stoffflüsse.....	185
10.2	Regionales Ressourcenpotential.....	195
10.3	Lagerbeurteilung.....	199
10.4	Energieeffizienz – Kumulierter Energieaufwand KEA.....	202
10.5	Treibhauspotential .....	209
10.6	Stratosphärisches Ozonabbaupotential.....	213
10.7	Photooxidantienpotential .....	216
10.8	Versauerungspotential.....	218
10.9	Eutrophierungspotential.....	221
10.10	Landverbrauch.....	223
11	Variantenvergleich mittels der entwickelten Methodik.....	226
12	Schlussfolgerungen .....	236
13	Ausblick .....	242
14	Glossar .....	243
15	Abbildungsverzeichnis.....	247
16	Tabellenverzeichnis.....	249
17	Literaturverzeichnis .....	255
18	Anhang A: MIPS – Methode .....	268
19	Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen .....	270
20	Anhang A2: Holzlager Wien .....	286
21	Anhang A3: Nationaler Allokationsplan .....	288
22	LEBENS LAUF .....	289

# 1 Einleitung

Der Begriff „Nachhaltige Entwicklung“ (Sustainable Development) hat in nahezu alle Bereiche des menschlichen Handelns Einzug gehalten. Anfang der 1960er Jahre hat Rachel Carson mit ihrer Publikation „Silent Spring“ darauf aufmerksam gemacht, dass der Gebrauch von bis dahin als harmlos angesehenen chemischen Substanzen (DDT) weit reichende Konsequenzen auf die globalen Ökosysteme haben kann. Seit der Ölkrise in den 1970er Jahren ist der Menschheit bewusst, dass die Ressourcen der Erde nur in beschränktem Ausmaß zur Verfügung stehen. In den 1980er Jahren erkannte man die Wirkung von Ozon zerstörenden Gasen in Form des Ozonlochs und die Folgen für die menschliche Gesundheit. Der saure Regen und die dadurch verursachte Zerstörung der Wälder sorgten ebenfalls für Diskussionen. Momentan ist die globale Erwärmung durch den Treibhauseffekt das zentrale weltpolitische Thema im Bereich des Umweltschutzes. Die rasanten wirtschaftlichen Entwicklungen in China und der dadurch entstehende Druck auf die Ressourcenmärkte sorgt für steigende Rohstoffpreise und führt einmal mehr vor Augen, dass mit Ressourcen sparsam, also nachhaltig, umgegangen werden muss. In Österreich erregte Anfang des Jahres 2005 die Problematik des Feinstaubes Aufmerksamkeit, man darf auf das nächste in die politische und somit öffentliche Diskussion gebrachte umweltrelevante Thema gespannt sein.

Auch das Bauwesen stellt im Bereich des Umweltschutzes und des Ressourcenumsatzes einen wichtigen Sektor dar. Pro Einwohner werden jährlich 10 Tonnen an Material im Bauwesen bewegt, rund 60 % des Abfallaufkommens stammt aus dem Bauwesen. Diese Zahlen führen vor Augen, dass ein effizienter Umgang mit den Ressourcen unter Ausnützung der regional verfügbaren Potentiale ein wichtiger Beitrag zur Nachhaltigkeit sein kann. Gleichzeitig wird das Potential der nachwachsenden Ressource Holz momentan nicht optimal genutzt, das im Wald stehende Lager wächst.

Daher wird in der vorliegenden Arbeit anhand der Stadt Wien versucht, ein methodisches Vorgehen für ein Ressourcenmanagement für den Wohn- und Bürobau im Sinne des Vorsorgeprinzips zu entwickeln. Der vermehrte Einsatz des Baustoffes Holz und die damit verbundenen Wirkungen auf die Umwelt werden untersucht.

Die Arbeit besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen. Im ersten Teil werden die Aspekte der Nachhaltigkeit recherchiert, es werden mögliche zur Anwendung in Frage kommende Methoden samt dazugehörigen Bewertungsindikatoren gesucht und schließlich ausgewählt, vorhandene Literatur zum Thema Stoffhaushalt und Ressourcenmanagement mit Relevanz zum vorliegenden Thema wird vorgestellt und entsprechende Schlussfolgerungen für die vorliegende Studie werden gezogen, die gängigen Bauweisen im Wiener Wohn- und Bürobau werden analysiert, mögliche zur Anwendung kommende Holzbauweisen werden identifiziert und analysiert und schließlich werden alle für die Holzverwendung wichtigen Aspekte untersucht und dokumentiert. Im zweiten Teil folgt die Entwicklung des methodischen Vorgehens anhand einer Fallstudie für die Stadt Wien. Es werden drei Szenarien mit unterschiedlichem Holzeinsatz entwickelt, die dazugehörigen Güterflüsse erfasst und schließlich bewertet.

## 2 Zielsetzung und Fragestellung

Ziel der Arbeit ist die Abschätzung der Auswirkung auf den Treibhauseffekt bei erhöhtem Einsatz des Baustoffes Holz im Wohn- und Bürobau. Dabei soll auch der Vorschlag für ein methodisches Vorgehen für das Bauwesen erarbeitet werden, welches den Ressourcenverbrauch und die Auswirkungen auf die Umwelt über den gesamten Lebenszyklus systematisch erfasst, bewertet und steuert. Damit soll eine Basis für die weitere Entwicklung eines Instruments für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement im Bauwesen entwickelt werden, welches einen Beitrag zum Schutz des Menschen und der Umwelt sowie den vom Menschen geschaffenen Kulturgütern leistet.

Dies soll die anhand einer Fallstudie am Beispiel des Wohn- und Bürobaues der Stadt Wien für das Jahr 2001 entwickelt und erprobt werden. Speziell sollen die Auswirkungen auf den Treibhauseffekt durch unterschiedlich intensive Verwendung von Holz in drei Szenarien untersucht werden.

In Szenario 1 wird der tatsächlich gebaute Ist-Stand des Wohn- und Bürobaues der Stadt Wien erfasst und bewertet.

In Szenario 2 wird angenommen, dass im 2001 errichteten Gebäudebestand des Büro- und Wohnbaues eine maximale Nutzung des Baustoffes Holz unter Einhaltung der Bestimmungen der Bauordnung für Wien erfolgt. Das bedeutet, dass alle Gebäude bis zu fünf Geschossen in geeigneten Holz- und Holzmischbauweisen konstruiert werden und somit Ziegel- und Betonbauweisen aller 2001 errichteten Gebäude bis zu fünf Geschossen ersetzen.

In Szenario 3 wird der gesamte 2001 errichtete Wohn- und Bürobau ausschließlich in Holz- und Holzmischbauweisen konstruiert. Damit Szenario 3 der Wiener Bauordnung entspricht wird die zu Szenario 1 und 2 äquivalente Nutzfläche in maximal fünfgeschossigen Gebäuden untergebracht. Die damit verbundenen städtebaulichen Konsequenzen werden in diesem theoretischen Szenario, welches die Obergrenze des möglichen Holzeinsatzes darstellt, nicht berücksichtigt.

Die drei Szenarien werden in Kapitel 9.2 näher vorgestellt. Bei der Ermittlung der Materialmengen werden die tragenden Strukturen, die Wärmedämmsysteme und die Bodenaufbauten bis Estrichoberkante in das System aufgenommen. Damit wird die funktionale Äquivalenz der drei Szenarien und somit die Vergleichbarkeit des Nutzens sichergestellt. Der jeweilige Holzverbrauch der einzelnen Szenarien soll mit dem regional nachhaltig zur Verfügung stehenden Holzpotential verglichen werden. Damit ist gemeint, dass der Mehrbedarf an Holz aus geografisch möglichst nahe an Wien liegenden Wäldern aus der Steiermark und aus Niederösterreich kommen soll. Aus Vereinfachungsgründen werden die Markteinflüsse mit den damit verbundenen Importen und Exporten von Holz nicht berücksichtigt.

Die Speicherung von Kohlenstoff und damit CO<sub>2</sub> – Äquivalenten im Gebäudelager sowie der Substitutionseffekt durch die energetische Verwertung von Bau- und Abbruchholz anstatt von fossilen Brennstoffen soll in Relation zu den gesamten treibhauswirksamen Emissionen der Stadt Wien gesetzt werden, um einen Referenzwert für die Bedeutung der Auswirkungen auf den Treibhauseffekt zu erhalten. Es soll auch die Frage geklärt werden, ob mit dieser Art der

Bindung von CO<sub>2</sub> – Äquivalenten und der Substitution fossiler Energieträger für den Emissionshandel ein Potential erschlossen werden kann. In diesem Zusammenhang soll auch ein Konzept für ein optimiertes Altholzmanagement entwickelt werden.

Das methodische Vorgehen soll so gestaltet werden, dass je nach Problemstellung, Zielsetzung und Fragestellung einer Region und ihres Hinterlandes eine flexible Anwendung des Vorgehens erfolgen kann. Das Hinterland stellt einerseits das die Stadt Wien mit Roh- und Baustoffen versorgende System dar und andererseits finden dort auch Entsorgungsprozesse für die Stadt Wien statt. Flexibilität ist vor allem hinsichtlich regionaler Anpassbarkeit, Wahl des Untersuchungsrahmens, der Systemgrenzen und Auswahl der Bewertungskriterien entsprechend der Problemstellung gefordert. Mit dem methodischen Vorgehen soll das zu versorgende Gebiet (in der Fallstudie das Subsystem „Stadtgrenze Wien“) mit dem versorgenden Gebiet (in der Fallstudie das Subsystem „Hinterland“) verknüpft werden um so regional verfügbare Potentiale optimal einzusetzen. Die Einhaltung der Kriterien der Nachhaltigkeit und der regional limitierenden Faktoren wie beispielsweise im konkreten Fall das nachhaltig nutzbare Ressourcenpotential von Holz sind die Leitlinien bei der Erarbeitung der Methode.

### **Daraus ergibt sich die folgende Fragestellung:**

1. Welche Studien und Methoden sind verfügbar, die regionales Ressourcenmanagement und ökologische Bewertung unterstützen und den urbanen Metabolismus sowie die stoffliche Zusammensetzung der gebauten Infrastruktur beschreiben, und welche Erkenntnisse und Schlussfolgerungen können daraus für diese Studie gewonnen werden?
2. Welche Bewertungskriterien und Bewertungsindikatoren eignen sich zur ökologischen Bewertung der innerhalb eines Jahres hergestellten Wohn- und Büronutzfläche und welche Kriterien müssen erfüllt werden?
3. Wie kann das System „Wohn- und Bürobau der Stadt Wien samt Hinterland“ und dessen Stoffhaushalt beschrieben werden und welche Prozesse werden benötigt?
4. In welchen Bereichen ist der Baustoff Holz in den tragenden Strukturen sinnvoll einsetzbar und wie können daraus die Szenarien 1, 2 und 3 entwickelt werden?
5. Welche Holzmengen aus welchen Regionen müssen für die Szenarien 2 und 3 zusätzlich zur Verfügung gestellt werden und welche Auswirkungen sind zu erwarten?
6. Was sind die Konsequenzen für die treibhauswirksamen Emissionen und ergeben sich daraus Perspektiven für den Emissionshandel?
7. Welchen Einfluss hat die Bewirtschaftung des Holzlagers des Gebäudebestandes und damit verbunden das Management des Bau- und Abbruchholzes auf den Treibhauseffekt?
8. Wie schaut die Datenverfügbarkeit und Datenqualität aus, welche Maßnahmen müssten für eine praktische Implementierung zusätzlich gesetzt werden?
9. Welche Konsequenzen, Schlussfolgerungen und Empfehlungen ergeben sich aus den Ergebnissen und welche Zukunftsperspektiven können gezeichnet werden?

### 3 Methodisches Vorgehen

Im Zuge der Ermittlung der Grundlagen für die Fallstudie Wien werden die anschließend aufgelisteten Arbeitsschritte durchgeführt:

- Allgemeine Beschreibung der Nachhaltigkeit mit speziellem Bezug zur Regionalentwicklung und zum Bauwesen sowie Aspekte zum Thema Holz als Rohstoff.
- Kurzbeschreibung des regionalen Stoffhaushaltes und der Methoden, mit denen der regionale Stoffhaushalt erfasst und beschrieben werden kann. Konkrete Beispiele aus der Literatur werden beschrieben und Schlussfolgerungen für diese Arbeit werden gezogen.
- Für diese Arbeit wichtige Aspekte bezüglich der Bauordnung für Wien, Grundlagen über den Baustoff Holz als Primär- und Sekundärressource (Rohstoffverfügbarkeit, Holzschutz, technische Eigenschaften und Kennzahlen, Verwertungsmöglichkeiten usw.) werden erarbeitet.
- Darstellen und Beschreiben der Prinzipien des Emissionshandels mit treibhauswirksamen Emissionen - Emissionszertifikate.
- Beschreibung der Holzbildung und der damit verbundenen Kohlenstoffbindung im Holz.
- Beschreibung und Analyse der 2001 in Wien angewandten Bauweisen sowie Analyse und Auswahl der für urbane Räume geeigneten Holz- und Holzmischbauweisen. Ermittlung des Baumaterialbedarfs der analysierten Bauweisen pro Quadratmeter Nutzfläche.
- Auswahl der dieser Studie konkret zugrunde liegenden Methoden. Zum einen sind das die Erfassungsmethoden zur Beschreibung und Modellierung der Güterflüsse und zum anderen die darauf aufgesetzten Bewertungsmethoden.
- Analyse möglicher Bewertungsindikatoren und Festlegung der tatsächlich verwendeten Bewertungsindikatoren sowie deren Beschreibung. Es werden globale, regionale und lokale Umweltwirkungen beschrieben, erfasst und bewertet, wobei diese einzelnen Indikatoren nicht gewichtet werden. Die Auswahl der Bewertungskriterien beruht auf drei Ebenen: der globalen Ebene mittels der allgemein anerkannten Nachhaltigkeitskriterien; der nationalen Ebene mittels der Ziele und Grundsätze des Österreichischen Abfallwirtschaftsgesetzes [AWG 2002] und der regionalen Ebene mittels den Kriterien des Wiener Wohnbaues.
- Iterative Ausarbeitung und Formulierung des methodischen Vorgehens bei der Fallstudie Wien. Die Methode wird schrittweise erarbeitet, formuliert und für die drei Szenarien angewandt. Dabei werden der Holzeinsatz und die Treibhausgasproblematik vertieft behandelt.

Bei der Durchführung der Fallstudie Wien wird wie nachfolgend beschrieben vorgegangen:

- Systemanalyse „Wohn- und Bürobauten Wien“ und Auswahl der bedeutendsten Prozesse. Bestimmung der räumlichen und zeitlichen Systemgrenzen. Dieser iterative Schritt erfolgt parallel mit der Datenerfassung für das ausgewählte System.

- Grobabschätzung der Baumaterialflüsse für den gesamten Hoch- und Tiefbau in Wien und Abschätzung des bestehenden Baumateriallagers und dessen jährliche Veränderung sowie die jährlichen Flüsse an Bauabfällen in die Abfallwirtschaft und zu den Verwertern. Die Lagerabschätzung dient zur Bestimmung Größenordnung des in Wien gespeicherten Holzes und des damit verbundenen Rohstoff- und Energieträgerpotentials. Die Plausibilität und Genauigkeit der Daten wird hinterfragt.
- Identifizierung jener Bereiche des Wohn- und Bürobaues, in denen Holz eingesetzt wird bzw. potentiell eingesetzt werden kann.
- Bei der Darstellung des Ist-Standes (Szenario 1), Szenario 2 und Szenario 3 wird jeweils der Anteil der in den tragenden Bauteilen eingesetzten mineralischen Baumaterialien (Beton und Ziegel), Metalle (Stahl und Nichteisenmetalle) nachwachsenden Baumaterialien (Schnittholz und Holzwerkstoffe) und der Dämm- und Kunststoffe sowie das Lager dieser Materialien dargestellt.
- Durchführung der Bewertung. Die methodische Basis der Bewertung bildet die Stoffflussanalyse [Baccini & Brunner, 1991], nach welcher die Güterflüsse und das Lager qualitativ bewertet werden. Mit der Datenbank Ecoinvent 2000 [Frischknecht & Jungbluth 2004] werden die Prozesse gemäß der CML – Methode [Heijungs et al., 1992] und [Guineé et al. 2001] und der KEA – Methode [VDI, 1997] und [Fritsche et al., 1999] bewertet. Es gelten die Empfehlungen der ISO 14.040 ff.
- Das Ergebnis ist für jeden Indikator auf die gesamte 2001 geschaffene Wohn- und Büro-nutzfläche und der dazugehörigen Materialzusammensetzung bezogen. Die Ergebnisse werden auch für einen Quadratmeter Nutzfläche dargestellt. Damit werden zum einen Vergleiche mit anderen Städten möglich und zum anderen können diese Werte auch für Einzelobjekte als Referenzwerte (Benchmarks) herangezogen werden.
- Bei der Entwicklung der alternativen Szenarien Zwei und Drei wird die Voraussetzung angenommen, dass das Holz aus den nachhaltig bewirtschafteten Wäldern Niederösterreichs und der Steiermark kommt. Das zurzeit in diesen Bundesländern jährlich nachwachsende und nicht genutzte Ressourcenpotential wird abgeschätzt und mit dem Mehrbedarf verglichen. Die Prioritäten bei der Wahl der Konstruktionen liegen bei der Verwendung unbehandelten Holzes unter den Aspekten einer ökologisch und ökonomisch optimierten Nutzungskaskade. Das heißt, dass nach einer unter Umständen mehrmaligen stofflichen Wiederverwertung („Design for Recycling“) letztlich eine thermische Verwertung („Design for Energy“) im System der Stadt Wien erfolgt. Die Infrastruktur Wiens wird in diesem Zusammenhang sowohl auf der Versorgungs- wie auch auf der Entsorgungsseite hinsichtlich vorhandener Kapazitäten durchleuchtet. Für die thermische Verwertung von Holz werden die technischen Daten einer Schweizer Kraft – Wärmekopplung mit hohem Wirkungsgrad verwendet [Dones et al. (2004)]. Damit wird gleichzeitig auch ein Konzept für ein optimiertes Altholzmanagement unter dem Gesichtspunkt der maximalen Reduktion an Treibgasemissionen entwickelt.
- Schlussfolgerungen und Empfehlungen auf Basis der Resultate werden formuliert.
- Ausblick.



## 4 Nachhaltigkeit, Bauwesen und Holz

In diesem Kapitel wird die Ausgangslage aus ökologischer Sicht hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen dem steigenden Ressourcenverbrauch und der daraus resultierenden Umweltwirkungen aus dem Bauwesen allgemein beschrieben. In diesem Kontext werden die Begriffe „Nachhaltigkeit“ und „Nachhaltige Entwicklung“ analysiert und die geschichtliche Entwicklung der Umweltschutzstrategien dargelegt. Anschließend wird auf die Rolle des Bauwesens im Ressourcenverbrauch und im Umweltschutz eingegangen und die volkswirtschaftliche Bedeutung der Bauwirtschaft zur gesamten Volkswirtschaft in Relation gesetzt. In weiterer Folge werden noch allgemeine Aspekte des nachwachsenden Baustoffes Holz diskutiert und die Auswahl der Stadt Wien für die Fallstudie begründet.

### 4.1 Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung

Die verschiedenen und vielfältigen Ökosysteme der Erde sind im regionalen und im globalen Kontext oft nicht mehr im ausreichenden Ausmaß in der Lage, die durch menschliche Aktivitäten hervorgerufenen Einflüsse auszugleichen. Das stetig steigende Wirtschaftswachstum, die hohe Wachstumsgeschwindigkeit und die damit verbundenen steigenden Verbrauchsraten von Ressourcen aller Art verschärfen diesen Prozess zusätzlich. Die Folgen zeigen sich beispielsweise in der Klimaerwärmung, der Zerstörung der Ozonschicht, der Schwermetallanreicherung in den Böden, der Verringerung der natürlichen Ökosysteme sowie deren Artenvielfalt und einer großen Anzahl weiteren Auswirkungen auf die Umwelt. Der ständig steigende Ressourcenbedarf (Rohstoffe, Energie, Boden, Wasser, Luft und Naturraum) hervorgerufen durch die Aktivitäten des Menschen erfordert ein Umdenken beim Umgang mit der Umwelt und ihren limitierten Ressourcen. Die soziale und ökonomische Entwicklung der Menschheit und die Erhaltung ihres Lebensstandards sowie die Heranführung benachteiligter Gesellschaften an einen mit der entwickelten Welt vergleichbaren Lebensstandard hängen unter anderem entscheidend davon ab, wie mit den Ressourcen umgegangen wird. In den letzten Jahren kristallisierte sich in diesem Zusammenhang der Begriff „Nachhaltige Entwicklung“ (Sustainable Development) heraus.

Der Begriff der Nachhaltigkeit taucht im deutschen Sprachraum erstmals im Zusammenhang mit der Forstwirtschaft auf. Im Buch „Sylvicultura Oeconomica“ (1713) bringt der sächsische Berghauptmann H.C. von Carlowitz die Notwendigkeit einer „beständigen und nachhalten- den“ Nutzung von Holz als Grundlage für eine anhaltende Sicherung des Wohlstandes zum Ausdruck [Steinlin, 1997 in Müller, 1998], ohne jedoch konkrete Vorstellungen über eine Umsetzung von Nachhaltigkeit zu postulieren. Erst um die Jahrhundertwende vom 18. in das 19. Jahrhundert wurden erste Modelle zur Umsetzung von Nachhaltigkeit in der Forstwirtschaft aufgestellt [Hartig 1795, 1808; Cotta 1804, 1820; Hundeshagen 1826; alle in Müller 1998]. Nachhaltigkeit beschränkte sich in diesen zitierten Beispielen aber nur auf die Erhaltung und Schaffung des Holzkapitals im Wald hauptsächlich durch Festschreibung des Waldes in seiner Fläche. Heute umfasst der Begriff neben der Nutzungsfunktion, wenn man jetzt beim Beispiel Holz bleibt, auch weitere Funktionen des Waldes wie beispielsweise die Schutzfunktion (z.B. Artenschutz, Gewässerschutz, Erosionsschutz, Lawinenschutz usw.) oder die Wohlfahrtsfunktion (z.B. Erholung).

In den Siebzigerjahren des 20. Jahrhunderts machten die Berichte des Club of Rome über künftige Knappheiten bei nicht erneuerbaren Ressourcen, vor allem „Die Grenzen des Wachstums“ [Meadows et al., 1972] und zwei Jahrzehnte später „Die neuen Grenzen des Wachstums“, [Meadows et al., 1992], sowie die durch die Förderpolitik der OPEC im Herbst 1973 hervorgerufene Ölkrise mit den damit verbundenen Versorgungsengpässen, darauf aufmerksam, dass der ökonomischen Entwicklung und der Anpassung des Lebensstandards der Entwickelten Welt auf die gesamte Weltbevölkerung Grenzen gesetzt sind. Diese Tatsache kam in den Achtziger Jahren noch stärker in das Bewusstsein der internationalen Staatengemeinschaft und machte deutlich, dass neue Strategien für die zukünftige Entwicklung entworfen werden mussten. Daraus resultierten die Berichte „World Conservation Strategy“ [IUCN et al. 1980] und der Bericht der Brundtlandkommission der UN [WCED 1987]. Für die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung ist eine Gesellschaft dann nachhaltig, wenn sie die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generation angemessen befriedigt, ohne die Möglichkeiten von zukünftigen Generationen zu beschränken, ihren eigenen Bedürfnissen nachzukommen [WCED 1987]. Anfang der Neunziger Jahre mit der Konferenz von Rio de Janeiro der UN (1992) wurde das Konzept der nachhaltigen Entwicklung (Sustainable Development) zur Leitidee, um einen Kurswechsel beim Wirtschaften zu propagieren [Schmidheiny 1992].

Eine umfassende allgemeingültige Definition einer nachhaltigen Entwicklung gibt es nicht. Es herrscht allerdings allgemeiner Konsens, dass die folgenden Bedingungen eingehalten werden müssen [IUCN et al. 1980; WCED 1987]:

1. Die Biodiversität darf durch menschlichen Einfluss nicht verkleinert werden, die genetische Vielfalt muss erhalten werden.
2. Die Nutzungsrate von Ressourcen darf deren Regenerationsrate nicht überschreiten, das Ressourcenkapital muss erhalten werden.
3. Die Rate der Schadstoffemissionen darf die Kapazität zur Schadstoffadsorption der Umwelt nicht übersteigen, zukünftige Altlasten müssen verhindert werden.

In Verbindung mit Nachhaltigkeit ist die Loslösung von nicht erneuerbaren fossilen Energieträgern ein wichtiges Anliegen. Die heutige „fossile Gesellschaft“ soll wieder in eine „zweite solare Gesellschaft“ transformiert werden, ohne dabei ökonomische, ökologische oder soziale Zusammenbrüche herbei zu führen [Baccini, 1999].

In Zukunft sollen Regionen nach den Zielen der „Nachhaltigen Entwicklung“ im Sinne langfristiger Umweltverträglichkeit („Sustainable Development“) und „optimaler Rohstoffnutzung (Ressourceneffizienz) bewirtschaftet werden. Unter „Rohstoffe“ sind die Begriffe Materie, Energie, Raum und Information zu verstehen. Ressourceneffizienz bedeutet, mit möglichst geringem Verbrauch an Materialien, Energie und Kapital die gesetzten Ziele bestmöglich zu erreichen. Die Zielsetzung der im Rahmen dieser Studie entwickelten Vorgehensweise zur Erfassung, Bewertung und Steuerung der Ressourcen für das Bauen orientiert sich an diesen Definitionen der Begriffe der nachhaltigen Entwicklung und der Ressourceneffizienz.

### **4.2 Strategien im Umweltschutz im Wandel der Zeit**

Rückblickend betrachtet können verschiedene Strategien für den Umweltschutz im Überblick herausgearbeitet werden.

Anfänglich wurde bei deutlich spürbaren und die Lebensqualität einschränkenden Umweltproblemen versucht, mittels zur Verdünnung der Abfälle und Emissionen führenden Maßnahmen die Lebensqualität zu erhalten. Dazu zählte der Bau von ersten Kanalisationssystemen mit ungeklärter Einleitung der Abwässer in mit entsprechendem Verdünnungspotential versehenen Vorflutern oder der Bau entsprechend hoher Schornsteine. Dabei stieß man aber bald an die Grenzen der natürlichen Kapazitäten.

In den 1960er Jahren konzentrierte sich der Umweltschutz auf so genannte „End – of – Pipe“ Technologien. Durch den Bau von Filteranlagen an der Schnittstelle zwischen Emissionsquelle und Umwelt konnten Emissionen in die Umwelt stark reduziert werden.

Heute werden neben diesen Filtertechnologien in zunehmenden Ausmaß Ansätze verfolgt, die das gesamte System Anthroposphäre (Entnahme aus der Umwelt - Nutzungsphase – „Rückgabe“ an die Umwelt) im Sinne des Vorsorgeprinzips optimieren. Das heißt, dass eine Vernetzung der Umwelt und der in die Umwelt eingebettete, vom Menschen gestaltete, Anthroposphäre statt findet. Dabei wird versucht, über den gesamten Lebenszyklus bzw. über alle möglichen Lebenszyklen eines Produktes oder eines Produktsystems die Verluste in die Umwelt zu minimieren und letztlich für jedes Gut bzw. jeden Stoff eine letzte Senke zu finden, ohne dabei wesentliche umweltschädigende Wirkungen auszuüben. Eine Umsetzung dieser Strategie im Bauwesen wäre zum Beispiel die Berücksichtigung von möglichen Recyclingprozessen oder thermischer Nutzung der stofflich nicht mehr sinnvoll verwertbaren Baumaterialien bereits in der Planungsphase. Schlagwörter dazu sind die Begriffe „Design for Recycling“ oder „Design for Energy“ [Jungmeier & Merl, 2001]. Die Umsetzung und Etablierung des Vorsorgeprinzips im Bauwesen befindet sich noch in einem Anfangsstadium und ist vielerorts noch nicht erfolgt. Die vorliegende Arbeit soll dazu in Form eines Erfassungs-, Bewertungs- und Steuerungselements einen Beitrag zur nachhaltigen Gestaltung des Bauwesens leisten.

### **4.3 Das Bauwesen als Schlüsselprozess im Umweltschutz**

Das Bauwesen und der damit verbundene Güterumsatz ist eine Schlüsselbranche hinsichtlich des Ressourcenverbrauches und des Umweltschutzes. Für alle Menschen sind die Auswirkungen des Bauens und der gebauten Umwelt allgegenwärtig sicht-, erleb- und spürbar. Das Bauwesen setzt eine Vielzahl an Ressourcen und Schadstoffen um und baut diese im Hoch- und Tiefbau in verschiedenste Bauwerke ein, wobei die hoch verdichteten Stadträume eine zentrale Rolle spielen. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet verursachen die Errichtung der „gebauten Umwelt“, welche den bedeutendsten und langlebigsten Teil des urbanen „Lagers“ darstellt, sowie deren Erhaltung bis zum finalen Rückbau von der Rohstoffentnahme aus der Natur bis zur endgültigen Entsorgung der Materialien Wirkungen auf die Umwelt. Daher ist im Sinne des Vorsorgeprinzips bei der Erfassung, Bewertung und Steuerung von Umweltwirkungen auch eine Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus („from cradle to grave“) erforderlich.

Die Menschen werden zukünftig vor allem in Städten leben, welche in den entwickelten Ländern zusehends zu Dienstleistungsstädten werden. Diese Verschiebung von der Industriegesellschaft zur Dienstleistungsgesellschaft bedeutet auch, dass in diesen Städten die punktförmigen Emissionsquellen aus Produktionsprozessen zum einen weniger, da in andere Re-

gionen ausgelagert, und zum anderen durch optimierte Technik besser steuerbar werden. Städte dürfen sich aber nicht der Verantwortung der im globalen Hinterland stattfindenden Produktion entziehen, sondern durch bewusste Forcierung nachhaltig produzierter Materialien zur Schonung der Umwelt beitragen. Dem stehen vor allem in dichten Stadträumen flächenhafte, kaum steuerbare diffuse Emissionen (Konsumemissionen) gegenüber. Ein Beispiel dazu sind Emissionen von Metallen (Zink, Cadmium usw.) von verschiedenen Gebäudeoberflächen [Lohm 1993], [Obernosterer et al., 2003] oder von Rohleitungssystemen [der Standard, 15.9. 2004]. Die Metalle werden durch Erosions- und Auswaschungsprozesse gelöst und lagern sich in der Folge unkontrolliert in der Umwelt ab und erhöhen damit die natürlichen Konzentrationen im Boden. Das Verstehen des Metabolismus der Prozesse einer Stadt ist notwendig, um die anstehenden Probleme der Ver- und Entsorgung und bei der Erhaltung des Lagers, die sich besonders bei großen, hoch verdichteten Ballungsräumen ergeben, gemäß dem Vorsorgeprinzip frühzeitig zu erkennen und auch zu lösen. Die Kenntnis über den wichtigen Prozess Bauwesen ist daher für die nachhaltige Gestaltung einer Stadt und ihrer Verbindungen mit dem Hinterland von essentieller Bedeutung.

Es muss die Frage geklärt werden, welche Materialien und welche damit verbundene Zusammensetzung von Materialien für eine bestimmte Region zum Bauen und zum Erhalt der Bausubstanz am besten geeignet ist. In diesem Zusammenhang muss ergründet werden, welche Stoffe darin enthaltenen sind und welche (Baumaterial -) Lager dadurch entstehen. Wie sind sie bereits existierenden Bauwerke zusammengesetzt und welche Materialien sind in welchen in der Zukunft liegenden Zeitabschnitten daraus als Abfall zu erwarten. Wie können sie als zukünftige Ressourcen bewirtschaftet werden und welche Verwertungs- und Entsorgungsstrategien sind notwendig?

Zu einer umfassenden Betrachtung gehören auch die Versorgung mit Rohstoffen und Energie samt der Erhebung des regional verfügbaren Potentials sowie die Baumaterialproduktion und die Art und Weise der Versorgung (Art der Transporte) einer Region mit Baumaterialien bis hin zum Einbau der Materialien.

Eine ökonomisch, ökologisch und sozial zukunftsfähige Entwicklung der Gesellschaft setzt unter anderem auch voraus, dass die natürlichen Ressourcen nicht in einer höheren Rate genutzt werden, als sich diese erneuern. Dies ist gegenwärtig vielfach nicht der Fall. Verschiedene Umweltbelastungen können eine zusätzliche, die Erneuerungsraten verlängernde Wirkung hervorrufen wie beispielsweise die Zerstörung der Ozonschicht oder die beschleunigte Rodung der Tropenwälder und die Bodenerosion. Einen anderen Aspekt stellen die diffusen Emissionen in die Umwelt (Konsumemissionen) während der Nutzungsphase eines Gebäudes und die Abfallflüsse am Ende eines Lebenszyklus in die Umwelt dar. Aus den formulierten Nachhaltigkeitskriterien (siehe 4.1) geht hervor, dass die durch das Bauwesen verursachten Stoffströme nur jenes Ausmaß annehmen dürfen, in dem sie auch von der Umwelt absorbiert werden können. Das über Millionen von Jahren gebildete Gleichgewicht in den natürlichen Prozessen „Atmosphäre“, „Hydrosphäre“ und „Pedosphäre“ bzw. „Lithosphäre“ soll durch die anthropogenen Aktivitäten langfristig nicht gestört werden.

Besonders bei der Betrachtung des urbanen Lagers, also der in der Stadt eingebauten Materialien, ist das Bauwesen ein Schlüsselprozess. Dieses Lager wächst in Wien jährlich um 1 – 3 % [Daxbeck et al., 1996], enthält auch problematische Stoffe und stellt gleichzeitig ein

stofflich und energetisch nutzbares Ressourcenpotential für die Zukunft dar. Die Lösung der Problematik der Lagerbewirtschaftung ist für jede Stadt eine wichtige Aufgabe zur Sicherung der Zukunft. In Österreich werden jedes Jahr pro Einwohner etwa 10 Tonnen an Baumaterialien verbaut. In der Abfallwirtschaft stellen die Abfälle aus der Bauwirtschaft einen Anteil von über 50% dar. Etwa 1 Tonne Baurestmassen und 3 Tonnen Bodenaushub pro Einwohner werden jährlich der Entsorgung zugeführt [Bundes-Abfallwirtschaftsplan Bundesabfallbericht 2001]. Das „Lager“ im Bauwesen wächst pro Österreicher dem zu Folge jedes Jahr um ca. 7 Tonnen. Detaillierte Untersuchungen des Bleilagers in Gebäuden auf stofflicher Ebene haben gezeigt, dass in der Stadt Wien 200 kg Blei pro Einwohner verbaut sind, in den Depo-nien hingegen befinden sich aber erst 20 kg pro Kopf [Obernosterer et al., 1998]. Dieser Vergleich zeigt, dass dem Bauwesen bei der Bewirtschaftung (dem Aufbau, dem Unterhalt und der Entsorgung) des Lagers eine verantwortungsvolle Aufgabe zukommt. Bereits in der Planungsphase ist das Wissen über den gesamten Lebensweg eines Baumaterials (Gewinnung, Veredelung, Einbau, Rückbau und letztlich Entsorgung oder Wiederverwertung der eingebauten Materialien) von großer Bedeutung.

Mittels der Schaffung optimaler Voraussetzungen für die Verwertung von Baustoffen kann die urbane Infrastruktur dauernd, mit minimierten Verlusten behaftet, erneuert werden. Im Zusammenhang mit Recycling ist darauf zu achten, dass bei unsachgemäßem Wiederverwerten besonders bei Baustoffen die Gefahr der Anreicherung leicht mobilisierbarer und problematischer Stoffe besteht. Die zukünftige Gestaltung, Einsatz, Entsorgung und Wiederverwertung von Bauwerken wird auf diese Problematik reflektieren müssen und damit verbundene neue Aufgabenstellungen zu lösen haben, die nur dann erfolgreich erledigt werden können, wenn durch Untersuchung des Baustoffhaushaltes der Verbleib der Baumaterialien und der darin enthaltenen Stoffe bekannt sind.

In den meisten momentan zur Verfügung stehenden Bewertungsmethoden hinsichtlich von Gebäuden verursachten Umweltwirkungen werden vor allem aus Gründen der mangelnden Datenverfügbarkeit und wegen der Komplexität dieses Themas nur die Prozesse „Rohstoffgewinnung“, „Veredelung und Verarbeitung“, „Materialproduktion“ und teilweise „Entsorgung und Verwertung“ berücksichtigt. Auf regionale Besonderheiten wird dabei, vor allem bei den verschiedenen am Markt erhältlichen Softwaretools, kaum Rücksicht genommen. Verschiedene Studien zeigen aber, dass auch in der Nutzungsphase und der nachfolgenden Prozesskette bedeutende Wirkungen auf die Umwelt entstehen können. In der Nutzungsphase spielen beispielsweise die so genannten „Konsumemissionen“ von metallischen Oberflächen [Bergbäck 1992] und die damit verbundenen unkontrollierten diffusen Verluste in die Umwelt eine bedeutende Rolle. Ein anderes Beispiel ist das in den Wärmedämmungen gespeicherte, mittlerweile verbotene, FCKW, welches noch über Jahrzehnte aus den Dämmplatten unkontrolliert in die Umwelt entweicht [Obernosterer & Smutny, 2002]. Ein weiterer wichtiger mit der Nutzungsphase in Verbindung stehender Aspekt ist die Problematik des wachsenden Lagers und dessen Bewirtschaftung. In der Nachnutzungsphase wird entweder wiederverwertet oder entsorgt. Eine Schweizer Studie [Doka, 2000, Tabelle 38] zeigt anhand konkreter Beispiele, dass in der Entsorgungsphase einzelner Materialien die Auswirkungen auf die Umwelt wesentlich größer sein können als jene der Erzeugungsphase. So ergibt beispielsweise die Bewertung mittels Ecoindicator 95+ in der erwähnten Studie für die Entsorgung von Gipskartonplatten den 84 – fachen Umweltbelastungswert im Vergleich zur Herstellung,

die Entsorgung von Schnittholz kann abhängig von der gewählten Entsorgungsvariante den 1,79 – fachen Wert im Vergleich zur Produktion betragen.

Die Einbeziehung regionaler Randbedingungen in ökologische Bewertungsverfahren gestaltet sich meist aufgrund mangelhafter Datenlage als sehr aufwändig. Verschiedene Studien, wie zum Beispiel die in Kapitel 5.1 zusammenfassend vorgestellte Studie RESUB [Brunner et al. 1990], haben aber gezeigt, dass die regionalen Rahmenbedingungen sehr unterschiedlich sein können und dass die regionale Betrachtung je nach Zielsetzung und Fragestellung einer ökologischen Bewertung sehr gute Ergebnisse liefern kann. Bei Gebäuden kommt noch hinzu, dass diese in ein komplexes System eingebettet sind und von diesem System nicht isoliert betrachtet werden können. Beispiele dafür sind die Stichworte regional verfügbare Infrastruktur und Versorgung, Stand der Technik, vorhandene Siedlungsstruktur, Entfernung zum Arbeitsplatz, regional verfügbare Rohstoffe sowie gewerbliche und industrielle Betriebe usw. Diese Zusammenhänge zeigen, dass die Umsetzung von Nachhaltigkeit im Bauwesen nicht mit einzelnen isolierten Maßnahmen erzielbar ist sondern systematisch angegangen werden muss. Daher wird im Rahmen dieser Arbeit in Richtung der Entwicklung eines Bewertungs- und Steuerungsmodells für eine nachhaltige, ressourceneffiziente Bewirtschaftung der Gesamtheit der Gebäude des urbanen Raumes unter Einbeziehung des regionalen Hinterlandes gearbeitet.

#### 4.4 Die Stellung der Bauwirtschaft in der österreichischen Volkswirtschaft

Auch die volkswirtschaftliche Betrachtung zeigt, dass das Bauwesen ein bedeutender Wirtschaftsbereich ist, der mit vielen anderen Wirtschaftssektoren verknüpft ist. So kann der österreichischen Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung [Statistik Austria, 2003a] entnommen werden, dass das Bauwesen als Wirtschaftsbereich einen Anteil von jeweils über 7 % an der Bruttowertschöpfung zu Herstellungspreisen und am Bruttoinlandsprodukt hat (Tabelle 4-1, Tabelle 4-2). Wenn man diese monetären Einheiten mit dem dahinter stehenden Ressourcenverbrauch verknüpft und noch jene Wirtschaftsbereiche heranzieht, welche mit dem Bauwesen in Verbindung stehen (Land- und Forstwirtschaft, Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden, Energie- und Wasserversorgung, Verkehr und Nachrichtenübermittlung sowie andere mit dem Bauwesen verknüpfte Teilbereiche anderer Wirtschaftssektoren), so wird deutlich, dass das Bauwesen und alles, was damit in Verbindung steht, ein Schlüsselbereich für den Umweltschutz und dem Ressourcenverbrauch ist.

Tabelle 4-1: Bruttoinlandsprodukt nach Wirtschaftsbereichen, laufende Preise 1998 – 2002 aus der österreichischen Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung [Statistik Austria, 2003a]

Jahr	Bruttowertschöpfung zu Herstellungspreisen							
	Land- u. Forstwirtschaft Fischerei	Bergbau u. Gewinnung v. Steinen und Erden	Sachgütererzeugung	Energie u. Wasserversorgung	Bauwesen	Handel; Rep. v. KFZ u. Gebrauchsgütern	Beherbergungs- u. Gaststättenwesen	Verkehr und Nachrichtenübermittlung
	1	2	3	4	5	6	7	8
1998	4,30	0,61	36,20	4,71	14,51	23,32	6,96	12,85
1999	4,40	0,62	37,47	4,76	14,88	22,82	7,31	12,96
2000	4,56	0,64	40,35	4,44	15,14	23,32	7,92	13,39
2001	4,71	0,69	41,36	4,36	14,98	24,91	8,42	14,20
2002	4,69	0,74	42,22	4,48	15,15	25,06	8,99	17,79

Tabelle 4-2: Fortsetzung von Tabelle 4-1 Bruttoinlandsprodukt nach Wirtschaftsbereichen, laufende Preise 1998 – 2002 aus der österreichischen Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung [Statistik Austria, 2003a]

Bruttowertschöpfung zu Herstellungspreisen				Bruttowertschöpfung zu Herstellungspreisen, insgesamt	Unterstellte Bank-Gebühr	Güter-Steuern minus Güter-Subvention	Bruttoinlandsprodukt	Jahr
Kredit- und Versicherungs-wesen	Realitäten-wesen, Vermie-tung bewegl. Sachen, unter-nehmens-bezogene Dienstleistung	Öffentl. Ver-walt, Landes-verwaltung, Sozialversi-cherung	Sonstige Dienst-Leistungen					
9	10	11	12	13=Σ1-12	14	15	16=13-14+15	
12,23	27,59	11,72	25,15	179,64	9,05	20,04	190,63	1998
11,75	28,91	11,58	25,88	183,86	8,36	21,57	197,06	1999
13,15	31,39	11,69	26,82	194,41	9,60	21,86	206,67	2000
13,33	33,86	11,77	28,41	201,14	10,29	21,67	212,51	2001
13,25	35,29	11,83	29,01	205,58	9,89	22,64	218,33	2002

Ein zusätzlicher ökonomischer Anreiz für ein Ressourcenmanagement könnte in Zukunft die von verschiedenen Seiten angeregte und vielfach diskutierte „Ressourcenabgabe“ bzw. eine höhere Besteuerung von Energie im Zusammenhang mit der „Ökologisierung“ des Steuersystems sein. Im Zuge der Entlastung der Lohnnebenkosten könnte sich ein Steuersystem etablieren, das vermehrt auf die Besteuerung energetischer und stofflicher Ressourcen abzielt. Diese Tendenz gilt für den gesamten Wirtschaftsraum der Europäischen Union, etwaige Realisierungen müssen wohl auch im Sinne gleicher Rahmenbedingungen im freien Wettbewerb in diesem Kontext erfolgen.

#### 4.5 Der Einsatz der nachwachsenden Ressource Holz

Ein spezieller Fokus wird auf das nachwachsende Material Holz gerichtet. Nachwachsende Rohstoffe spielen im Zusammenhang mit der Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung eine wichtige Rolle. In Wien gibt es aufgrund einer Änderung der Wiener Bauordnung [BO Wien, 2001] im Zuge der Technikonvells 2001 neue Möglichkeiten des Holzeinsatzes im mehrgeschossigen Wohn- und Bürobau. Damit wird es möglich, unter Einhaltung gewisser, hauptsächlich den Brandschutz betreffenden Auflagen, bis zu fünfgeschossige Gebäude mit einem Holztragwerk zu errichten, wobei das Erdgeschoss aus mineralischen Baustoffen herzustellen ist. Dadurch ergeben sich für den Baustoff Holz völlig neue Einsatzbereiche im urbanen Raum.

Im Rahmen dieser Studie sollen die speziellen Anwendungsmöglichkeiten für Holz in der tragenden Struktur identifiziert und die damit verbundenen Umweltwirkungen bewertet werden. Um Holz ressourceneffizient einzusetzen muss beim erstmaligen Einbau auch die potentielle Nachnutzungskette von der Wiederverwendung, dem Recycling bis hin zur finalen thermischen Nutzung samt der dazugehörigen Energiegewinnung bis hin zu einer ökologisch verträglichen Verwertung der Asche (Nährstoffrecycling) mitgedacht werden. Die kaskadische Nutzung von der stofflichen Verwendung als Baumaterial bis zur energetischen Nutzung der gespeicherten Energie und der Rückführung der Nährstoffe in den natürlichen Kreislauf muss optimiert werden.

Durch diese neuen Einsatzmöglichkeiten und den damit verbundenen potentiell höheren Holzverbrauch müssen gemäß den Kriterien der Nachhaltigkeit entsprechende Grenzen gesetzt werden, um einerseits keine erneute Übernutzung der Wälder herbeizuführen und an-

dererseits alle wichtigen Funktionen des Waldes aufrecht zu erhalten. In dieser Arbeit sind dies die wichtigsten limitierenden Faktoren bei der Ermittlung des Ressourcenpotentials.

## **4.6 Der Wald und seine Funktionen**

Ein Blick zurück in die Vergangenheit zeigt, dass der Wald im Wandel der Zeit in seinen Funktionen ständigen Veränderungen unterworfen war [Millonig, 2003] und daher sein Erscheinungsbild vom Menschen entsprechend den Bedürfnissen und Lehrmeinungen geprägt wurde. Neben der Funktion als Rohstofflieferant für die Holzindustrie (siehe hierzu auch Kapitel 4.7 und Kapitel 6) und die Papierindustrie hat der Wald noch eine Vielzahl anderer Funktionen zu erfüllen, welche aufrecht erhalten werden müssen, um von einer nachhaltigen Forstwirtschaft sprechen zu können. Im österreichischen Forstgesetz 1975 (2002) werden vier Leitfunktionen des Waldes genannt: Nutzwirkung, Schutzwirkung, Wohlfahrtswirkung und Erholungswirkung. Einige zusätzliche Überlegungen zu diesen Wirkungen sind:

### **Die Funktion des Artenschutzes:**

Für viele Tier- und Pflanzenarten bietet der Wald einen Lebens- und Rückzugsraum. Um diese Funktion aufrecht zu erhalten sind Einschränkungen in der Nutzung und speziell in der forstwirtschaftlichen Produktion notwendig. Dabei führen der nachlassende Nutzungsdruck und die Wiederausbreitung des Waldes nicht nur zu positiven Effekten. Die Artenvielfalt von aufgelichteten Weidewäldern ist meist höher als jene weitgehend geschlossener Naturwald-ökosysteme. Auch die traditionelle klein strukturierte Mischung aus (Mäh-) Wiesen und Wäldern ist aus der Sicht des Naturschutzes dem reinen Wald als Vegetationsform vorzuziehen [Millonig, 2003]. Bei der Abschätzung des Ressourcenpotentials wird der Argumentation von [Werner, 1998] folgend angenommen, dass 10 % der Waldfläche Österreichs zur Sicherung der Artenvielfalt als naturnaher Lebens- und Rückzugsraum reserviert bleiben und folglich forstwirtschaftlich nicht nutzbar sind.

### **Die Schutzfunktion:**

Der Wald schützt vor Lawinen, Steinschlag, Hangrutschungen, Bodenerosion und als Puffer bei starken Niederschlägen werden Überschwemmungen verhindert oder zumindest abgemildert. Für die Trinkwasserversorgung bildet der Wald ein großes pufferndes Reservoir und übt auf das Klima einen ausgleichenden Einfluss aus. Durch die Filterwirkung trägt der Wald auch zur Reinigung der Luft bei. Durch die knappe bebaubare Fläche in manchen Alpentälern und der teilweise hohen Nachfrage an bebaubaren Flächen vor allem durch den Tourismus gewinnt diese Schutzfunktion zunehmend an Bedeutung.

### **Die Erholungsfunktion:**

Für große Teile der heutigen Gesellschaft mit ihrem hohen Tempo gewinnt diese soziale Funktion an Bedeutung. Der Wald wird als Ort der Naturnähe, der Ruhe und der Kontemplation geschätzt. Aber auch für sportliche Aktivitäten bietet der Wald einen vielfältigen Betätigungsraum, dabei kann es allerdings oft zu Konfliktsituationen zwischen verschiedenen Interessensgruppen und Waldfunktionen kommen. Die Anforderungen der Freizeitgesellschaft an den Wald können zutiefst widersprüchlich sein: Erholungssuchende schätzen einerseits abwechslungsreiche, strukturreiche Waldbilder, die vor allem im bergigen subalpinen Fichtenwaldareal nur durch intensive Bewirtschaftung aufrechtzuerhalten sind. Diese intensive



Bewirtschaftung wird andererseits aber wegen den damit einhergehenden Begleiterscheinungen wie Wirtschaftsverkehr, Motorsägenlärm, Wegebau etc. als störend empfunden. Auch aufgelichteten Weidewäldern mit astigen, ausdrucksstarken und uralten Baumindividuen wird ein hoher Erholungswert zugebilligt. Der Zielkonflikt mit dem vor allem im Bergwald notwendigen Schutzerfüllungsgrad scheint vorprogrammiert.

#### **Die Funktion als Nahrungsmittellieferant:**

Der Wald liefert verschiedene Nahrungsmittel wie diverse Waldfrüchte und Fleisch aus der Jagd. Diese Funktion steht oft in Verbindung mit der Erholungsfunktion, und besonders in der Nähe von Ballungsräumen kann es zu Übernutzungen und Konflikten zwischen verschiedenen Interessensgruppen wie beispielsweise den Pilzsammlern oder Sportlern und den Jägern kommen.

#### **Die Funktion als wirtschaftliche Lebensgrundlage (Produktionsfunktion):**

Die Produktionsfunktion des Waldes ist enorm wichtig für die Existenz bäuerlicher Betriebe sowie die Holzversorgung der heimischen Säge- und Holzindustrie, der Papierindustrie und im zunehmenden Ausmaß für die Energieproduzenten aus Biomasse. Aber auch für die pharmazeutische und chemische Industrie liefert der Wald Harze und Öle als natürliche Zusätze für Farben, Reinigungsmittel, Cremes, usw. In Österreich leben ca. 250.000 Menschen vom Wald und seinen Produkten.

Zusammenfassend kann zur Multifunktionalität des Waldes festgehalten werden, dass die vom Menschen verursachten, mittelfristig (in 150 bis 200 Jahren) beachtlichen Veränderungen unserer Wälder Ausdruck der ökonomischen und sozialen Umbrüche in dieser Zeit sind. Die Steuerung der Waldbewirtschaftung durch gesetzliche Regelungen, Anreizsysteme, Förderungen und Beratungen kann diese Umgestaltungen von negativen Begleiterscheinungen freihalten. Zukunftsträchtige Konzepte müssen neben der Optimierung der Schutzwirkung des Waldes auch die Erholungswirkung und die Naturschutzaspekte beachten. Besonders anspruchsvoll wird diese Aufgabe dadurch, dass die Optimierung der zum Teil widersprüchlichen Ansprüche an den Wald nur dann volkswirtschaftlich leistbar ist, wenn es gelingt die Waldbewirtschaftung durch die Waldeigentümer aufrechtzuerhalten.

Bei der Ermittlung des Ressourcenpotentials für die mögliche potentielle Holznutzung im Bauwesen wird dieser multifunktionalen Aufgaben des Waldes zwar versucht Rechnung zu tragen, allerdings ist der Themenkomplex einer nachhaltigen Forstwirtschaft zu groß, um in diese Studie ausreichend integriert werden zu können. Diese Fragestellung muss von Forstexperten in eigenen Studien untersucht werden.

### **4.7 Regionale und globale nachhaltige Verfügbarkeit von Holz**

In Österreich, wie generell in den meisten industrialisierten Ländern in Mittel-, Nord- und Osteuropa, ist die aktuelle Situation so, dass mehr Holz jährlich nachwächst als verbraucht wird [FAO, 2001].

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts war die Holz- und Waldwirtschaft ein Hauptpfeiler des Wirtschaftssystems in Mitteleuropa. Da Holz wichtiges Baumaterial und vor allem bedeutendster Energieträger war, kam es zu einer Übernutzung der Wälder. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts trug auch der Ballungsraum Wien mit seinem hohen Holzbedarf zu einer star-

ken Übernutzung der steirischen und niederösterreichischen Voralpenwälder bei [Millonig, 2003].

Die Ablösung von Holz als Brennstoff durch fossile Energieträger, verbesserte Transportmöglichkeiten und ein damit verbundener globaler, regionale Knappheiten entschärfender Holzmarkt sowie das Aufkommen von Stahl und Beton im Bauwesen veränderten die Situation maßgeblich. Außerdem schützt heute eine entsprechende Gesetzgebung die Waldflächen [Forstgesetz 1975, 2002]. Die Forstwirtschaft in Österreich hat am Beginn des 21. Jahrhunderts kein Problem mit einer möglichen Übernutzung der Wälder sondern leidet vielmehr an einer Unternutzung des heimischen Waldbestandes. Die folgenden Zahlen untermauern diese Tatsache [BMLF 2003] und [BFW 2004]:

Die Waldfläche Österreichs beträgt derzeit ca. 3,96 Mio. ha, was einem Anteil von knapp 47 % an der Gesamtfläche Österreichs entspricht. Das im Wald stehende Holzlager beträgt rund 1 Mrd. m<sup>3</sup> Holz. Der jährliche Holznachwuchs beträgt ungefähr 31,28 Mio. m<sup>3</sup>, davon werden ca. 19 Mio. m<sup>3</sup> geerntet und genutzt, der Rest verbleibt im Wald und vergrößert das Lager. Allerdings hat sich die Zusammensetzung der Wälder aus verschiedenen Baumarten seit dem Mittelalter verändert und in den letzten 150 Jahren bei ökologisch ungünstigen Auswirkungen hat sich eine Verschiebung zugunsten des Nadelholzes ergeben. Generell steigt jedoch mit zunehmender Seehöhe der natürliche Nadelbaumanteil und über ca. 1400 m Seehöhe bestanden immer schon reine Nadelwaldzonen. Die Waldgrenze liegt randalpin in den Ostalpen bei ca. 1600 m, zentralalpin bei ca. 2000 m Seehöhe. Allerdings wurde mit der Forcierung des Nadelholzes der Holzertrag pro ha Waldfläche wesentlich gesteigert. Exakte Vergleiche des Waldzustandes in der Vergangenheit mit dem heutigen sind nur schwer möglich, da über den Zeitraum bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts keine exakten Informationen über die Waldflächen verfügbar sind. Auch ist bei den früheren Angaben unklar, was alles zur Waldfläche gezählt wurde. Beispielweise ist die Zuordnung der ertragslosen Schutzwälder und Latschenflächen nicht nachvollziehbar. Ein deutlicher Hinweis für den schlechten Waldzustand am Beginn des 20. Jahrhunderts ist der im Vergleich zu heute damals geringe Holzeinschlag. Nach dem Statistischen Jahrbuch des K.K. Ackerbauministeriums (1903) betrug die gesamte Holznutzung etwa die Hälfte der derzeitigen Nutzungsmenge, und nur  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{5}$  des heutigen nachhaltigen Nutzungspotentials [Millonig, 2003].

Auch wenn heute wesentlich mehr Holz als in der Vergangenheit genutzt wird, liegt die potentielle Nutzungsmöglichkeit noch deutlich über der aktuellen forstlichen Nutzung. Der relative Nutzungsdruck hat seit Beginn der 70er Jahre deutlich nachgelassen. Gemeinsam mit den forstlichen Maßnahmen der letzten 30 Jahre hat dies zu einer deutlichen Veränderung im quantitativen und qualitativen Zustand der Österreichischen Wälder geführt. Dabei hat laut Forstlicher Bundesversuchsanstalt [Stöhr & Ziegner, 2004]:

- die Waldfläche um 5%,
- der Holzvorrat um 20%,
- der Holzzuwachs um 60% zugenommen;

gleichzeitig hat:

- der Altholzanteil (>120 a) im Schutzwald von 30 auf 40 % zugenommen,
- die Vitalität (Resistenzfähigkeit gegen schädigende Einflüsse und Vermehrungsfähigkeit) des Waldes allgemein abgenommen und

- der Kronenzustand sich vor allem im Schutzwald laufend verschlechtert.

Damit wächst der Wald zwar flächenmäßig, sein Gesundheitszustand sinkt jedoch gleichzeitig. Als wesentliche Ursachen dieser quantitativen Zunahme bei gleichzeitiger Teilkompensation durch ökologisch negative Erscheinungen kommen folgende Faktoren in Betracht [Millonig, 2003; Stöhr & Ziegner, 2004]:

- Vitalitätsverlust und Degradation des Ökosystems Wald durch anthropogen verursachte Faktoren (z.B. diverse Schadstoffimmissionen, Monokulturen usw.).
- Aufforstungswelle der 60er und 70er Jahre; neuerliche Bewaldung landwirtschaftlicher Grenzertragsböden
- Restriktive Interpretationen des Forstgesetzes dämpften den Einschlag, der Einschlag bleibt hinter dem Zuwachs zurück (Vorratzszunahme bei gleichzeitigem Vitalitätsrückgang)
- Landwirtschaftliche Nebennutzungen sind rückläufig, dadurch erholen sich die degradierten Böden, Schneitelung (Entziehung von Nadel- und Astmaterial am stehenden Baum) und Streunutzung verschwinden, Waldweide nimmt ab
- Seit Mitte der 1980er Jahre ist auch mit einem Düngeeffekt durch N-Einträge aus der Atmosphäre zu rechnen. Im Durchschnitt stammt die Hälfte dieser Einträge aus NH<sub>3</sub>-Emissionen der Landwirtschaft – die Nährstoffflüsse laufen somit erstmals in der Geschichte von der Landwirtschaft in den Wald.

Entsprechend der gestiegenen Bedeutung der Schutzfunktion sind heute 755.000 ha (ca. 19%) der Waldfläche als Schutzwald ausgewiesen, der bei der Bewirtschaftung besonders strengen Regeln unterworfen wird oder außer Ertrag steht. Ziel ist die Schutzwirkung in Zukunft zu erhalten und keine flächigen Destabilisierungen des Bestandes durch Überalterung und Vitalitätsverlust entstehen zu lassen. Förderungsprogramme und Maßnahmen zur Schutzwaldverbesserung sind [Millonig, 2003]:

- Wiederverjüngung, Jungwuchs- und Dickungspflege.
- Neuaufforstung bisher nicht bestockter Flächen, Hochlagenaufforstung zur Hebung oder Sicherung der Waldgrenze.
- Basiserschließung zur pfleglichen und rationellen Bewirtschaftung.
- Boden- und bestandesschonende Seilbahn- oder Helikopterbringung.
- einfache technische Maßnahmen gegen Schneegleiten und Steinschlag.
- Wald- und Weidetrennungen.

Betrachtet man den gesamten europäischen Kontinent [TBFRA, 2000], so sieht die Situation ähnlich wie in Österreich aus. Die Gesamtwaldfläche beträgt ca. 176 Mio. ha, davon sind ca. 149 Mio. ha forstwirtschaftlich nutzbar. Das europäische Holzlager wuchs in den letzten 10 Jahren jährlich um ca. 330 Mio. m<sup>3</sup>.

Die österreichische und europäische Situation der Holzversorgung kann aber nicht auf die globale Ebene übertragen werden [FAO, 2001]. Global kann nicht von einer nachhaltigen Holzversorgung gesprochen werden, da vor allem die Tropenwälder nicht nachhaltig genutzt werden. Viele Entwicklungsländer besitzen auch noch nicht das ökonomische Potential, um die Holzversorgung aus dem globalen Hinterland finanzieren zu können. Unter dem Aspekt der globalen Holzversorgung könnten in Zukunft sehr wohl Knappheiten auftreten:

- Steigender Welt – Holzverbrauch (steigende Bevölkerungszahlen).
- Netto – Abnahme der globalen Waldfläche.
- Knapper werdende fossile Energieträger – Forcierung von Holz als erneuerbarer Energieträger.

Laut FAO – Erhebung [FAO, 2001] ist der jährliche Weltholzverbrauch von 1,9 Mrd. m<sup>3</sup> im Jahr 1961 auf 3,4 Mrd. m<sup>3</sup> im Jahr 1991 angestiegen. Seit 1991 blieb der Holzverbrauch

weltweit annähernd konstant, was hauptsächlich mit der schlechten wirtschaftlichen Entwicklung in den 1990er Jahren in Asien und Osteuropa zusammenhängt. In Nordamerika und Westeuropa stieg der Verbrauch in den letzten Jahren. 1999 betrug der weltweite Holzverbrauch knapp 3,4 Mrd. m<sup>3</sup> Holz [FAO, 2000], wovon ca. die Hälfte als Brennholz in den Entwicklungsländern konsumiert wurde. Der Verbrauch von Rundholz betrug ca. 1,55 Mrd. m<sup>3</sup>, wobei die Produktion (79 %) und der Konsum hauptsächlich in den entwickelten Ländern erfolgten. Tropenholz spielt eine eher untergeordnete Rolle, 1999 lagen die Tropenholzanteile bei Rundholz bei ca. 15 %, bei Schnittholz bei ca. 14 %, bei auf Holz basierenden Platten bei ca. 15 % und bei Papier und Pappe bei ca. 9%.

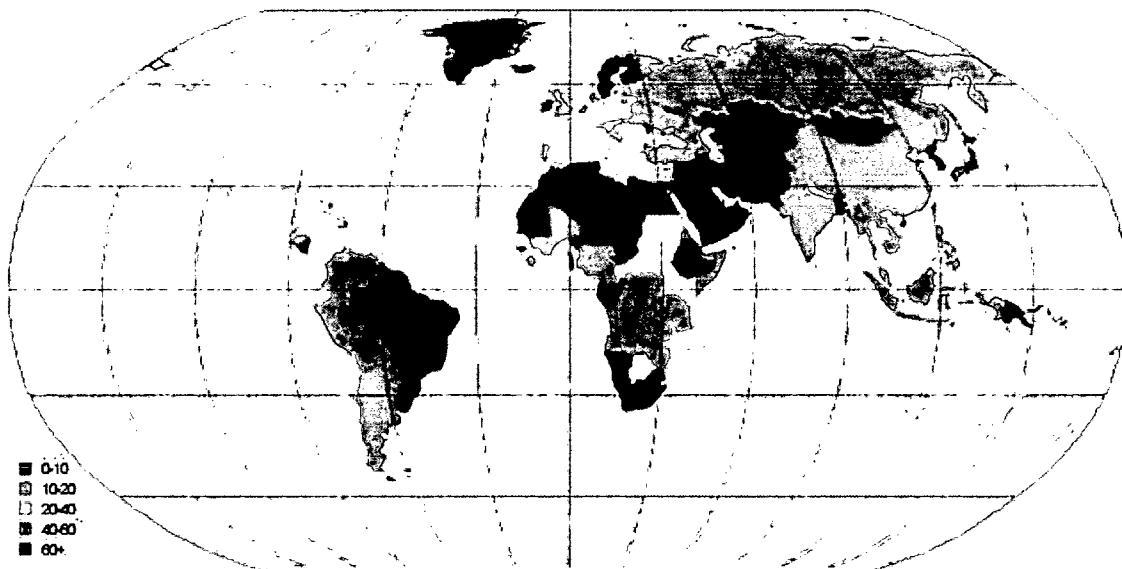


Abbildung 4-1: Waldflächenanteil als Prozentsatz zur Gesamtlandfläche [FRA, 2000].

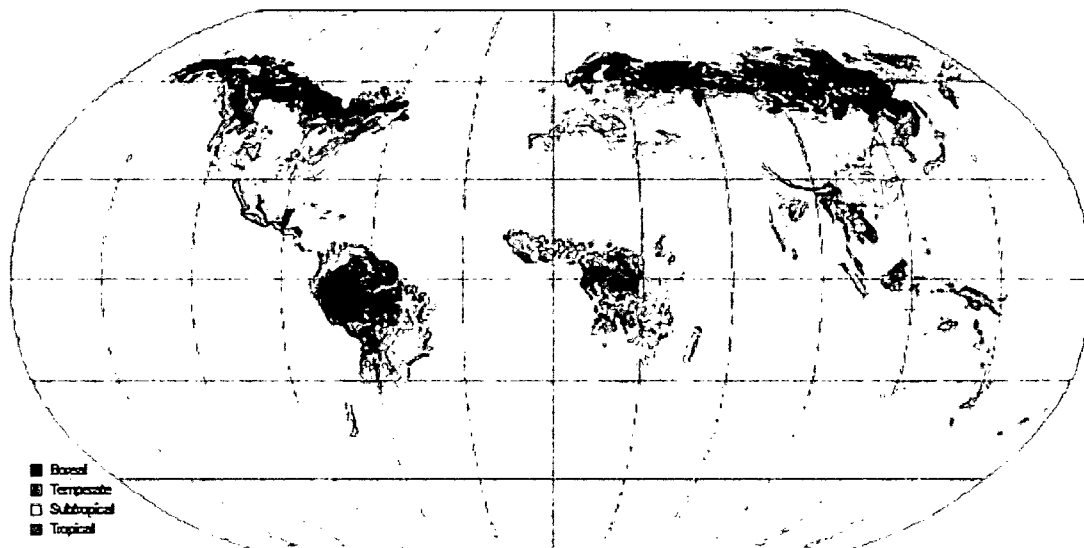


Abbildung 4-2: Verteilung der weltweiten Waldfläche nach den wichtigsten ökologischen Zonen (Boreale, gemäßigte, subtropische und tropische Zone [FRAU 2000])

Weltweit beträgt die Waldfläche im Jahr 2000 laut FAO ca. 3.869 Mio. ha, das sind ca. 30 % der gesamten Landfläche. Davon sind 187 Mio. ha Plantagenwälder, wovon wiederum ca.

die Hälfte erst seit weniger als 15 Jahren besteht. Weltweit beträgt die Waldfläche pro Einwohner ca. 0,6 ha, wobei die regionalen Unterschiede groß sind (laut [FRA, 2000] in Asien ca. 0,2 ha pro Einwohner bis 6,5 ha/E in Ozeanien, knapp 0,5 ha/E in Österreich). Mit steigendem weltweiten Bevölkerungswachstum und abnehmender weltweiter Waldfläche sinkt somit die pro Einwohner potentiell nutzbare Holzmenge.

Die Waldfläche nimmt vor allem in den tropischen Regionen stark ab, während in den industrialisierten Ländern die Waldfläche im Ansteigen begriffen ist. Tabelle 4-3 zeigt, dass in den tropischen Regionen Waldflächen in einem großen Ausmaß verloren gehen, während in den nicht tropischen Regionen die Waldfläche im Wachsen begriffen ist [FAO, 2001]. Die Tabelle zeigt, dass die Naturwaldflächen dramatisch zurückgehen und nur zu einem relativ geringen Teil durch forstwirtschaftlich genutzte Wälder und durch Plantagenwälder ersetzt werden. In den Industrieländern hingegen wachsen die Waldflächen.

Tabelle 4-3 Jährliche Veränderung der Waldflächen weltweit von 1990-2000 [FAO, 2001]

<b>Jährliche Veränderung der Forstflächen, 1990-2000 [Mio. ha]</b>									
Waldart	Natürlicher Wald					Plantagenwälder		Wald gesamt	
	Verluste			Gewinn	Gesamt Veränderung	Gewinne		Gesamt Veränderung	Gesamt Veränderung
	Rodung	Umwandlung zu Plantagen	Summe Verlust	Natürliche Erweiterung der Waldfläche		Aus natürlichen Waldflächen	Aufforstung		
Tropen	-14.2	-1.0	-15.2	+1.0	-14.2	+1.0	+0.9	+1.9	-12.3
Andere Zonen	-0.4	-0.5	-0.9	+2.6	+1.7	+0.5	+0.7	+1.2	+2.9
Welt	-14.6	-1.5	-16.1	+3.6	-12.5	+1.5	+1.6	+3.1	-9.4

Dem steigenden weltweiten Holzverbrauch wird in Zukunft hauptsächlich mit entsprechender Steigerung der forstwirtschaftlich genutzten Waldflächen (Plantagen) begegnet werden [FAO, 2001]. Dies erfordert sorgfältige Planung, um negative wirtschaftliche, ökologische und soziale Entwicklungen zu vermeiden und alle Funktionen des Waldes aufrecht zu erhalten. Im „State of the Worlds Forest 2001“ Bericht der FAO werden die Funktionen „Versorgung mit dem Rohstoff Holz“, „Milderung des Klimawechsels“ und „Erhaltung der Artenvielfalt“ als besonders wichtig und schützenswert heraus gestrichen. Diese globale Perspektive des Holzverbrauchs erfordert als Schlussfolgerung die sorgfältige und ressourceneffiziente Nutzung des zur Verfügung stehenden Holzes und erfordert eine regionale Differenzierung bei der Ermittlung der Verfügbarkeit der Ressource Holz.

Ein Beispiel einer möglichen Steuerung der Ressource Holz zeigt die Dissertation von Daniel Müller [Müller 1998], eine kurze Beschreibung dieser Studie erfolgt in Kapitel 5.3.1. In der hier vorliegenden Studie soll untersucht werden, wie unter der ökonomisch und ökologisch optimalen Nutzung der nachwachsenden Ressource Holz das urbane Lager umgebaut werden kann und dabei eine optimale Kaskadennutzung der Ressource Holz in stofflicher und energetischer Hinsicht erfolgen kann. Besonders unter den in diesem Kapitel geschilderten globalen Aspekten scheint es sinnvoll, ein Managementsystem für Holz zu entwickeln, welches die Entwicklung langlebiger, unbehandelter, mehrmals wieder verwertbarer und letztlich energetisch nutzbarer Produkte aus Holz unterstützt.

#### **4.8 Fallbeispiel: Die Stadt Wien**

Die Stadt Wien eignet sich aufgrund ihrer Besonderheiten (gute Datenlage, bereits vorliegende erste Untersuchungen, Aktivitäten der öffentlichen Verwaltung) besonders gut zur Erarbeitung einer Methodik für ein Ressourcenmanagement im Bauwesen, welche mittels entsprechender Steuerungsmaßnahmen zur Erreichung der Ziele der Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz beiträgt. In der vorliegenden Studie wird im speziellen das Bauwesen mit den dazugehörigen Prozessen untersucht, wobei der sinnvolle Einsatz des nachwachsenden Rohstoffes Holz im Mittelpunkt steht.

Kriterien für die Auswahl der Stadt Wien als Untersuchungsobjekt sind:

- **Örtliche Nähe:** Da für die erfolgreiche Durchführung dieser Arbeit viele Fremddaten benötigt werden, ist eine örtliche Nähe zu den Datenquellen von großem Vorteil.
- **Vorarbeiten:** Bereits durchgeführte Studien, besonders von der Abteilung Abfallwirtschaft der TU - Wien und der Ressourcen Management Agentur Wien sowie dem Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau, können als Grundlage für diese Arbeit verwendet werden.
- **Bauordnung Wien:** Durch die Änderung der Bauordnung für Wien [BO Wien 2001] werden dem Einsatz von Holz im urbanen Raum neue Möglichkeiten eröffnet. Vor allem die Möglichkeit, bis zu fünfgeschoßige Bauwerke mit einer auf einem mineralischen Sockel aufliegenden tragenden Holzstruktur zu errichten, bietet dem Material Holz eine Fülle von neuen Einsatzmöglichkeiten.
- **Datenlage:** Durch die Organisationsstruktur der Stadt und deren Größe kann davon ausgegangen werden, dass die Daten vorhanden sind und Datenlücken aufgrund der Kenntnis der Situation wirklichkeitsnahe geschlossen werden können, ohne dabei allzu große Informationsverluste hinnehmen zu müssen. Es wird davon ausgegangen, dass die verfügbaren Daten auf einem geeigneten Aggregationsniveau aufbereitet sind. In der vorliegenden Arbeit wird auf zugängliche Daten in der Literatur zurückgegriffen. Für die Entwicklung der Methodik und der Überprüfung der Funktionsweise ist diese Datenlage und Datenqualität ausreichend. In Verbindung mit dieser Arbeit steht auch kein konkretes finanziertes Projekt. Daher werden keine Messprogramme oder Naturaufnahmen fehlender Daten vorgenommen. In diesen Fällen werden Annahmen getroffen, welche jedoch ausführlich beschrieben werden. Für die praktische Umsetzung und Implementierung müssten jedoch einige Daten einer genaueren Untersuchung unterzogen werden und zusätzliche Recherchen vorgenommen werden.

## 5 Ökobilanzen und der regionale Stoffhaushalt: Methoden und Beispiele

In diesem Kapitel erfolgt eine allgemeine zusammenfassende Beschreibung der in den letzten 30 Jahren entwickelten Methoden zur Ökobilanzierung, Stoffbilanzierung und Güterbilanzierung, welche der Beschreibung, Bewertung und Steuerung des Stoffhaushaltes von Systemen zugrunde liegen. Im Anschluss daran wird ein Überblick hinsichtlich des regionalen Stoffhaushaltes gegeben. Dies geschieht mittels eines straffen historischen Rückblicks von bis heute durchgeführten nationalen und internationalen Stoffhaushaltsstudien. In weiterer Folge werden aktuelle Beispiele aus der Literatur angeführt, deren Ergebnisse und Schlussfolgerungen auch in dieser Arbeit Niederschlag finden. Es werden solche Studien ausgewählt, welche sich entweder auf das Bauwesen oder auf den Großraum Wien und dessen Hinterland beziehen.

Die verschiedenen Methoden zur Erfassung, Bewertung und Steuerung von Güter- und Stoffströmen und der dazugehörigen Umweltwirkungen werden in der Literatur ausführlich beschrieben. Daher werden diese Methoden mit Verweis auf die Originalliteratur nur kurz vorgestellt. Die in dieser Studie als Grundlage dienenden bzw. verwendeten Methoden werden im Kapitel 6 ausführlicher beschrieben.

### 5.1 Allgemeines

Die Entwicklung der Methodik für die Erstellung von Produktökobilanzen (Life Cycle Assessment) begann vor mehr als 30 Jahren im Verpackungssektor [Boustead 1972; Hunt & Franklin 1974; Sundström 1973] und ist heute noch im Gang. Es gibt viele Definitionen für Ökobilanzen, einige Beispiele aus der Literatur lauten folgend:

[Consoli et al., 1993]: „Eine Ökobilanz ist ein Werkzeug, mit welchem die Folgen für die Umwelt, welche durch die Herstellung und den Gebrauch eines Produktes oder die Ausführung einer Dienstleistung entstehen, untersucht werden können. Dabei werden alle Tätigkeiten von der „Wiege bis zur Bahre“ berücksichtigt. Es handelt sich um ein sehr komplexes Werkzeug, bei dessen Gebrauch Vorsicht geboten ist.“

[Fava et al., 1990]: “Life Cycle Assessment is a process to evaluate the environmental burdens associated with a product, process or activity by identifying and quantifying and qualifying energy and materials used and wastes released to the environment; to assess the impact of those energy and material uses and releases to the environment; and to identify and evaluate opportunities to affect environmental improvements. The assessment includes the entire life cycle of the product, process or activity, encompassing extracting and processing raw materials; manufacturing, transportation and distribution; use, reuse, maintenance; recycling, and final disposal.“

In [Fallscheer 1997] heißt es: „Eine Ökobilanz versucht den Schaden an der Umwelt zu beschreiben, welcher durch einen Lebenszyklus verursacht wird. Um diesen Schaden beurteilen zu können, muss er mit dem Nutzen verglichen werden.“

Die Normen EN ISO 14.040 – EN 14.043 beinhalten die standardisierte Vorgangsweise für die Erstellung von Ökobilanzen und werden in Kapitel 8.1.4 beschrieben. Die Methodik der Lebenszyklusanalyse (LCA) dient der Erhebung und Bewertung der Umweltrelevanz von Produkten und Produktsystemen über ihren Lebenszyklus.

Durch die inzwischen weitgehend abgeschlossenen Arbeiten zur Normierung des Vorgehens im Rahmen von ISO 14.040ff und mit der Weiterentwicklung der Bewertungsmethodik von LCA's stehen heute taugliche Möglichkeiten zur Erfassung und ökologischen Bewertung von Produkten zur Verfügung. Der Vorteil der heute verfügbaren Bewertungsmethoden für Ökobilanzen liegt in der breiten Erfassung der Umweltrelevanz im Vergleich zu einseitig auf energetische Aspekte ausgerichtete Betrachtungen (z.B. der Inhalt an Grauer Energie oder des Primärenergieverbrauches) oder auf reine Massenbetrachtungen ohne Berücksichtigung von deren Umweltrelevanz (z.B. das MIPS-Konzept). Der Nachteil solch umfassender Bewertungsmethoden liegt in ihrer Komplexität und im hohen Bearbeitungsaufwand. Gegenwärtig werden LCA's eingesetzt, um einerseits ökologische Optimierungsmöglichkeiten eines Produktes herzuleiten, andererseits um die Wahl eines Produktes mit den geringsten Umweltwirkungen zu unterstützen.

Die Norm lässt allerdings einen großen Freiraum hinsichtlich Methodenwahl und Vorgangsweise. Daher sind Transparenz und Nachvollziehbarkeit bei der Vorgehensweise von zentraler Bedeutung.

Momentan (August 2005) wird die Vorgehensweise bei der Deklaration von Bauprodukten hinsichtlich Nachhaltigkeit auf europäischer Ebene diskutiert [Maydl 2005]. Im europäischen Normenentwurf ISO DIS 21930 [2005] „Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products“ werden ganz konkret zu berücksichtigende Materialflüsse und Umweltwirkungen aufgelistet.

Bis zum heutigen Zeitpunkt wurde eine Vielzahl an verschiedenen Methoden entwickelt, deren vollständige Aufzählung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Einige für diese Arbeit relevante methodische Ansätze werden nachfolgend in komprimierter Form vorgestellt. Die in dieser Arbeit zur Anwendung kommenden und für diese Arbeit konkret adaptierten Methoden werden in Kapitel 8 beschrieben.

### **5.1.1 Ökologische Bewertung speziell für das Bauwesen:**

Mit der Bilanzierung der Umweltauswirkungen von Gebäuden und allen damit verbundenen Prozessen wurde in Europa in den 1970er und 1980er Jahren begonnen und aufgrund des komplexen Systems, in welches Gebäude eingebettet sind, wird an der Entwicklung aussagekräftiger und in der Planungspraxis handhabbarer Methoden noch gearbeitet.

Bei der Bilanzierung von Baumaterialien bzw. Gebäuden muss deren gesamter Lebenszyklus (Rohstoffgewinnung, Herstellung, Verarbeitung, Transport, Gebrauch, Nachnutzung, Verwertung/Entsorgung) hinsichtlich Umweltrelevanz untersucht werden. Die Gesamtumweltbelastung aller Prozessstufen soll in der Ökobilanz erfasst werden, ein Vergleich mit Referenzsystemen oder Verfahren, die den gleichen Nutzen bringen (funktionale Einheit), soll so möglich sein.



Auf Basis des systemischen Ansatzes und nicht zuletzt aus dem historischen Kontext heraus können drei unterschiedliche Herangehensweisen an die Thematik bzw. drei Ebenen der ökologischen Bilanzierung im weitesten Sinne und damit korrespondierende Instrumente und Bewertungsmethoden identifiziert werden. Die erste Ebene bildet dabei die Basis der darauf aufbauenden Ebenen, welche immer allgemeiner werden und daher auch oft die regionalen Umstände nicht mehr den Tatsachen entsprechend abbilden können. Die Herangehensweisen befinden sich im Stadium laufender Weiterentwicklung und Adaption und können folgendermaßen bezeichnet werden:

1. Ganzheitliche, grundlagenorientierte Ansätze
2. EDV - Werkzeuge, als Arbeits- und Orientierungshilfe für den Planer, auf Grundlagenstudien basierend.
3. Qualitative Checklisten als Orientierungshilfe für den Planer, auf Grundlagenstudien und Erfahrungswerten basierend.

### **5.1.2 Ganzheitliche, grundlagenorientierte Ansätze**

Es handelt sich um Methoden, welche sich als Erfassungs-, Bewertungs- und Steuerungsinstrumente eignen und dementsprechend aufwändig anzuwenden sind und spezifisches Expertenwissen voraussetzen. Der Vorteil besteht in der zielgenauen Anwendbarkeit auf spezielle Fragestellungen, regionale Rahmenbedingungen und Zielsetzungen, dementsprechend kann die Systemgrenzen- und Prozesswahl sowie die Untersuchungstiefe variiert werden. Oft müssen die notwendigen Datensätze im Zuge der Erstellung der Ökobilanz mittels Messprogrammen oder aufwändigen Recherchen ermittelt werden und sie können in LCA – orientierte (umweltwirkungsorientierte) und massenflussorientierte Ansätze untergliedert werden. Diese Methoden können daher kaum ökonomisch machbar projektbegleitend als Planungsinstrument für einzelne Objekte verwendet werden, sie liefern allerdings die Grundlagen und Datensätze für EDV-Tools sowie für Leitfäden und können zur Überprüfung der Ergebnisse von EDV-Tools in regelmäßigen Abständen herangezogen werden. Bei größeren Eingriffen wie beispielsweise der Planung und Realisierung von ganzen Wohn- und Geschäftsvierteln oder etwa als unterstützendes Instrument in der Stadtentwicklung unter Einbeziehung des regionalen Kontexts sind grundlagenorientierte Ansätze geeignet.

Ein Beispiel dafür ist als LCA – orientierter Ansatz die ganzheitliche Bilanzierung (gaBi) [Eyrer & Reinhardt, 2000], welche sich sehr eng an der Norm ISO 14.040 ff und an der wirkungsorientierten Methodik der CML-Methode [Heijungs et al., 1992] orientiert.

Die an der EAWAG (Schweiz) entwickelte Stoffflussanalyse [Baccini & Brunner, 1991] hat sich als geeignetes, massenflussorientiertes Instrument zur Beschreibung komplexer Systeme erwiesen. Vor allem im urbanen Raum wurde die Methode zur Erfassung, Bewertung und Steuerung von Stoffströmen erfolgreich eingesetzt [Daxbeck et al., 1994] und wird in dieser Arbeit als Erfassungsmethode verwendet und in Kapitel 8.1.1 beschrieben.

Es existieren auch bereits Datenbanken, welche für ausgewählte Bauprozesse Inventardaten mit aufgesetzten Bewertungsergebnissen die Erstellung von Ökobilanzen erleichtern. Ein Beispiel dafür ist die Schweizer Datenbank Ecoinvent 2000 [Frischknecht & Jungbluth 2004], welche auch in dieser Arbeit angewendet wird. Die einzelnen Methoden werden in der Literatur ausführlich beschrieben und an dieser Stelle nicht mehr weiter behandelt.

### **5.1.3 EDV – Werkzeuge als Arbeitshilfen**

Mittels EDV - Werkzeugen können die Daten parallel zum Planungsprozess, oft in vorbereitete Masken oder Listen, eingegeben werden und die Bewertung erfolgt aufgrund verschiedenster im Hintergrund arbeitender Datensätze. Bei manchen Tools kann vom Nutzer auf diese Datensätze im Hintergrund zugegriffen werden, um Anpassungen an spezielle lokale Anforderungen vornehmen zu können oder die Vergleichbarkeit der Daten zu verbessern, was jedoch den Arbeitsaufwand erhöht. Fixe, nicht variierbare Datensätze sind zwar einfacher zu handhaben, können aber aufgrund spezieller regionaler Bedingungen des Projektstandortes zu erheblich verfälschten Ergebnissen hinsichtlich Umweltwirkungen führen. Bei EDV-Tools beschränkt sich die Bewertung in vielen Fällen nicht allein auf die Auswirkungen auf die Umwelt, sondern es werden auch Kategorien wie Kosten, Architekturqualität, Standort, Infrastruktur usw. erfasst und bewertet. Dabei handelt es sich oft um keine naturwissenschaftlichen Methoden mehr, sondern es werden stark subjektiv beeinflusste Vorgehensweisen gewählt.

Mittlerweile ist eine Vielzahl an solchen Instrumenten am Markt erhältlich, wobei die Handhabbarkeit und Aussagekraft sehr unterschiedlich ist. Vollständige Beschreibungen sind einerseits in der Literatur ausführlich abgehandelt und andererseits werden diese Bewertungsinstrumente in der vorliegenden Arbeit nicht angewendet, daher erfolgt an dieser Stelle keine weitere Beschreibung.

### **5.1.4 Qualitative Checklisten als Orientierungshilfe für den Planer**

Für die jeweiligen Planungsphasen eines Projektes von der Entscheidung des Baubedarfs und der Standortwahl über die Planung bis zur Ausschreibung und Baudurchführung gibt es Checklisten auf rein qualitativer Ebene, welche verschiedenste zu beachtende Kriterien, Entscheidungsmöglichkeiten und daraus folgende Konsequenzen auflisten. Bei der Durchleuchtung der einzelnen Planungs- und Bauphasen werden auch oft Aspekte der Nachnutzung sowie der Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten angedacht. Grundlage für solche Checklisten sind langjährige Erfahrungen aus der Praxis sowie Ergebnisse von Grundlagenstudien.

Mittlerweile gibt es eine große Anzahl verschiedenster Leitfäden und Checklisten, welche in der Literatur ausführlich beschrieben sind. Derartige Bewertungsinstrumente finden in der vorliegenden Arbeit keine Anwendung und werden daher nicht weiter behandelt.

### **5.1.5 Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie**

Für die Methodenauswahl und die Festlegung der Bewertungsparameter (siehe auch Kapitel 8) können folgende erste Schlussfolgerungen und Empfehlungen gezogen werden:

- Ökobilanzen sind nur dann aussagekräftig, wenn alle bedeutenden Prozesse von der Entnahme aus der Umwelt bis zur letzten Senke erfasst werden, was bei Bauwerken aufgrund der langen Lebensdauer und der Materialvielfalt besonders komplex ist. In der vorliegenden Arbeit wird eine Basis für das Gesamtsystem des Wiener Wohn- und Büro-

baues geschaffen, die mit dem Einzelobjekt in Form von Referenzgrößen (z.B. 1 m<sup>2</sup> Nutzfläche) verknüpft werden und so als Orientierungshilfe dienen kann.

- Die Methode der Stoffflussanalyse [Baccini & Brunner 1991] ist geeignet, komplexe Systeme übersichtlich darzustellen. Eine Verknüpfung des Stadtraumes Wien mit dem zur Ver- und Entsorgung notwendigen Hinterland ist mit dieser Methodik ebenfalls gut und transparent machbar. Daher wird die Stoffflussanalyse zur Modellierung und Darstellung des Systems und dessen Steuerungsmöglichkeiten und als Erfassungsmethode verwendet.
- Die Bewertung der mit der Stoffflussanalyse identifizierten Güterflüsse erfolgt mit Hilfe der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth 2004], wobei die Wirkungskategorien der CML – 2001 Methode [Guineé et al. 2001] und der Kumulierte Energieaufwand [VDI 1997] verwendet werden. Zusätzlich wird das die Güterflüsse darstellende Systembild beschrieben und interpretiert. Damit können auch die Empfehlungen des Normenentwurfes ISO DIS 21 930 [2005] abgedeckt werden.
- Für die endgültige Auswahl der Bewertungsindikatoren müssen die besonderen Rahmenbedingungen der Stadt Wien untersucht werden, um eine umfassende und den Anforderungen der Stadt genügende Indikatorauswahl treffen zu können.
- Für die neu zu entwickelnde Vorgehensweise werden die in Tabelle 5-1 angeführten Bewertungsparameter und Methoden als Ausgangspunkt verwendet:

Tabelle 5-1 Zusammenstellung der angestrebten Erfassungs- und Bewertungsmethoden und der Bewertungsindikatoren.

Erfassung/Bewertung	Methode	Urheber
Güterflüsse (ev. Stoffflüsse)	Stoffflussanalyse	Baccini & Brunner, 1991
Wirkungskategorien - LCIA (z.B. Treibhauseffekt)	CML 2001, Verwendung von Ecoinvent 2000	Heijungs et al. 1992, Guineé et al. 2001 und Frischknecht & Jungbluth 2004
Energieaufwand (erneuerbar, nicht erneuerbar)	Kumulierter Energieaufwand KEA, Verwendung von Ecoinvent 2000	VDI 1997 und Frischknecht & Jungbluth 2004
Ressourcensteuerung	Stoffflussanalyse	Baccini & Brunner, 1991

- Bei der Anwendung der Ecoinvent 2000 Datenbank ist zu berücksichtigen, dass die Daten nicht immer die konkrete Situation für Wien widerspiegeln. Für das Ziel dieser Arbeit, der Methodenentwicklung, kann die damit verbundene Datenungenauigkeit aber in Kauf genommen werden. Für den praktischen Einsatz müssten die verwendeten Werte noch mit der realen Situation für Wien verglichen und bei Bedarf angepasst werden.
- Das methodische Vorgehen soll in dem Sinn offen gehalten werden, dass Anpassungen für jede beliebige Region ohne großen Aufwand möglich sind.
- Aus Gründen der Transparenz und zur Vermeidung von Subjektivität wird auf Gewichtungen verzichtet. Die Ergebnisse der einzelnen Bewertungskategorien können untereinander nicht verrechnet werden.
- Die Bewertungsergebnisse werden einerseits für die gesamte Funktionale Einheit (gesamte 2001 geschaffene Wohn- und Büronutzfläche) und andererseits auch pro Quadratmeter Nutzfläche dargestellt, wodurch vergleiche mit Kenngrößen anderer Städte möglich werden.

## 5.2 **Überblick internationaler Stoffhaushaltsstudien bis 1990**

Im 20. Jahrhundert wurde in den 60er Jahren in den USA im Rahmen einer Dissertation von Frank Smith, welche die Deponierung von Abfällen und die damit verbundene Problematik thematisierte, der Gedanke einer Stoffbilanzierung und dem damit verbundenen Ressourcenmanagement erstmals aufgegriffen. Die Verhinderung von schädlichen Umweltwirkungen kann vorbeugend am effektivsten mittels einer Stoffbilanz, welche über das gesamte Wirtschaftssystem gelegt wird, erreicht werden. Damit wurde erstmals vom Prinzip der Filterstrategien abgegangen und stattdessen der Versuch gestartet, am Anfang des Systems Maßnahmen im Sinne der Früherkennung und dem Vorsorgeprinzip zu setzen [Merl 1996].

**L'Écosystème Urbain Bruxellois:** In der Brüsselstudie arbeiteten [Duvigneaud et al. 1975] die Besonderheiten urbaner Ökosysteme und deren komplexe Strukturen samt den dabei auftretenden Problemen heraus. Im Rahmen dieser Studie wurden auch über den Zeitraum eines Jahres hinweg eine Gesamtenergiebilanz und eine Wasserbilanz erstellt. Zum Abschluss der Studie wird der Metabolismus der Stadt hinsichtlich der Nettoprimärproduktion resultierend aus der Photosynthese, der Luftverschmutzer ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , ...), der Schwermetallemissionen (vor allem Pb), des Abfalls und der Abwässer beleuchtet. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass vor allem die natürlichen Ressourcen (Sonnenenergie, Niederschlag) ungenutzt bleiben. Der Metabolismus einer Stadt soll erfasst werden, um die Probleme der Umweltverschmutzung und der Ressourcenverluste, vor allem über Abfälle, in den Griff zu bekommen.

**The Metabolism of a City: The Case of Hong Kong:** Die zunehmende Urbanisierung und die damit verbundenen Aussichten für die Zukunft werden anhand des Beispiels der Stadt Hong Kong demonstriert [Newcombe et al. 1978]. Anhand der Stoff- und Energieflüsse wird die Ressourcenintensität dieses mit starkem Wachstum verbundenen Trends aufgezeigt, gleichzeitig wird vorgeschlagen, Schutzstrategien und Alternativlösungen zu entwickeln. Als eine der Grundvoraussetzungen wird die Notwendigkeit des Verstehens und Begreifens des urbanen Metabolismus angegeben. Zu diesem Zweck werden die gebaute Infrastruktur, die Energie-, Nährstoff- und Güterflüsse, eine Wasserbilanz, die Transportsysteme, die Abfälle und die Luftverschmutzung untersucht.

Die Autoren empfehlen, gewonnene Erkenntnisse aus Untersuchungen des Stoffhaushalts einer Stadt bei zukünftigen Planungen und Gestaltungen der Städte hinsichtlich Lebensqualität und Gesundheit der Bewohner einzusetzen und umzusetzen.

**Nationale Ressourcenbilanzierungssysteme in Europa:** In den späten 70er Jahren entwickelten eine Reihe europäischer Staaten (Finnland, Frankreich, Norwegen und Schweden) nationale Bilanzierungssysteme bezüglich des Ressourcenhaushalts sowie einiger ausgewählter Stoffe (vor allem Schwermetalle). In Österreich wurden 1982 Stoffbilanzen über Blei und Cadmium mit dem Ziel einer Verbesserung der Rückführungsrate der Nichteisenmetalle erstellt [Merl 1996].

**Historical Reconstruction of Pollutant Loadings in River Basins** (Ayres et al, 1985): Das Ziel dieser Studie war, die historische Rekonstruktion der Schadstofffrachten im Hudson-Raritan Basin zu erstellen. Die gewonnenen Daten sollten der Abschätzung der Langzeitwirkung anthropogener Aktivitäten auf die Fischbestände in Mündungsbereichen dienen.

Um dieses Ziel zu erreichen wurde die Methode der Stoffbilanzierung in Kombination mit einem Umwelttransportmodell gewählt. Damit konnten sowohl Punktquellen als auch großflächige Ausbringungen berücksichtigt werden sowie eine Rekonstruktion der historischen Entwicklung vorgenommen werden. Die Daten für die Stoffbilanz wurden entsprechend den landwirtschaftlichen Quellen, den Verbrennungsquellen und den dissipativen Verwendungen (Konsum) aufgebaut. Für die historische Erfassung der Stoffflüsse wurde das Transportmodell entsprechend der historischen Landnutzung modifiziert. Die berücksichtigten Stoffe wurden in die drei Kategorien „Schwermetalle“, „Pestizide und Herbizide“ sowie „andere kritische Schadstoffe“ gegliedert, die Untersuchungsperiode umfasste den Zeitraum von 1880-1980. Die Richtigkeit der Ergebnisse der Stoffbilanz wurde mittels Messungen in Sedimenten und durch Wasserproben überprüft, bei Unstimmigkeiten wurden entsprechende Adaptierungen am Berechnungsmodell vorgenommen.

Diese Studie hat gezeigt, dass die Methode der Stoffbilanzierung in Kombination mit einem Umwelttransportmodell eine geeignete Vorgangsweise darstellt, mit vermischtem historischem Datenmaterial Aussagen über in der Vergangenheit liegende Schadstofffrachten zu machen. Besonders das in diesem Zusammenhang nicht vollständige Datenmaterial macht die Stoffbilanz zu einer geeigneten Methode, da diese mehrere Möglichkeiten für das Füllen von Datenlücken bietet. Ein weiteres Ergebnis war die Erkenntnis, dass die konsumbezogenen Emissionen in der Nutzungsphase die Produktionsemissionen an Bedeutung bereits vielfach überholt haben.

**Industrial Metabolism** [Ayres, 1989]: Das Konzept des „Industrial Metabolism“ stellt zwischen der Biosphäre und der industriellen Wirtschaft eine Analogie hinsichtlich der Kreislaufführung her, wobei die Biosphäre ein nach einer 4 Mio. Jahre dauernden Evolutionsphase ein optimiertes System darstellt und die industrielle Wirtschaft erst am Anfang dieses Entwicklungsprozesses steht. Vor allem der zu schnelle Durchlauf der Stoffe durch das Wirtschaftssystem sowie die dissipativen Verwendungen beherbergen ein Risikopotential für die Zukunft.

Daher ist eine Reduktion der Materialintensität beispielsweise mittels einer besseren Kreislaufführung von Stoffen notwendig, die Anwendung der Stoffbilanzierung kann bei der Entwicklung eines effizienten Kreislaufsystems einen wichtigen Beitrag leisten.

**Die praktische Bestimmung des Stoffhaushaltes einer Region am Beispiel der Studie „RESUB“:** Das Ziel von RESUB [Brunner et al., 1990] bestand darin, eine Methode zur Erfassung der Flüsse und Lager von Gütern und ausgewählten Stoffen in der Anthroposphäre und der Umwelt der Region Unteres Bünztal (Schweiz) zu entwickeln. Weiters soll die Praxistauglichkeit dieser Methodik anhand ausgewählter Stoffflüsse und deren Steuerung überprüft werden. Um das Projekt überschaubarer zu machen, wurde die Region in vier Teilprojekte unterteilt: In die drei Umweltprozesse „Wasser“, „Boden“ und „Luft“ und in „Anthroposphäre“. Als Bilanzierungsperiode wurde ein Jahr gewählt. Die Schlussfolgerungen der Teilprojekte waren:

Projekt „**Anthroposphäre**“: Die Güter- und Stoffflüsse sind nicht im Gleichgewicht. Das Lager wächst und bedarf einer Kontrolle. In urbanen Regionen sind die Privathaushalte Schlüsselprozesse, ihre Güter- und Stoffflüsse übersteigen jene aus Industrie und Gewerbe.

Projekt „**Wasser**“: Die Wasserbilanz gibt Hinweise auf die Umsatzraten in den Speichern. Einzelereignisse wie Hochwasser, Unfälle und ähnliches können für die Quantifizierung einzelner Stoffe wichtig sein. Das Verdünnungspotential für den Stofffluss einer Region wird durch den Wasserhaushalt bestimmt. Das heißt, dass das Entwicklungspotential einer Region maßgeblich durch den Wasserhaushalt limitiert ist.

Projekt „**Boden**“: Der Boden ist für einige der untersuchten Stoffe (Phosphor, Kupfer, Zink und Blei) eine Senke, das heißt er befindet sich nicht im Fließgleichgewicht. Im landwirtschaftlichen Boden sollte ein Fließgleichgewicht angestrebt werden, die Überprüfung sollte mit einer Stoffbuchhaltung erfolgen.

Projekt „**Luft**“: Lokale Immissionen werden oft durch überregionale Emissionen verursacht. Besonders bei kleinen Regionen ist daher die Berücksichtigung von Export- und Importfrachten unerlässlich, der Einfluss der Meteorologie kann für die Immissionen sehr bedeutend sein.

**Das Konzept des umweltverträglichen regionalen Stoffhaushaltes:** Es stellt sich die Frage, wie groß die Restflüsse aus der Anthroposphäre in die Umwelt sein dürfen, um diese langfristig nicht zu schädigen. Es ist ein integraler Ansatz notwendig, in dem die einzelnen Umweltkompartimente (Luft, Wasser und Boden) mit der Anthroposphäre verknüpft werden und ein langfristig orientiertes Management der Güter- und Stoffflüsse betrieben wird. Ein möglicher Ansatz zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit wäre, die anthropogenen Stoffflüsse an den geogenen („natürlichen“) Stoffflüssen zu messen. Keine Störung des natürlichen Gleichgewichtes einer Region ist dort zu erwarten, wo die anthropogen induzierten Stoffflüsse die globalen Flüsse und Speicher der Umwelt auch langfristig nicht ändern und sich innerhalb der Schwankungsbreite der durchschnittlichen regionalen geogenen Flüsse bewegen.

### 5.2.1 Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie

- Um Schädwirkungen auf die Umwelt bei der Entsorgung von Baumaterialien zu vermeiden müssen die Vorsorgemaßnahmen bereits bei der Planung ansetzen. Die Basis dafür kann ein entsprechendes Ressourcenmanagementsystem sein.
- Global setzt sich der Trend zunehmender Urbanisierung und damit verbundener Wachstumskonzentration auf kleinem Raum weiter fort. Mittels eines Ressourcenmanagementsystems können Strategien gegen die Überlastung im urbanen Umfeld liegender regionaler Ökosysteme entwickelt werden. Daraus ergeben sich konkrete Grundlagen für ökologisch nachhaltiges Planen und Bauen.
- Ressourcenmanagementsysteme sollten nach den regional zur Verfügung stehenden Rohstoffpotentialen sowie der regionalen Infrastruktur ausgerichtet werden.
- Die Konsumemissionen sind vielfach bereits höher als die Produktionsemissionen. Daher sind die Einbeziehung der Nutzungsphase von Gebäuden sowie die Erfassung, Bewertung und Steuerung dieser Emissionen wichtig und bei der Indikatorwahl zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass die wirkungsorientierte Bewertung allein vor allem im Bauwesen mit langlebigen Produkten zu wenig ist und um die stoffliche Komponente erweitert werden muss.

- Die Aufenthaltsdauer der Materialien in der Anthroposphäre soll beispielsweise durch optimierte Kreislaufführung erhöht werden, dissipative Verluste sollen überprüft und nach Bedarf minimiert werden. Dieser Aspekt muss bei der Entwicklung des Ressourcenmanagementsystems berücksichtigt werden.
- Die Verknüpfung des anthropogenen Stoffhaushaltes mit dem natürlichen Stoffhaushalt der drei Umweltkompartimente Wasser, Boden und Luft ist mit der Stoffflussanalyse gut praktikierbar. Bei der Entwicklung des Ressourcenmanagementsystems ist dieser Aspekt von Bedeutung, da der Zustand der regionalen Umweltkompartimente das Entwicklungspotential einer Region beeinflusst bzw. limitiert und nicht aus dem Gleichgewicht gebracht werden darf.
- Die Stoffflussanalyse ist daher ein bedeutender Bestandteil des in dieser Arbeit zu entwickelnden Ressourcenmanagementsystems.

### **5.3 Nationale und internationale Stoffhaushaltsstudien seit 1990**

In diesem Unterkapitel werden aktuelle Beispiele von regionalen Stoffhaushaltsstudien kurz vorgestellt und die Schlussfolgerungen daraus für die hier abgehandelte Studie gezogen. Es werden nur für die hier vorliegende Arbeit relevante Aspekte in kurzer Form wieder gegeben, ein vollständiges Bild über die einzelnen Arbeiten kann der Originalliteratur entnommen werden.

#### **5.3.1 Beispiel Dänemark**

##### **5.3.1.1 Allgemeines**

Laut [Schachermayer et al. 2000] wurde in Dänemark bereits 1984 ein umfassendes Programm im Bereich Baurestmassen genehmigt, das zur Reduktion von Abfällen führen sollte. Die dänische Regierung investierte zwischen 1986 und 1995 rund 10 Millionen US\$ in Projekte, die sich mit dem Recycling von Baurestmassen befassten. Die Intention dabei war, bis zum Jahr 2000 60 % dieser Baurestmassen wiederzuverwerten. Das Hauptaugenmerk wurde auf die mineralische Fraktion gelegt – nicht zuletzt wegen des im Vergleich zu den biogenen Baustoffen hohen Aufkommens. 1995 wurden in Dänemark bereits 80 % aller registrierten Baurestmassen recycelt.

##### **5.3.1.2 Methodisches Vorgehen**

Folgende Maßnahmen führten zu dieser hohen Verwertungsrate:

- Bestandsaufnahme von Baurestmassen
- Entwicklungsprojekte
- Demonstrationsprojekte
- Durchführung

##### **5.3.1.3 Ergebnisse**

Maßnahme 1: Bestandsaufnahme von Baurestmassen

Im Zeitraum von 1988 bis 1990 wurden eine umfassende Bestandsaufnahme und eine detaillierte Prognose für die Mengen an Baurestmassen in Dänemark durchgeführt. Das Ziel war, die Zusammensetzung und geographische Verteilung von Baurestmassen zu erheben

und die Abfallmengen, die in den kommenden 25 Jahren zu erwarten waren, abzuschätzen. Die DEPA (Danish Environmental Protection Agency) führte das offizielle „Information System for Waste Production and Recycling“ ein, was die offizielle Abfallmenge von Baurestmassen innerhalb von zwei Jahren um 50 % erhöht hat.

### Maßnahme 2: Entwicklungsprojekte

Von 1989 bis 1991 wurde von der „Danish Demolition Association“ ein Projekt durchgeführt, das zum Ziel hatte, ein Konzept für selektiven Abbruch und damit verbundene Aktivitäten zu entwickeln. In diesem Projekt wurden standardisierte Arbeitszeitpläne erstellt und standardisierte Organisationspläne für Abbruchstätten und die optimale Anordnung von Containern für die getrennten Abfälle erarbeitet. Basierend auf den Ergebnissen des Demonstrationsprojektes konnte abgeschätzt werden, dass selektiver Abbruch und Sortierung auf der Baustelle rund 30 % mehr Arbeitszeit bedeuten als konventioneller Abbruch und Ablagerung. Wenn man allerdings die Deponiegebühren für die Ablagerung von Bauschutt in Dänemark in die Betrachtungen einkalkuliert, so ist letztendlich der selektive Abbruch um rund 18 % billiger als der konventionelle Abbruch.

### Maßnahme 3: Demonstrationsprojekte

Unter Demonstrationsprojekten werden hier Projekte von praktischer Bedeutung verstanden, die dem Großteil der Öffentlichkeit auffallen sollten, wie z.B. drei Apartment-Häuser, die hauptsächlich aus recycelten Materialien gebaut wurden. Es konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, Neubauten für allgemeine Zwecke mit recycelten Materialien zu errichten, wobei den traditionellen Bauregeln und der Gesetzgebung genüge getan wurde.

### Maßnahme 4: Durchführung des Recyclings

Der letzte Schritt im Recyclingprozess ist die praktische Umsetzung der gewonnenen technischen Erfahrungen. Diese müssen mit den ökonomischen und rechtlichen Mitteln zur Anweisung und Kontrolle kombiniert werden, um optimale ökologische und ökonomische Ergebnisse zu erhalten. In dieser letzten Phase ist es wichtig, dass das Recycling bereits so etabliert ist, sodass es ohne öffentliche Unterstützung weitergeführt werden kann.

#### **5.3.1.4 Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie**

- Um deutlich quantifizierbare Wirkungen erzielen zu können ist ein entsprechender Entwicklungszeitraum und ein angemessenes Budget zur Umsetzung notwendig.
- Die Kenntnis des Lagers (Zusammensetzung und Mengen) ist eine Grundvoraussetzung für die Erstellung eines zum Ziel führenden Maßnahmenkatalogs.
- Ökonomisch rechnet sich der Mehraufwand für selektiven und sorgfältigen Rückbau. Wird auf die Erfordernisse der einfachen Trennbarkeit der Konstruktion bereits im Planungsprozess eingegangen, so können noch zusätzliche Optimierungspotentiale eingelöst werden.
- Entsprechende Öffentlichkeitsarbeit ist notwendig, um bei den Konsumenten eine entsprechende Akzeptanz für Recyclingbaustoffe zu erzeugen.
- Der Gesetzgeber muss die entsprechenden Rahmenbedingungen für eine optimierte Lagerbewirtschaftung schaffen.



## **5.3.2 Bewertung des regionalen Holzhaushaltes - Schweiz**

### **5.3.2.1 Allgemeines**

In der Arbeit „Modellierung, Simulation und Bewertung des regionalen Holzhaushaltes“ von Daniel Müller wird der regionale Holzhaushalt über eine Zeitspanne von 200 Jahren (1900 – 2100) dynamisch simuliert [Müller, 1998]. Dabei werden Wald, Forstwirtschaft, Holzverarbeitung, Konsum und Entsorgung von Holzprodukten hinsichtlich technisch – naturwissenschaftlicher Aspekte miteinander verknüpft. Das Modell wurde in der Region Olten – Oensingen - Zofingen im Schweizer Mittelland angewendet. Für die beiden größten Holzlager, nämlich den Wald und den Gebäudebestand, wurden Umbauszenarien entwickelt und in Bezug auf Kriterien einer nachhaltigen Regionalentwicklung bewertet. Mit der entwickelten Methodik als Planungsinstrument können langfristige regionale Entwicklungsstrategien evaluiert werden, wobei Forst-, Holz-, Papier, Bau- und Abfallwirtschaft miteinander koordiniert werden. Eine Abstimmung zwischen Produktion und Konsum ist notwendig, um den Verbrauch von Hinterland zur Holzproduktion einerseits in Grenzen zu halten andererseits aber eine unerwünschte Unternutzung der Wälder zu verhindern.

### **5.3.2.2 Methodisches Vorgehen:**

Der gesamte Holzhaushalt einer Region im Schweizer Mittelland wird mit Hilfe der Stoffflussanalyse nach [Baccini und Brunner, 1991] untersucht und mittels eines dynamischen Simulationsmodells beschrieben. Das Modell beschreibt den Holzhaushalt und den mit der Holzbewirtschaftung verbundenen Energiehaushalt für den Zeitraum von 1900 bis 2100. Fehlende Daten und Datenlücken wurden mit Hilfe von Daten anderer Regionen abgeschätzt bzw. mittels entsprechender Parametervariationen getestet. So wurden die Schlüsselgrößen des Systems identifiziert. Anhand von Szenarien für das 21. Jahrhundert wurde untersucht, wie sich eine Veränderung der Waldanordnung und ein Umbau des Gebäudeparks zu einem solaren System (Wärmeversorgung ausschließlich mit Sonnenkollektoren und Holz) auf den Holzhaushalt auswirken würden.

### **5.3.2.3 Ergebnisse**

Als Schlüsselgröße für die Holzproduktion hat sich das Wachstumspotential bestimmter Baumarten auf bestimmten Waldstandorten erwiesen. Die Produktivität der Wälder hängt von den Baumarten und der Umtriebszeit ab.

Das Bauwesen kann den Holzhaushalt wesentlich beeinflussen. In welchem Ausmaß ist regional unterschiedlich und hängt mit der zur Verfügung stehenden Waldfläche und der Bevölkerungsdichte und der damit verbundenen Pro-Kopf-Gebäudefläche zusammen. Der Anteil des Baustoffes Holz ist somit regional unterschiedlich limitiert, der Holzanteil am Gesamtbauvolumen ist in den letzten Jahren in der untersuchten Region im Sinken begriffen gewesen.

Der Wald besitzt ein bisher ungenutztes Potential zur Verbesserung der Erholungs- und Schutzfunktion, wenn er in die Gestaltung der gesamten Kulturlandschaft integriert wird. Ein Umbau der Waldflächenanordnung könnte aber nur langsam erfolgen und müsste sich an den Umtriebszeiten orientieren.

Als Energieträger könnte Holz eine wichtige Rolle spielen, wenn schlecht gedämmte Häuser konsequent gegen energiesparende Gebäude ausgetauscht werden, welche ausschließlich mit Sonnenkollektoren und regional verfügbaren Brenn- und Altholz beheizt werden. Ein entsprechender Umbau des Gebäudebestandes könnte zur Loslösung von fossilen Energieträgern beitragen und müsste über einen Zeitrahmen von mindestens 50 – 100 Jahren erfolgen.

Bei der Betrachtung eines Gesamtsystems (Region) bei der Ressourcenbewirtschaftung kann im Vergleich zu einer isolierten Betrachtung einzelner Objekte effizienter erfasst und gesteuert werden.

### **5.3.2.4 Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie:**

- Bei der Ermittlung und Bewertung des optimalen Holzeinsatzes in der Bauwirtschaft müssen auch jene Sektoren berücksichtigt werden, für die Holz ein wesentlicher Rohstoff ist wie z.B. die Papierindustrie und im zunehmenden Maß die Erzeuger von Energie aus Biomasse.
- Bei der Ermittlung des für Wien zur Verfügung stehenden Holzpotentials müssen auch die angrenzenden Regionen und deren Bedarf berücksichtigt werden.
- Bei der Entwicklung von Zukunftsszenarien für die Stadt Wien müssen alle möglichen Funktionen des Rohstoffes Holz in die Überlegungen mit einbezogen werden. Holz kann in mehreren Lebenszyklen auch unterschiedliche Funktionen übernehmen. Die Voraussetzungen dafür werden bereits im Planungsprozess geschaffen.
- Bei der Berechnung des möglichen Holzpotentials für die Region Wien müssen die Baumarten und deren Standorte sowie die Umtriebszeiten berücksichtigt werden. In diesem Kontext müssen aber auch die anderen Funktionen des Waldes (Schutzfunktion, Erholungsfunktion, Erhaltung der Artenvielfalt usw.) mitbedacht werden.
- Der maximal mögliche Anteil an Holz im Gebäudebestand von Wien hängt von den speziellen regionalen Gegebenheiten des Wiener Hinterlandes ab.
- Nach dem letzten Lebenszyklus sollte das Abfallholz thermisch zur Energieerzeugung verwertet werden.
- Eine mögliche Priorität für den Umbau des urbanen Lagers könnte die Einsparung von Energie und die Loslösung von fossilen Energieträgern sein.
- Die Betrachtung eines gesamten regionalen Systems, wie im konkreten Fall Wien, hat bei der Evaluierung der Einsatzmöglichkeiten für Holz im urbanen Raum Vorteile gegenüber der Betrachtung von Einzelobjekten. Aus dieser gesamtheitlichen Betrachtung können aber Rückschlüsse für das Einzelobjekt gezogen werden.

## **5.3.3 Österreich – Bauwerk Österreich**

### **5.3.3.1 Allgemeines**

Diese Studie [GUA 2003] hat das Management von Baurestmassen nach den Gesichtspunkten der optimalen Ressourcennutzung und des langfristigen Umweltschutzes anhand der Güter- und Stoffbilanz des „Bauwerks Österreich“ thematisiert. Die beschriebene Studie ist

Teil einer vierteiligen Arbeit zum Thema Güter- und Stoffhaushalt Österreich, welche aus folgenden Teilen besteht:

- Güterhaushalt Österreich
- Aluminiumhaushalt Österreich
- Bauwerk Österreich
- Stickstoffhaushalt Österreich

Sämtliche Arbeiten wurden unter Verwendung der Methode der Stoffflussanalyse erstellt. Dazu waren aufeinander abgestimmte Betrachtungssysteme erforderlich. Insbesondere mit der Basisstudie "Güterhaushalt Österreich" (RMA, 2003) bestand ein sehr großer Abstimmungsbedarf. Neben den Listen der betrachteten Güter wurde auch die Struktur der Datenerhebung im Wesentlichen abgestimmt. Insbesondere betrifft dies Datenerhebung und Methodik zur Quantifizierung der Lager. Einzelne Prozesse stellen eine direkte Verbindung zwischen den Studien her. Darauf ist auch die eher unübliche Betrachtung des Bauwesens nach den Bereichen „Bauwesen Privathaushalte“, „Bauwesen Industrie“, „Gewerbe und Dienstleistungen“ und „Bauwesen Netzwerke“ zurück zu führen. Die Studie baut auf den Erfahrungen zahlreicher Vorgängerarbeiten in regionalem Maßstab auf.

### **5.3.3.2 Methodisches Vorgehen**

Auf Basis der Methodik der Stoffflussanalyse [Baccini & Brunner 1991] sowie [Baccini & Bader 1996] wird eine Güterbilanz für das System „Bauwerk Österreich“ dargestellt. Folgendes methodisches Vorgehen wird zugrunde gelegt:

- Systemidentifikation – Grenzen, Prozesse, Güter, Stoffe
- Datenerfassung – prozessbezogene Güterflüsse, Stoffkonzentrationen in Gütern;
- Darstellung von Szenarien (im gegebenen Fall)
- Güterbilanzierung – Verknüpfung vorhandener Güterflüsse im System
- Stoffbilanzierung – Ermittlung der Stoffflüsse
- Interpretation der Resultate

Die Identifikation des Systems „Bauwerk Österreich“ erfolgt räumlich, zeitlich und „inhaltlich“. Das Gesamtsystem wird in die drei Hauptprozesse Bauwesen, Bewirtschaftung von Bauwerken und Abfallwirtschaft unterteilt. Neben der Definition der Prozesse, die innerhalb des Systems betrachtet werden liegt der Schwerpunkt auf der Identifikation der massenmäßig wichtigen Güterflüsse. In der Regel werden auch die Zielprozesse außerhalb des Systems beschrieben.

Es erfolgt schließlich eine Beurteilung der Ergebnisse aus den Güter- und Stoffflüssen anhand der Ziele des österreichischen Abfallwirtschaftsgesetzes sowie aus der größeren Perspektive der Bewirtschaftung von Ressourcen. Defizite werden umfassend analysiert und grundsätzliche Vorschläge angedacht.

### **5.3.3.3 Ergebnisse**

Das Bauwesen bildet die größten Lager in der Anthroposphäre. Der Output aus dem System „Bauwerk Österreich“ liegt in Form von Baurestmassen vor, welche zum größten Teil aus dem Abbruch, dem Umbau und der Sanierung von Bauwerken stammen. Nur ein wesentlich geringerer Teil (in Österreich in der Größenordnung von 10 % der Baurestmassen) stammt

direkt aus dem Neubaugeschehen. Die gezielte stoffliche Bewirtschaftung der Baurestmassen durch die Abfallwirtschaft setzt daher unbedingt die Kenntnis des Lagerbestandes im „Bauwerk Österreich“ voraus.

Primäres Ziel war es, die Perspektive der Abfallwirtschaft (Betrachtung ausschließlich der Baurestmassen) zu verlassen und durch eine umfassende, stofforientierte Betrachtung des Gesamtsystems *Bauwerk Österreich* zu ersetzen. Es galt dabei auch, die Möglichkeiten und Grenzen der Methodik der Stoffflussanalyse im Hinblick auf praxisrelevante Aussagekraft darzustellen. Letztendlich sollten Schlussfolgerungen für die zukünftige Abfall- und Ressourcenbewirtschaftung gemacht werden.

Aufbauend auf den Erfahrungen bereits vorliegender Arbeiten für die Bundesländer Oberösterreich (1996), Steiermark (2000) und Wien (1998) musste das System *Bauwerk Österreich* identifiziert werden. Als Hauptprozesse wurden die *Baustelle*, das *Bauwesen*, die *Bewirtschaftung von Bauwerken* und die *Abfallwirtschaft* definiert.

Die wichtigsten Güter in der Betrachtung sind dabei die Baumaterialien, die Baurestmassen und das bewegte Bodenmaterial sowie der Bodenaushub. Relevante Lager wurden auf der Baustelle (Bodenmaterial), in der Bewirtschaftung von Bauwerken und in der Abfallwirtschaft (Deponien und sonstige Ablagerungen) identifiziert. Als Stoffe für die Stoff-Bilanzierungen wurden Aluminium, Eisen, organischer (biologisch verwertbarer) Kohlenstoff und Stickstoff ausgewählt.

Die Bilanzierungen zeigen, dass durch das Bauwesen große Güterflüsse induziert werden: 177 Tg/a an Boden werden bewegt, davon finden 77 Tg/a ihren Weg in die Abfallwirtschaft, zum größten Teil in die Sonstige Entsorgung und Verwertung (entsprechend einem ungeklärtem Verbleib). Weitere 108 Tg/a an Baumaterialien werden durch Bautätigkeiten in Form von Bau- und Netzwerken eingebaut. 10,8 Tg/a an Baurestmassen fallen an, davon etwas mehr als die Hälfte wird in der Abfallwirtschaft registriert.

Insgesamt von größter Bedeutung innerhalb dieser Gütergruppen sind dabei die mineralischen Materialien, sie stellen min. 90 % der jeweiligen Güterflüsse dar. Stahl und Holz finden sich an nächster Stelle und haben einen Anteil um 1 – 2 %, alle anderen Materialien liegen noch unter diesem Wert.

Das Gesamtsystem wird fast ausschließlich von den Lagern des Prozesses „Bewirtschaftung von Bauwerken“ dominiert, das sind insgesamt rund 3.700 Tg oder knapp 420 Mg/E. Der jährliche Input ins System beträgt nur ca. 3% dieser Lager. Der Output aus dem Bauwesen – Baurestmassen 10,8 Tg/a - beläuft sich auf gerade 0,3% dieser Lager! Allerdings ist zusätzlich zu beachten, dass dieser Input auch mit weiteren Güterbewegungen vor dem gegenständlichen System verknüpft ist, wie aus der parallel durchgeführten Studie Güterhaushalt der [RMA, 2003] hervor geht. Emissionen aus diesem Lager sind weitestgehend unbekannt, ebenso sind Lageraufbau und Lagerveränderung nur in ihrer Größenordnung abschätzbar. Demzufolge sind die eingelagerten Stoffe einer Nutzung nicht zugänglich. Die ermittelten Stoffflüsse verhalten sich wegen der Dominanz der mineralischen Materialien ähnlich wie die Güterflüsse. Lediglich Stickstoff unterscheidet sich infolge der Anteile in Holz und Kunststoffen von Aluminium, Eisen und organischen Kohlenstoff.

Es zeigt sich deutlich, dass Stoffe aus der Produktion bis in die Abfallwirtschaft eingeschleust werden. Dies ist wegen der langen Verweildauer in den Bau- und Netzwerken besonders ungünstig. Informationen über die stoffliche Zusammensetzung sind zum Zeitpunkt des Auftretens der Materialien in der Abfallwirtschaft nicht mehr verfügbar. Auch (chemische) Analysen können dieses Defizit für die Gesamtheit der Baurestmassen nicht abdecken. Über die Stoffflussanalyse können zumindest prinzipielle Mechanismen wie Stoffanreicherungen aufgezeigt werden.

In der Studie „Bauwerk Österreich“ wird das nachfolgend zitierte Fazit für die Abfallwirtschaft gezogen:

Wesentliche Flüsse (90 % der Baurestmassen ohne Bodenaushub) innerhalb des Systems können nicht durch die Abfallwirtschaft beeinflusst werden. Die Abfallwirtschaft agiert reaktiv und muss auf entstehende Stofffrachten kurzfristig reagieren.

Im betrachteten System stellt das Bodenmaterial ein Subsystem dar, dessen Güter- und Stoffflüsse sich prinzipiell von denjenigen der anderen Baurestmassen unterscheiden. Die Bodenbewegungen sollten daher jedenfalls differenziert von anderen Baurestmassen betrachtet werden.

Handlungsbedarf ist innerhalb und außerhalb der Abfallwirtschaft gegeben. Die Abfallwirtschaft hat nur auf einen kleinen Teil der Güter- und Stoffflüsse Zugriff.

Das Lager an Bau- und Netzwerken ist die größte Abfallquelle im System. Ohne grundlegende Kenntnis desselben (Aufbau, Stoffkonzentrationen und Dynamik) ist der Bundesabfallwirtschaftsplan – zumindest für die Abfallgruppe Baurestmassen – nicht vollständig.

- Die Kenntnisse über das Lager sind daher ausbauen, dabei sind auch langfristige Stoffausschleusungen zu berücksichtigen.
- Die vorhandenen Ansätze werden keine neuen Ergebnisse liefern. Es müssen daher neue Wege in der Datengeneration beschritten werden, wie etwa stoffspezifische und produktspezifische Bilanzierungen oder die Aufarbeitung von objektbezogene Daten – Abfallwirtschaftskonzepten.
- Für die im System identifizierten „letzten Senken“ sind Qualitätsziele fest zu legen.

Auf operativer Ebene

- sind nach stofflichen Kriterien optimierte Fraktionen anzustreben, z.B. durch selektive Materialrückholung und –behandlung; auf heizwertreiche Fraktionen ist dabei zu achten,
- ist die Reinhaltung der mineralischen Matrix zu gewährleisten,
- ist lokale Infrastruktur für Aufbereitung mineralischer Baurestmassen zu schaffen und die Aufbereitungstechnologien für mineralische Baurestmassen zu optimieren.

Außerhalb der Abfallwirtschaft finden sich folgende Ansatzpunkte:

- Reine Güter sind im Kreislauf zu führen – Ziel ist die Entfrachtung der mineralischen Matrix.
- Rücknahmeverpflichtung für Materialien, welche derzeit durch die Abfallwirtschaft nicht optimal behandelt werden können (Beispiele: Verbundmaterialien mineralisch/organisch).

- Daten über das Abfallaufkommen sind zu generieren und zu veröffentlichen.
- Die Grenzen des Recycling müssen beachtet werden, zukünftige Einschränkungen durch Stoff-Anreicherungen sollen ausgeschlossen werden (beispielsweise Schwermetalleinträge infolge Nutzung usw.).

#### **5.3.3.4 Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie**

- Auch dieses Beispiel zeigt, dass die Methode der Stoffflussanalyse zur Abbildung des Bauwesens auf nationaler Ebene und der damit in Zusammenhang stehenden Güter- und Stoffflüsse eine geeignete Methode ist.
- Es werden in der vorliegenden Studie die klassischen Bezeichnungen des Hoch- und Tiefbaues belassen, da damit eine bessere Zuordnung möglicher Baustoffe und Baumaterialien zu einzelnen Prozessen möglich ist. Das gilt besonders für den Baustoff Holz.
- Ob die Ziele der Abfallwirtschaft mittels wirtschaftlich verträglichen Aufwands im gewünschten Ausmaß erreicht werden können wird im Planungsprozess bestimmt. Für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement im Bauwesen ist daher die Planungsphase der Schlüsselprozess.
- Das Abfallwirtschaftsgesetz ist eine geeignete Basis für die Auswahl der Bewertungsindikatoren.
- Baurestmassen aus der Neubautätigkeit liegen in der Größenordnung von 10 % verglichen mit dem Aufkommen von Baurestmassen aus Sanierungen, Auf-, Um- u. Zubauten und aus Abbruchaktivitäten.
- Über die Produktion erfolgt eine unkontrollierte Stoffanreicherung verschiedenster Stoffe in den Baumaterialien, welche nach langer Verweilzeit über die Abfallwirtschaft wieder verwertet oder entsorgt werden müssen. Unbekannte Stoffanreicherungen sind ein Hemmnis für effizientes Verwerten oder auch entsorgen.

## **5.4 Der Stoffhaushalt der Region Wien**

Der Stoffhaushalt der Stadt Wien wurde von einigen Institutionen mit unterschiedlichen Methoden bereits aus verschiedenen Blickwinkeln untersucht. Anschließend werden an dieser Stelle einige Studien in chronologischer Reihenfolge kurz vorgestellt und für die vorliegende Arbeit relevante Daten präsentiert. Die wiedergegebenen Ausschnitte und Ergebnisse konzentrieren sich aber auf die Erfordernisse der hier abgehandelten Studie, also hauptsächlich auf das Bauwesen abzielende Aussagen. Genauere Informationen können aus der Originalliteratur entnommen werden.

### **5.4.1 Der anthropogene Stoffhaushalt der Stadt Wien – Projekt Pilot**

#### **5.4.1.1 Allgemeines**

In der Studie „Der anthropogene Stoffhaushalt der Stadt Wien für C, N und P“ [Daxbeck et al., 1996] wurde eine erstmalige Untersuchung des anthropogenen Stoffhaushaltes der Stadt Wien anhand der erwähnten drei Elemente vorgenommen. Dabei standen methodische Fra-

gestellungen hinsichtlich der Machbarkeit (Aufwand, Daten, Identifizierung der dominanten Flüsse und Lager usw.) derartiger Stoffbilanzen und deren praktischer Umsetzung in Richtung nachhaltiger Entwicklung der Stadt Wien im Vordergrund. Da diese Studie den gesamten Stoffhaushalt der Stadt Wien beschreibt und die Baumaterialien separat erfasst werden, kann daraus die Relation der durch das Bauwesen induzierten Güterflüsse zu den Gesamtgüterflüssen gut erkannt werden.

### **5.4.1.2 Methodisches Vorgehen:**

Mit der Methode der Stoffflussanalyse [Baccini und Brunner, 1991], [Daxbeck und Brunner, 1993] wurde das System der Stadt Wien beschrieben und die Daten erfasst. Als räumliche Systemgrenze wurde die politische Grenze des Stadtgebietes gewählt, als zeitliche Systemgrenze wurde ein Jahr gewählt. Als Erhebungsjahr wurde das Jahr 1991 gewählt.

Zur Beschreibung des anthropogenen Stoffhaushaltes wurden die Prozesse „Verteilung von Gütern“, „IGD“ (= 3 Sektoren der Wirtschaft; Industrie, Gewerbe und Dienstleistung), „Privater Haushalt“ (PHH) „Abfall- und Abwasserwirtschaft“ bestehend aus den Prozessen „Kanalisation“, „private und öffentliche Abfallsammlung“, „ARA“ (Abwasserreinigungsanlage), „Thermische Entsorgung“, Behandlung getrennt gesammelter Güter“ und „Deponie“ gewählt. Zur Beschreibung des Gesamtsystems wurden im Input die Güter Luft, Wasser, Energieträger, Baumaterialien und Produktionsgüter (das sind Rohstoffe, Halb- und Fertigerzeugnisse, Investitionsgüter) und Konsumgüter, im Output die festen, flüssigen und gasförmigen Abfälle sowie die exportierten Güter berücksichtigt. Das Gesamtsystem der Stadt Wien wurde in die Teilsysteme Energieträgerbilanz, Baumaterialienbilanz, Wasserbilanz und Produktions- und Konsumgüterbilanz unterteilt.

### **5.4.1.3 Ergebnisse**

Die in dieser Kurzzusammenfassung angegebenen Zahlen beziehen sich auf das Jahr 1991 und geben gleichzeitig einen Vergleich zwischen der Größenordnung des gesamten Systems Wien mit dem Teilsystem Wiener Büro- und Wohnbau.

#### **Güterebene:**

Der jährliche Güterimport in die Stadt Wien wird mit 300 Mio. t abgeschätzt, jeweils die Hälfte fließt durch die privaten Haushalte und durch die Industrie. Die mengenmäßig wichtigsten Güter sind Wasser (75 %), Luft (18 %), Baumaterialien (2-5 %) und die restlichen Produktions- und Konsumgüter (1 %).

#### **Güterfluss der Stadt Wien:**

Vom gesamten Import an Gütern fließen knapp 40 % in die Privathaushalte und zwischen 35 und 40 % in Industrie und Gewerbe. Der Anteil des Regen- und Fremdwassers liegt bei knapp über 20 %. Berücksichtigt man die Gliederung des Prozesses „IGD“ in Branchen, dann stellen die Privathaushalte die wichtigste „Branche“ für den anthropogenen Güterfluss durch die Stadt Wien dar.

Das anthropogene Lager der Stadt Wien wird mit knapp über 500 Mio. Tonnen abgeschätzt, das entspricht einer Menge von ca. 350 Tonnen pro Einwohner. Das Lager an Gütern in der Anthroposphäre (Bauwerke und Infrastruktur) wächst jährlich um etwa 1 – 3 %. 10 % des Lagers befinden sich in den Deponien, welche jährlich um ca. 1 % wachsen. Die Stadt

wächst um eine Größenordnung schneller als die Deponien. Abbildung 5-1 zeigt die mengenmäßig wichtigsten Güterflüsse durch die Stadt Wien.

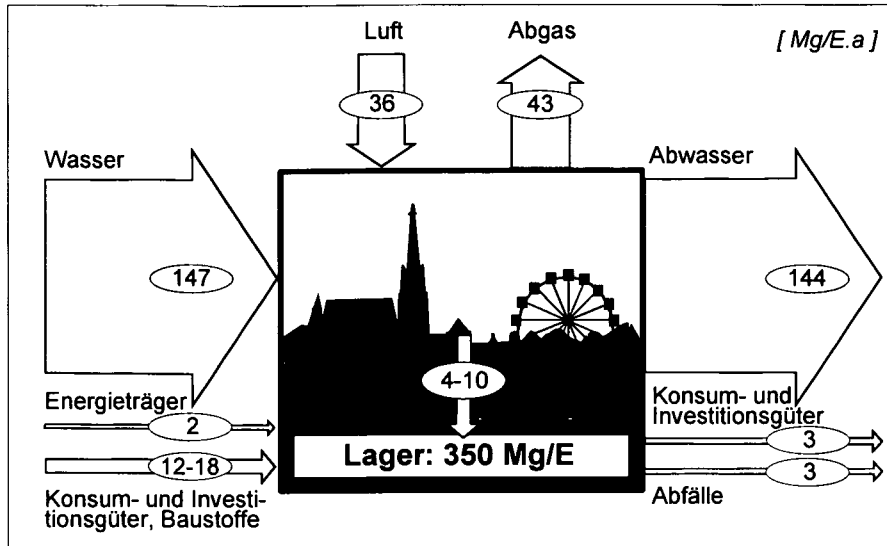


Abbildung 5-1: Der Güterhaushalt der Stadt Wien 1991. [Daxbeck et al. 1996]. Flüsse in (Mg/E.a); Lager in (Mg/E), Einwohner Wien: 1,5 Mio.

Von den 300 Mio. Tonnen an Outputstoffen verlässt nahezu die gesamte Menge die Anthroposphäre von Wien. Der größte Teil (76 %) verlässt die Stadt in Form von Abwasser, der Anteil der Abluft am Output beträgt ca. 20 % und der Anteil der festen exportierten Abfälle am Output macht ca. 2 % aus. Ca 0,6 Mio. t an Abfällen werden in Wien deponiert.

Im Zuge der Pilot-Studie wird auch gezeigt, dass die zur Verfügung stehenden Statistiken oft keine ausreichende Information liefern können. So ist beispielsweise im Prozess „IGD“ der Output um 0,6 Mio. Tonnen größer als der Input, d.h. es verlassen laut Bilanz auf Basis der statistischen Daten 0,6 Mio. Tonnen mehr an produzierten Konsum- und Produktionsgütern die Anthroposphäre der Stadt als in sie hinein fließen.

**Stoffebene:**

**Kohlenstoff:**

1991 gelangten zwischen 4,1 und 4,9 Mio. t Kohlenstoff in die Anthroposphäre der Stadt Wien. Der energieträgergebundene Kohlenstofffluss beträgt ca. 2,6 Mio. t/a, der in den Baumaterialien gebundene Kohlenstofffluss beträgt 0,7 – 1,5 Mio. t/a und in den Produktions- und Konsumgütern gelangen ca. 0,83 Mio. t/a an Kohlenstoff in die Stadt Wien. Vom gesamten Kohlenstoffinput werden etwas mehr als 60 % von Industrie und Gewerbe und knapp 40 % von den privaten Haushalten umgesetzt. Bei Industrie und Gewerbe teilt sich der Kohlenstofffluss zu ca. 1,5 Mio. t/a auf Energieträger, zu ca. 0,5 – 1,3 Mio. t/a auf Bauwerke und zu ca. 0,46 Mio. t/a auf Gebrauchs- und Verbrauchsgüter auf. Der gesamte in die privaten Haushalte fließende Kohlenstoff verteilt sich zu ca. 1,1 Mio. t auf Energieträger, zu ca. 0,37 Mio. t/a auf Gebrauchs- und Verbrauchsgüter und zu ca. 0,2 Mio. t/a auf die Bauwerke.

Aus Industrie und Gewerbe und den privaten Haushalten fließen ca. 0,6 Mio. t/a an Kohlenstoff in die Entsorgung. Davon sind über 92 % in festen Abfällen und knapp 8 % im Abwasser enthalten.



Der gesamte Outputfluss an Kohlenstoff in Wien beträgt knapp 4 Mio. t/a. Davon verlassen ca. 60% des Kohlenstoffes über die Abluft die Stadt. Die restlichen 40 % setzen sich aus nicht in Wien verbrauchten Treibstoffen (9 – 14 %), aus Produktions- und Konsumgütern (ca. 28 %) sowie aus Abfallexport zusammen.

Das Kohlenstofflager Wiens (rund 50 Mio. t) befindet sich hauptsächlich in der Infrastruktur (45 Mio. t) und das Lagerwachstum beträgt jährlich ca. 2%. Die Hälfte des Kohlenstofflagers dürfte in organischer Form vorliegen.

### **Stickstoff:**

Die Menge des gesamten Stickstoffimportes der Stadt Wien im Jahr 1991 liegt zwischen 44.000 t/a und 61.000 t/a. Die Produktions- und Konsumgüter haben dabei einen Anteil von 45 – 60 %, die Energieträger halten einen Anteil von 20 – 25 % und schließlich haben die Baumaterialien einen Anteil von 15 – 30 %.

Der Stickstoffexport erfolgt über die Güter aus Industrie und Gewerbe (33.000 – 36.000 t/a) in andere Regionen, aus Treib- und Brennstoffen in die Atmosphäre und aus der Abfall- und Abwasserwirtschaft gelangen ca. 5.200 t/a in die Atmosphäre sowie ca. 7.300 t/a gehen über den Wasserpfad, wovon ca. 95 % aus dem Kläranlagenablauf stammen.

Das Stickstofflager Wiens beträgt zwischen 740.000 und 800.000 t und wird vor allem durch die in den Gebäuden eingebauten sowie auf den Deponien entsorgten Baumaterialien (Holz, Kunststoffe) gebildet. Knapp  $\frac{3}{4}$  des Lagers befinden sich in den Bauwerken der Prozesse „IGD“ und Private Haushalte, etwas mehr als  $\frac{1}{4}$  des Lagers befindet sich in den Deponien. Das Stickstofflager wächst jährlich um ca. 1 – 3 % und wird sich in 25 – 70 Jahren verdoppeln.

Steuerungsmöglichkeiten ergeben sich hauptsächlich im Ernährungssektor, aber auch im Bauwesen im Zuge der Baustoffwahl (Lageraufbau) und der Etablierung neuer Konzepte der Abwasserbewirtschaftung (z.B. alternative Sammlung und Verwertung stickstoffhaltiger Abwasser, Vermeidung von Abwässern aus dem Sanitärbereich – Trockenklosett usw.). Solche Maßnahmen könnten im Um- und Neubau Berücksichtigung finden.

### **Blei**

1991 beträgt der Bleiimport in den Gütern in die Anthroposphäre Wien ca. 24.000 t, der Bleiexport liegt zwischen 18.500 – 22.000 t. Das bedeutet ein jährliches Wachstum des Bleilagers um ca. 2.000 – 4.500 t.

Die einzelnen Gütergruppen des jährlichen Bleiimports unterscheiden sich um bis zu vier Größenordnungen. Die Konsum- und Produktionsgüter machen etwa 19.600 t Pb/a aus, Bau- und Bodenmaterial ca. 4.100 t Pb/a, Energieträger rund 100 t Pb/a und Trinkwasser weniger als 1 t Pb/a. Das nach Wien importierte Blei wird zu 90 % im Prozess „IGD“ und zu 10 % im Prozess „Privater Haushalt“ umgesetzt. Die Bleiflüsse innerhalb der Stadt werden hauptsächlich von den Baumaterialien und den Bleiakkulatoren bestimmt.

Das größte Bleilager in der Stadt Wien befindet sich zu 90 % in den Bauwerken und der Infrastruktur (307.000 t), das jährliche Wachstum beträgt ca. 1 %. In den Deponien innerhalb Wiens lagern ca. 29.000 t Blei, dort wächst das Lager um ca. 3 % jährlich (ca. 800 t Pb/a). Zwischen 5.000 und 8.000 t Pb befindet sich in den Akkulatoren der Kraftfahrzeuge Wiens.

### **Hauptaussagen für die Stadt Wien:**

- Der Güterfluss der Stadt Wien ist nicht im Fließgleichgewicht, der Input ist größer als der Output, das Lager, und damit das Schad- und Rohstoffpotential, wächst.
- Neben dem Dienstleistungssektor ist auch der Produktionsstandort Wien, wo Produkte für den Konsum in anderen Regionen gefertigt werden, von Bedeutung.
- Die Stadt Wien ist für die massenmäßig bedeutendsten Güter (Wasser, Luft und Energieträger) im Wesentlichen ein Durchflussreaktor. Sie ist sowohl in der Ver- und Entsorgung als auch in der Produktion von ihrem Hinterland abhängig. Für eine nachhaltige Entwicklung der Stadt Wien müssen daher auch die Nachbarregionen miteinbezogen werden, eine Aufgabenteilung ist notwendig.
- Zur Abschätzung der Auswirkungen neuer Produkte auf die Umwelt sind Stoffflussanalysen ein hilfreiches Instrument. Stoffflussanalysen können bei der Entwicklung der Stadt Wien in Richtung Nachhaltigkeit als Monitoringinstrumente im Sinne der Früherkennung im Umweltschutz angewendet werden.

#### **5.4.1.4 Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie:**

- Es ist möglich, den Stoffhaushalt für einzelne Stoffe für eine Stadt zu analysieren und zu bestimmen. Die Stoffflussanalyse hat sich als geeignetes Instrument erwiesen und wird daher auch für die Beschreibung und Erfassung der Güter- und Stoffflüsse des Bauwesens in der hier vorliegenden Arbeit verwendet.
- Die Systemanalyse des Projektes „Pilot“ wird in der vorliegenden Studie als Basis übernommen und entsprechend den Erfordernissen eines nachhaltigen Ressourcenmanagements im Bauwesen und der Bewertung desselben adaptiert.
- Die Datenlage ist für verschiedene Stoffe äußerst unterschiedlich, daher ist der Untersuchungsaufwand unterschiedlich groß. Zum Beispiel sind Zahlen im Zusammenhang mit der Energieversorgung datenmäßig gut erfasst, bisher nur punktuell erfasste Bereiche wie diffuse Emissionen bedürfen eines höheren Untersuchungsaufwandes.
- Aufgrund der nicht immer ausreichenden Information aus Statistiken muss die mögliche Ungenauigkeit und Bandbreite abgeschätzt und eine entsprechende Sensitivitätsanalyse gemacht werden.
- Nach Wasser und Luft stellen die Baumaterialien mengenmäßig den wichtigsten Güterfluss dar. Für den Lageraufbau der Stadt sind die Baumaterialien die bestimmenden Güter.
- Da die Stadt um eine Größenordnung schneller wächst als die Deponien ist es anzustreben, auch im Hinblick auf eine zukünftige Deponieraumschonung, dass der langfristigen Lagerbewirtschaftung der Stadt Wien besonders im Bauwesen verstärkt Aufmerksamkeit gewidmet werden muss. Dieser Aspekt muss auch ein neues, zusätzlich zu allen bestehenden, Kriterium in Design und Architektur werden.
- Aus Gründen der Ressourceneffizienz und der Deponieraumschonung sollte das Lager „Stadt“ zukünftig stofflich genutzt und wiederverwertet werden.

- Der in der Studie untersuchte Fluss von Kohlenstoff und Stickstoff kann durch energie-, verkehrs- und raumplanerische Maßnahmen erheblich beeinflusst werden. Das Bauwesen spielt dabei direkt und indirekt eine Schlüsselrolle.
- Kohlenstoff und Stickstoff sind in einem erheblichen Maß in Gebäuden und Infrastruktur gelagert und das Lager wächst jährlich um 2 %, was eine Verdoppelung in den nächsten 50 Jahren bedeutet. Um eine zukünftige optimierte stoffliche und energetische Nutzung dieses Lagers zu realisieren, ist ein entsprechendes Ressourcenmanagement aufzubauen. Das Bauwesen ist dabei wiederum ein Schlüsselprozess, beispielsweise in Gebäuden und Infrastruktur gespeicherte Holz und Kunststoffe.
- Da nahezu alle Outputstoffe die Anthroposphäre von Wien wieder verlassen ist die Systemgrenze für die Erfassung und Bewertung um das Hinterland entsprechend zu erweitern. Das wird speziell für das Bauwesen am Beispiel Holz in der hier abgehandelten Studie untersucht und umgesetzt.
- Das Bauwesen ist für den Kohlenstoffhaushalt ein bedeutender Sektor. In den Bauwerken ist eine große Menge an Kohlenstoff gespeichert, daher kann angenommen werden, dass eine entsprechende Ressourcenbewirtschaftung einen nennenswerten Einfluss auf den Kohlenstoffhaushalt und somit auf den Treibhauseffekt hat. In der vorliegenden Arbeit wird daher auf diesen Aspekt näher eingegangen.
- Es wird untersucht, ob die zusätzliche Schaffung von Kohlenstoffsenken in Baumaterialien aus Holz für den Handel mit Emissionszertifikaten von Bedeutung ist oder ob es sich nur um einen unbedeutenden Speichereffekt handelt.
- Das Kohlenstofflager ist zu 90 % in der Infrastruktur eingebaut und liegt zu 2/3 in organischer Form vor. Der Anteil von Holz am Kohlenstofflager Wiens soll abgeschätzt werden. In diesem Zusammenhang soll die Größenordnung einer möglichen Pufferung des Treibhauseffekts durch die langfristige Speicherung von Kohlenstoff in Bauwerken untersucht werden. Das damit verbundenen Energieträgerpotential und die damit mögliche Substitution fossiler Energieträger soll ebenfalls berechnet werden.
- Auch bei Blei spielt das Bauwesen eine gewichtige Rolle. Das Beispiel Blei zeigt, dass auch relativ kleine Mengenflüsse ein bedeutendes Umweltwirkungspotential aufweisen können. Neben der quantitativen Betrachtung ist auch oftmals eine qualitative Analyse erforderlich. Das punktuelle diffuse Emissionspotential soll qualitativ anhand der aufgestellten Materialbilanzen identifiziert werden.

### **5.4.2 Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien**

#### **5.4.2.1 Allgemeines**

In der Studie „Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien“ [Daxbeck et al. 2001] der Ressourcenmanagement Agentur Wien wurde entsprechend der Methodik nach [Wackernagel & Rees 1996] für Wien der ökologische Fußabdruck errechnet. Mit Hilfe des Ökologischen Fußabdrucks wird der anthropogene Konsum von Energie und Gütern einer Region bestimmt und in jene Wasser- und Landflächen umgerechnet, die für die Versorgung mit Gütern und Rohstoffen und für die Entsorgung der Abfälle benötigt werden. Unter anderem

wurde im Zuge dieser Studie ermittelt, dass für die Versorgung der Stadt (20 % der Bevölkerung Österreichs) 75 % der Landesfläche Österreichs erforderlich sind.

#### 5.4.2.2 Methodisches Vorgehen

Es wurde die Methodik des „Ecological Footprint“ nach [Wackernagel & Rees 1996] auf die Stadt Wien angewendet, auf methodische Aspekte wird in dieser Kurzbeschreibung nicht näher eingegangen. Die Autoren [Daxbeck et al. 2001] der hier beschriebenen Studie erweiterten im Zuge der Durchführung des Projektes auch die Originalmethodik.

#### 5.4.2.3 Ergebnisse

Aus dieser Studie wurden keine direkt in diese Arbeit übertragbaren Daten für den Holzverbrauch in Wien entnommen, die Daten laut Tabelle 5-2 liefern aber eine Ausgangs- und Vergleichsbasis für die in dieser Arbeit errechneten Materialmengen. Daten über den Holzverbrauch der Bauindustrie in Wien waren auch nicht verfügbar.

Tabelle 5-2: Jährlicher Konsum von Produkten aus der Forstwirtschaft sowie mineralischen Baurohstoffen in Wien [Daxbeck et al.2001].

Kategorie / Produkt	Konsum [t/a]
<b>FORSTWIRTSCHAFT</b>	
Nutzholz	15.319
Brennholz	5.589
<b>Für die Papierindustrie</b>	
Nadelrundholz	187.845
Laubrundholz	474.835
Sägerestholz	606.798
<b>Für die Bauindustrie (Bauholz)</b>	Keine Angaben
<b>BAUROHSTOFFE</b>	
Sand/Kies/Schotter	6.521.132
Natursteine	16.664
Ton	Geheim
Kalk	12.475
Gips	12.161
Zement	63.415
<b>Betonерzeugnisse</b>	<b>288.788</b>

Der Einsatz von Erdöl zur Erzeugung von auch im Bauwesen immer bedeutender werdenden Kunststoffen und chemischen Erzeugnissen wird in Tabelle 5-3 aufgezeigt. Die Daten dazu wurden auf österreichischer Ebene ermittelt und über die Einwohnerzahl auf Wien umgelegt. Dadurch weisen die Zahlen zwar eine gewisse Abweichung zum realen Konsum auf, die Größenordnung entspricht aber den tatsächlichen Gegebenheiten.

Tabelle 5-3: Verbrauch von Erdöl zur Erzeugung von Kunststoffen und Chemikalien [Daxbeck et al. 2001], [Fehring & Brunner 1996], eigene Berechnungen.

Fossile Energieträger als Materialverbrauch	Erdöl Österreich [t/a]	Erdöl Wien [t/a]
Kunststoffe aus fossilen Ressourcen (Erdöl)	4.822.242	930.554
Chemikalien auf Erdölbasis	3.616.681	697.915

Für das Deponievolumen wurden in der hier zitierten Studie der jährliche Verbrauch von Deponievolumen und das bestehende Lager inklusive Altlasten angegeben.

Tabelle 5-4: Ablagerungsmengen und -volumina in Wien, Bezugsjahr 1997; Zeitraum 20 Jahre; [Fischer 1999], Das Wiener Abfallwirtschaftskonzept [MA48 1998], [Daxbeck et al. 2001]

Deponievolumen	jährlich [t/a]	Bestehendes Lager (Deponiekörper)		Bezugsjahr 1997 [m³/E.a]	Total- volumen/a [m³/a]	Totalvolumen Summe/a [m³/a]
		total [t]	total [m³]			
Aschen u. Schlacken der Ebs	38.521			0,02	34.476	jährlich neu: 592.964
KVA-Schlacken (Flötzersteig, Spittelau)	158.937		22.912.000	in Deponierung		
Altlasten				14,23	22.912.000	Jährlich neu: 0,37
Deponielager (Rautenweg, Langes Feld)		15.620.000	14.790.000	0,35	556.487	
Summe			37.702.000	Lager pro Kopf: 23,4		

Im Referenzjahr 1997 betrug der Deponieraumbedarf 0.37 m³/E.a, das entspricht 592.964 m³/a für die ganze Stadt. Der relativ geringe Raumbedarf pro Kopf ist auf den Einsatz der Müllverbrennung zurück zu führen.

Das Gesamtlager der Stadt Wien beträgt 350 t/E, davon sind 320 t/E Baumaterialien [Daxbeck et al. 1996], der Rest sind Konsumgüter.

Für den Bereich der Abfallwirtschaft werden die klimarelevanten Treibhausgasemissionen (KRE) auf Basis des Projektes METHAN entsprechend des Wiener Abfallwirtschaftssystems auf Wien umgelegt und angegeben.

Tabelle 5-5: Jährliche THG-Emissionen der Wiener Abfallwirtschaft, berechnet aufgrund der Daten von [Bau-meler et al. 1998]; klimarelevanten Emissionen (KRE). Bezugsjahr: 1996.

	Abfallbehandlung		KRE behandelter Abfall	KRE Abfallbehandlung	KRE/E
	Österreich	Wien	Österreich	Wien	Wien
	[t Abfall/a]	[t Abfall/a]	[t CO <sub>2</sub> -Äqu/t]	[t CO <sub>2</sub> -Äqu/a]	[tCO <sub>2</sub> -Äqu/E.a]
Verbrennung	2.386.568	418.292	0,24	99.903	
Deponierung	3.522.545	127.033	1,34	170.217	
		545.325		270.120	0,17

Die klimaneutralen CO<sub>2</sub> – Emissionen aus der Abfallwirtschaft (Verbrennung und Deponierung) wurden mit 362.706 t CO<sub>2</sub>/a errechnet.

Die klimarelevanten Emissionen aus der Treibstoffnutzung (Verkehr) in Wien wurden mit 2,36 Mio. t CO<sub>2</sub> errechnet.

Der jährliche Gesamtenergieverbrauch für Wien aufgeschlüsselt auf die verschiedenen Energieträgergruppen beträgt mehr als 141 Mio. GJ (87,9 GJ/E.a) [MA66, 1998]. Der jährliche Treibstoffverbrauch (Benzin, Diesel) ist in dieser Zahl nicht enthalten.

Der ökologische Fußabdruck der Stadt Wien wurde gemäß der Originalmethodik nach [Wackernagel & Rees, 1996] mit mindestens 3,9 ha/E berechnet. Eine modifizierte Berechnung mit für die Stadt Wien charakteristischen Datensätzen ergibt einen ökologischen Fußabdruck von mindestens 3,1 ha/E. Im Vergleich dazu beträgt der von Wackernagel [Wackernagel et al., 1997] definierte Soll-Fußabdruck 1,7 ha/E.

#### **5.4.2.4 Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie**

- Die global zur Verfügung stehende geographische Fläche reicht für die ausreichende Versorgung von Ballungsräumen unter der Wahrung von globaler Chancengleichheit nicht aus, eine der Möglichkeiten der Gegensteuerung ist die Erhöhung der Ressourceneffizienz.
- Die Wahl der Systemgrenzen (räumlich und zeitlich) bei der Bilanzierung eines Ballungsraumes beeinflusst das Resultat wesentlich. Neben dem regionalen Hinterland kann auch die globale Ebene für das Resultat von Bedeutung sein. Bei der Ziehung der Systemgrenzen für die vorliegende Studie muss dieser Aspekt bedacht werden.
- Für repräsentative Ergebnisse, das gilt vor allem für die Bewertung, ist es notwendig für die Region typische Datensätze zu verwenden. In vielen momentan zur Verfügung stehenden Bewertungstools und -methoden werden Durchschnittsdatsätze verwendet, was allerdings zu verfälschten Ergebnissen und Schlussfolgerungen führen kann.
- Vielfach wird die Abfallwirtschaft, in dieser Studie als Sekundär Ressourcen Management bezeichnet, im Rahmen eines umfassenden und nachhaltigen Ressourcen Management System nicht ausreichend erfasst und berücksichtigt. In der vorliegenden Studie soll daher das Gesamtsystem untersucht werden.
- Viele Daten sind für Wien noch nicht in einem ausreichenden Maß verfügbar.
- Der Anteil des Bauwesens am städtischen Lager Wiens ist höher als 90 %, daher ist das Bauwesen der Schlüsselprozess für das städtische Lager.

## 6 Holz und CO<sub>2</sub>: Wichtige Aspekte für die vorliegende Arbeit

In diesem Kapitel soll der Baustoff Holz hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten im urbanen Bereich und der dafür notwendigen Voraussetzungen untersucht werden. Dabei geht es um die Möglichkeiten des Einsatzes von Holz als Primärrohstoff und die Möglichkeiten der Wiederverwendung und Verwertung (stofflich und thermisch) von Holz als Sekundärrohstoff. In diesem Kapitel werden die zum Verständnis der Arbeit notwendigen qualitativen Aspekte und Randbedingungen wie zum Beispiel die legislativen Rahmenbedingungen behandelt, die quantitative Erfassung erfolgt im Kapitel 9.6 Datenerfassung.

### 6.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen beim Baustoff Holz

Für den Einsatz von Holz sind die gesetzlichen Rahmenbedingungen und damit verbundenen Bauvorschriften von entscheidender Bedeutung. Vor allem aus Brandschutzgründen war es bis 2001 in Wien nicht möglich, tragende mehrgeschossige Gebäude aus dem brennbaren Material Holz zu bauen. Mit der Techniknovelle der Bauordnung für Wien (BO Wien, 2001) ist es jetzt aber möglich, bis zu fünfgeschossige Gebäude mit tragenden Strukturen aus Holz zu bauen, wobei das Erdgeschoss aus mineralischen Baustoffen hergestellt werden muss. Die wichtigsten sonstigen, hauptsächlich den Brandschutz betreffenden Erfordernisse der Bauordnung sind:

Für Wohn- und Bürohäuser sowie Häuser mit ähnlichen Funktionen aus brennbaren Baustoffen muss zur Brandbekämpfung 1,5 l Löschwasser pro Minute und Quadratmeter zur Verfügung stehen (anstatt 1 l/m<sup>2</sup>\*min).

Hinsichtlich Brandwiderstands müssen bei Außenwänden laut §99 Abs.2, 2a und 2b folgende Kriterien eingehalten werden [BO Wien, 2001]:

*„1. in ebenerdigen Gebäuden mit höchstens einem Dachgeschoß müssen Außenwände zumindest feuerhemmend sein;*

*2. in Gebäuden mit nicht mehr als zwei Hauptgeschoßen müssen nicht tragende Teile von Außenwänden zumindest feuerhemmend, tragende Teile von Außenwänden zumindest hochfeuerhemmend sein;*

*3. in Gebäuden mit mehr als zwei Hauptgeschoßen müssen Außenwände zumindest hochfeuerhemmend und an der Außenseite zumindest schwer brennbar sein.*

*(2a) Bei Gebäuden mit einem Erdgeschoß, dessen Außenwände, Trennwände, tragende Scheidewände und Decken feuerbeständig und in allen für die Tragfähigkeit und den Brandschutz wesentlichen Bestandteilen aus nicht brennbaren Baustoffen sind, gilt Abs. 2 Z 3 auch für ein viertes Hauptgeschoß; ein Dachgeschoß ist in diesem Falle mit zumindest hochfeuerhemmenden äußeren Abschlüssen, die an der Außenseite nicht brennbar sind oder gegenüber den Außenwänden des darunter liegenden Geschoßes um mindestens 2 m zurückversetzt sind, auszuführen.*

*(2b) Über mehrere Geschoße führende Hohlräume sind unzulässig, ausgenommen solche durch vorgehängte Fassadenteile bis zu 6 cm Tiefe.*

*Zu § 100: (2) Trennwände und tragende Scheidewände müssen*

- a) *in ebenerdigen Gebäuden mit höchstens einem Dachgeschoß zumindest feuerhemmend,*
- b) *in Gebäuden mit nicht mehr als drei Hauptgeschoßen und einem Dachgeschoß sowie in Dachgeschoßen, mit Ausnahme jener nach Z1, zumindest hochfeuerhemmend,*
- c) *in sonstigen Gebäuden feuerbeständig und in allen für die Tragfähigkeit und den Brandschutz wesentlichen Bestandteilen aus nicht brennbaren Baustoffen sein.*

*(2a) Bei Gebäuden mit einem Erdgeschoß, dessen Außenwände, Trennwände, tragende Scheidewände und Decken feuerbeständig und in allen für die Tragfähigkeit und den Brandschutz wesentlichen Bestandteilen aus nicht brennbaren Baustoffen sind, gilt Abs. 2 Z 2 auch für ein viertes Hauptgeschoß*

*Zu § 101: (3a) Werden Außenwände nicht gemäß § 99 Abs. 1 oder Innenwände nicht gemäß § 100 Abs. 2 Z 3 ausgeführt, ist das Gebäude durch feuerbeständige Wände und Decken so in Gebäudeabschnitte (Brandabschnitte) zu unterteilen, dass zwischen diesen beziehungsweise den Außenwänden Geschoßflächen von insgesamt höchstens 1 000 m<sup>2</sup>, auch verteilt über mehrere Geschoße, entstehen. Bei Anordnung einer automatischen Löschanlage (Sprinkler) sind solche Flächen in größerem Ausmaß zulässig, wobei das Auslösen der Anlage eine Alarmierung der Feuerwehr und der Benützer des Gebäudes bewirken muss*

*Zu § 103: (5) In Gebäuden mit nicht mehr als vier Hauptgeschoßen und einem Dachgeschoß, dessen Erdgeschoß Außenwände, Trennwände, tragende Scheidewände und Decken aufweist, die feuerbeständig und in allen für die Tragfähigkeit und den Brandschutz wesentlichen Bestandteilen aus nicht brennbaren Baustoffen sind, genügt es, wenn die Decken der über dem Erdgeschoß liegenden Geschoße zumindest hochfeuerhemmend sind.*

*Zu §106: (4a) Boden-, Wand- und Deckenbeläge der notwendigen Verbindungswege müssen in Gebäuden mit mehr als zwei Hauptgeschoßen zumindest schwer brennbar sein. In Gebäuden mit mehr als vier Hauptgeschoßen müssen sie nicht brennbar sein.*

*(5) Die notwendigen Stiegen müssen in ebenerdigen Gebäuden mit nicht mehr als einem Dachgeschoß zumindest feuerhemmend, in Gebäuden mit nicht mehr als drei Hauptgeschoßen zumindest hochfeuerhemmend, und in Gebäuden mit mehr als drei Hauptgeschoßen zumindest feuerbeständig und in allen für die Tragfähigkeit und den Brandschutz wesentlichen Bestandteilen aus nicht brennbaren Baustoffen sein; diese Anforderung gilt erst in Gebäuden mit mehr als vier Hauptgeschoßen, wenn die Außenwände, Trennwände, tragenden Scheidewände und Decken des Erdgeschoßes feuerbeständig und in allen für die Tragfähigkeit und den Brandschutz wesentlichen Bestandteilen aus nicht brennbaren Baustoffen sind.“*

Bei der Wahl der Tragsysteme für den Holzeinsatz im urbanen Bereich Wiens werden daher Systeme gewählt, die diesen Kriterien genügen. Das heißt, dass Oberflächen tragender Wände und Trennwände mit nicht brennbaren Oberflächen versehen werden (mineralische Materialien) und Feuermauern aus mineralischen Materialien größere Gebäude in entsprechende Brandabschnitte unterteilen sowie an Nachbargrenzen situierte Mauern aus nicht brennbaren mineralischen Materialien konstruiert werden.

Am Lebenszyklusende ist der Umgang mit Bau- und Abbruchholz durch die bestehenden gesetzlichen Gegebenheiten umfangreich geregelt. Neben dem Bundes - Abfallwirtschaftsgesetz [AWG 2002] und dessen Verordnungen (z.B. Abfallnachweisverordnung 2003, Baurestmassentrennverordnung 1991, Deponieverordnung 1996) gibt es zusätzlich für jedes



Bundesland ein Landes-Abfallwirtschaftsgesetz und hinsichtlich der Verwertung und Beseitigung von Bau- und Abbruchholz ist auch auf die einschlägigen EU - Richtlinien und Verordnungen (z.B. Verordnung über die Verbrennung von Abfällen) Bedacht zu nehmen.

**Schlussfolgerungen für die hier abgehandelte Studie:**

- Für den Holzbau im dicht bebauten urbanen Bereich ist der Brandschutz die limitierende Größe. Bei der Auswahl der Holzbauweisen wird besonders darauf geachtet.
- Die Außenfassade muss aus nicht brennbaren Stoffen bestehen. Daher werden mineralische Fassadenoberflächen gewählt.
- Bei Gebäuden mit mehr als zwei Hauptgeschossen werden auch die raumseitig gelegenen Wandoberflächen sowie Ober- und Unterseite von Decken mit nicht brennbaren Materialien verkleidet.
- Brandabschnitte werden durch mineralische Bauteile (Wände, Decken) voneinander konstruktiv getrennt.
- Erschließungskerne (Stiegenhäuser usw.) und Feuermauern werden aus mineralischen Materialien konstruiert.
- Die letzte Nutzungskaskade von Bauteilen aus Holz ist die thermische Nutzung mit Kraft-Wärme Kopplung.

## **6.2 Holz als Primärrohstoff**

In diesem Kapitel erfolgt die Ermittlung des Ressourcenpotentials für den Baustoff Holz in Österreich, welches auf die Stadt Wien umgelegt wird.

### **6.2.1 Ressourcenpotential im Österreichischen Wald**

Holz ist mengenmäßig der bedeutendste nachwachsende Rohstoff in Österreich. Österreich ist nach Slowenien das am dichtesten bewaldete Land Mitteleuropas, fast die Hälfte (47 % bzw. 3,960 Mio. ha) der österreichischen Landfläche ist mit Wald bedeckt [BFW 2004]. Im Vergleich dazu beträgt der Waldanteil im EU-Durchschnitt nur etwas mehr als ein Drittel der Gesamtfläche. Die Waldfläche in Österreich wächst, wie Abbildung 6-1 zeigt, seit Beginn der Österreichischen Forstinventur 1961 jährlich an und hat bis heute um ca. 270.000 ha zugenommen. Der jährliche Zuwachs hat sich von 7.100 ha/a Anfang der 1990er Jahre auf ein Ausmaß von rund 5.100 ha/a leicht verlangsamt. 90 % der Waldflächenzunahme findet im bäuerlichen Kleinwald hauptsächlich im Hochwald statt. Das ist vor allem darauf zurückzuführen, dass ehemals landwirtschaftlich genutzte Flächen aus Rentabilitätsgründen nicht mehr als solche genutzt werden und entweder aufgeforstet werden oder auf natürliche Weise mit Wald zuwachsen [Teischinger, 2002]. Weitere Ursachen dafür sind zunehmender Umstieg auf Nebenerwerb, zunehmende Abwanderung und Grundstücksverkäufe, wodurch das Interesse an intensiver landwirtschaftlicher Nutzung sinkt [BFW 2004].

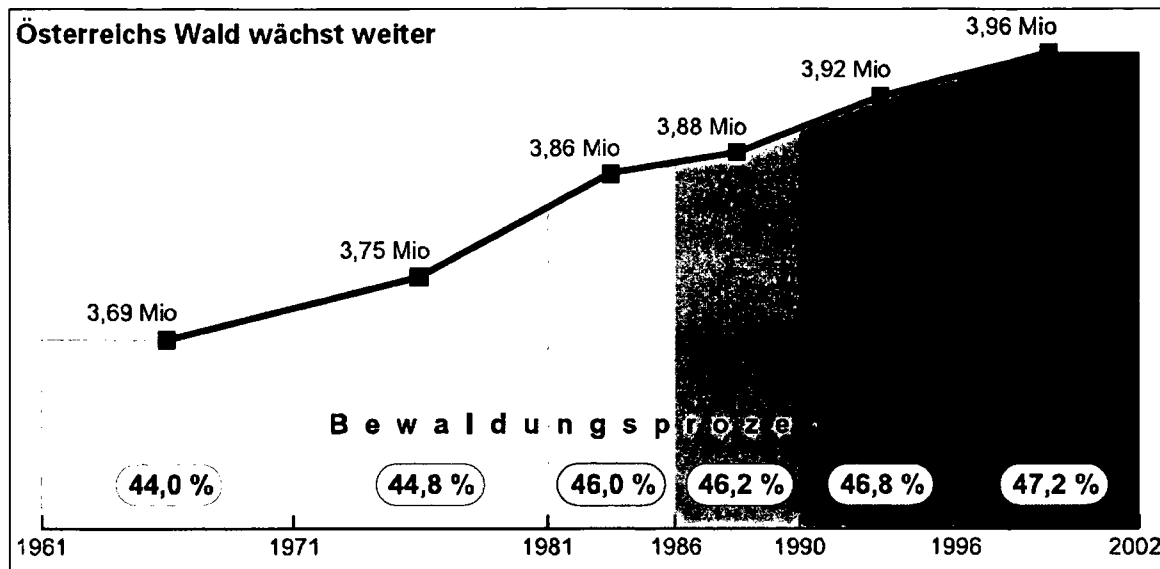


Abbildung 6-1: Bewaldungsprozent des österreichischen Waldes [BFW 2004]

90 % der Waldflächenzunahme findet im bäuerlichen Kleinwald hauptsächlich im Hochwald statt. Das ist vor allem darauf zurückzuführen, dass ehemals landwirtschaftlich genutzte Flächen aus Rentabilitätsgründen nicht mehr als solche genutzt werden und entweder aufgeforstet werden oder auf natürliche Weise mit Wald zuwachsen [Teischinger, 2002]. Weitere Ursachen dafür sind zunehmender Umstieg auf Nebenerwerb, zunehmende Abwanderung und Grundstücksverkäufe, wodurch das Interesse an intensiver landwirtschaftlicher Nutzung sinkt [BFW 2004].

Insgesamt gibt es den Trend, dass Misch- und Laubbestände zunehmen und Nadelholzreinbestände, speziell Fichtenreinbestände, abnehmen.

Tabelle 6-1: Waldbestände in Österreich in den Inventurzeiträumen, zeitliche Entwicklung. Für den letzten Inventurzeitraum sind 3.960 Mio. ha 100 %. [BFW 2004]

Art der Bestände	Waldflächenanteile [%]					
	Inventurzeiträume	71/80	81/85	86/90	92/96	00/02
Nadelholzreinbestände (> 80 % Nadelholz)		70	68	67	65	62
Fichtenholzreinbestände (> 80 % Fichtenholz)		45	45	45	44	41
Nadel – Laubholz – Mischbestände (Nadelholz 51 – 79 %)		13	14	14	14	15
Laub – Nadelholz – Mischbestände (Laubholz 51 – 79 %)		8	9	9	10	11
Laubholzreinbestände (> 80 % Laubholz)		9	9	10	11	12

Das Holzlager in Österreichs Ertragswäldern wird mit einer Menge von 1,095 Mrd. Vfm abgeschätzt [BFW 2004]. Dieser Höchststand beruht nicht nur auf der Waldflächenzunahme sondern vor allem auf einer markanten Vorratzzunahme um durchschnittlich 30 Vfm/ha aufgrund rückläufiger Nutzung. Der jährliche Zuwachs betrug in der letzten Inventurperiode 31,28 Mio. Vfm, wovon 18,8 Vfm genutzt wurden. D.h., dass 12,5 Mio. Vfm (ca. 40 %) des jährlich nachwachsenden Holzes nicht genutzt werden. Vereinfacht für die Fallstudie wird für das im österreichischen Wald jährlich nachwachsende zusätzlich nutzbare Gesamtholzpotalential eine gleichmäßige Verteilung auf alle Baumarten angenommen (siehe Tabelle 6-2). Über die Baumartenverteilung ergibt sich für Österreich daher folgendes Bild:

Tabelle 6-2: Ermittlung des zusätzlich in Wien einsetzbaren Ressourcenpotentials an Bauholz über die Baumartenverteilung [[http://www.proholz.at/wald\\_holz/statements/statement3.htm](http://www.proholz.at/wald_holz/statements/statement3.htm), 2005] der bewirtschafteten österreichischen Waldflächen bezogen auf die gesamte Waldfläche Österreichs.

Baumarten in Österreich	[%]	Lager [Mio. Vfm]	Zuwachs in Österreich [Mio. Vfm]	Ungenutztes Potential Österreich (100 %) [Mio. Vfm]	Ungenutztes Potential Wien (20 %) [Mio. Vfm]
Fichte <sup>1</sup>	55,7	610	17,4	6,96	1,39
Kiefer	6,1	67	1,91	0,76	0,15
Lärche <sup>1</sup>	4,4	48	1,38	0,55	0,11
Tanne <sup>1</sup>	2,3	25	0,63	0,25	0,05
andere Nadelhölzer	0,7	7,5	0,22	0,09	0,02
Rotbuche	9,2	101	2,88	1,15	0,23
Eiche	2,0	22	0,63	0,25	0,05
andere Laubhölzer	11,1	122	3,47	1,39	0,28
Außer Ertrag	8,5	92,5	2,78	1,11	0,22
Bauholz Rohbau	62,4	683	19,41	7,76	1,55
Summe	100	1095	31,3	12,52	2,50

<sup>1</sup> Als Potential für Bauholz für tragende Strukturen in Frage kommend.

Aus der Tabelle geht hervor, dass für die Stadt Wien, unter der Annahme dass für jeden Österreicher die gleiche Menge an Holz zur Verfügung steht, das zusätzlich für Bauholz zur Verfügung stehende Ressourcenpotential von 1,55 Mio. Vfm beträgt. Das sind ca. 0,93 Mio. Vfm Rundholz, woraus sich wiederum ca. 0,56 Vfm Schnittholz gewinnen lassen. Diese Berechnung erfolgt unter der Annahme, dass aus 100 % Waldbiomasse 60 % Stammholz gewonnen werden kann und daraus wiederum 60 % Schnittholz produzierbar sind [Millonig 2004]. 0,56 Mio. Vfm sind bei einer Trockenrohddichte von 430 Kg/m<sup>3</sup> 240.800 t absolut trockenes Schnittholz zusätzliches Versorgungspotential aus österreichischen Wäldern für Wien.

Für die Fallstudie Wien wird diese Zahl als zusätzliches Potential angenommen, da für die Zielsetzung dieser Studie, eine Ressourcenmanagementmethode zu entwickeln, diese vereinfachte Potentialabschätzung ausreichend ist. Für eine Umsetzung müssten jedoch tiefer gehende Untersuchungen erfolgen. Vor allem müssten die Im- und Exporte von Rundholz und Schnittholz sowie die Bedürfnisse anderer Holzverbraucher (Papierindustrie, Energieproduzenten aus Biomasse usw.) in die Untersuchungen integriert und hinsichtlich der Kriterien der Nachhaltigkeit genauer überprüft werden. So wurden in Österreich 2000 ca. 19,3 Mio. fm Rundholz verarbeitet, davon kommen ca. 11,8 Mio. fm aus Österreich, der Rest von ca. 7,5 Mio. fm wird importiert. Die Papierindustrie verbraucht 3,5 Mio. fm Rundholz und weitere ca. 3,4 Mio. m<sup>3</sup> Sägenebenprodukte, die Plattenindustrie ca. 0,8 Mio. fm Rundholz und 0,7 Mio. m<sup>3</sup> Sägenebenprodukte [Walddialog 2003]. Gemäß dem Branchenbericht der österreichischen Holzindustrie [Österreichische Holzindustrie 2003] setzte die österreichische Sägeindustrie im Jahr 2001 in ca. 1400 Sägebetrieben insgesamt 10,262 Mio. m<sup>3</sup> Schnittholz und 6,389 Mio. m<sup>3</sup> Sägenebenprodukte ab. Insgesamt also 16,651 Mio. m<sup>3</sup>. 5,932 Mio. m<sup>3</sup> des erzeugten Schnittholzes wurden exportiert und 1,125 Mio. m<sup>3</sup> Schnittholz importiert, was einen Inlandsverbrauch von ca. 5,455 Mio. m<sup>3</sup> Schnittholz bedeutet.

## 6.2.2 Holzschutz

Die Lebensdauer von Holz kann schwer abgeschätzt werden, allerdings bei richtiger Verwendung ist sie sehr lang, wie es 2000 Jahre alte heute noch tragende Türstürze in den Ruinen von Pompeji beweisen [Haefele et al. 1996]. Dieses Beispiel und das Beispiel des Sä-

gewerks Schuh in Wien, welches aus bis zu 200 Jahre alten unbehandelten Wiener Abbruchholz Schnittholz für neue Möbel und Fußböden herstellt [Merl, 2004], zeigen, dass bei richtiger Anwendung bzw. entsprechendem baulich – konstruktiven Holzschutz auf chemischen Holzschutz weitgehend verzichtet werden kann. Vor allem in Hinblick auf Recycling und thermische Verwertung könnten so neue Qualitäten erschlossen werden und die Umwelt geschont werden.

Ziel des Holzschutzes ist die langfristige Aufrechterhaltung der Güteeigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen. Die Zerstörung durch mechanische, physikalische, biologische und chemische Einflüsse soll verhindert oder zumindest verzögert werden. Im Bauwesen können diese Einflüsse durch das Klima (Regen, Sonneneinstrahlung, Temperaturschwankungen, Wind) bzw. durch Feuchtigkeit und meist in weiterer Folge durch Pilze, Flechten oder Insekten ausgelöst werden.

Erdfeuchte, Tau- und Spritzwasser oder chemische Reaktionen mit Metallen, Behandlungsmitteln oder Klebstoffen können besonders zur Holzzerstörung beitragen und sind zu vermeiden. Weiters muss der Brandgefahr begegnet werden.

### **Baulicher, konstruktiver Holzschutz:**

Gemäß dem Vorsorgeprinzip sollen mögliche Holzschädigungen bereits im Planungsprozess durch sorgfältige Detailplanung ausgeschlossen werden. Dazu zählen:

- Materialgerechte Verwendung von Holz und Verbindungsmitteln: Berücksichtigung der besonderen Eigenschaften des Holzes, Wahl der Holzart, Jahresring- u. Faserverlauf, Holzfeuchte und Umgebungsklima, Quellen und Schwinden, Wahl der Hilfsmittel wie metallische Verbindungsmittel, Dicht- und Klebstoffe, Schutz von Hirnholzflächen, Verhinderung verstärkter Feuchtigkeitsaufnahme, Auswechselbarkeit von schadhafte Teilen etc.
- Organisatorischer Holzschutz: Koordination der Verarbeitungs- und Bauphase, richtige Lagerung von Holz und Holzbauteilen, Schutz vor Baufeuchte, Vermeidung von Luftabschluss in Kunststoffverpackungen, etc.
- Konstruktive Maßnahmen: Verhinderung der Bildung von Holzfeuchte durch Dachüberstände, Tropfnasen, Profilwahl, Vermeidung von Erdberührung, tauwasserfreie Konstruktionen usw., um die Entwicklung von Holzschädlingen zu vermeiden, schnelle Austrocknungszeiten, Vermeidung von Wärmebrücken, etc.
- Vorbeugender chemischer Holzschutz: nur erforderlich, wenn Holz zerstörende Pilze bei einer dauernden Holzfeuchte von mehr als 20% und/oder Holz zerstörende Insekten bei einer dauernden Holzfeuchte von mehr als 10 % [Haefele et al. 1996] das Holz angreifen könnten. Chemische Holzschutzmittel enthalten verschiedene toxische biozide Gifte und sind oft ökologisch bedenklich.
- Biologischer Holzschutz: Einsatz natürlicher Feinde und Lockstoffe für Schädlinge.
- Bekämpfender Holzschutz: Bereits von Schädlingen befallene Bauteile werden ausgewechselt, Bekämpfung mittels Heißluft, etc. Anwendung in der Sanierung.
- Schutz gegen Feuer: Verwendung größerer Querschnitte zur Verlängerung der Tragfähigkeit im Brandfall – baulich-konstruktiver Brandschutz usw. oder chemische Brand-

schutzmittel, womit der Bauteil schwerer entflammbar wird – allerdings werden im Brandfall toxische Brom-Dioxine freigesetzt. Chemische Brandschutzmittel sind ökologisch bedenklich.

- Verwendung geeigneter haustechnischer Anlagen für den Holzbau. Vor allem bei der Planung der Elektroinstallationen sollen potentielle Hitzeentwicklungen und damit verbundene Feuergefahr bereits durch eine entsprechende Systemwahl ausgeschlossen werden.

In der Vorliegenden Arbeit werden Holzbausysteme gewählt, welche mittels materialgerechter Verwendung von Holz, entsprechendem organisatorischen Holzschutz und konstruktiven Holzschutz mit unbehandeltem Holz das Auslangen finden. Es werden lediglich bei konstruktiver Erfordernis im minimalen Ausmaß Brettschichtholz, Brettsperrholz, Furnierschichtholz und Holzwerkstoffe (Span- und OSB-Platten) verwendet.

### 6.2.3 Technische Eigenschaften und Kennzahlen von Holz

Holz weist in den verschiedenen Lebenszyklusphasen unterschiedliche Wassergehalte auf und damit unterschiedliche Dichten auf. Das hat Auswirkung auf die Transportgewichte und die damit verbundenen Umweltwirkungen. Die Berechnung der unterschiedlichen Umweltwirkungen in den einzelnen Wirkungskategorien erfolgt über die Trockenrohddichte. Die nachfolgende Tabelle 6-3 zeigt im Überblick die je nach Feuchtigkeitsgehalt unterschiedlichen Dichten und damit Gewichte des Baumaterials Holz. In den verschiedenen Lebenszyklusphasen muss diesem Aspekt bei der Berechnung der Umweltwirkungen Rechnung getragen werden.

Tabelle 6-3: Dichte- und Feuchtegehalt von Holzbaustoffen [Gann 2002]

Holzbaustoff	Dichte gesamt [kg/m <sup>3</sup> ]	Holzbaustoff trocken [kg <sub>atro</sub> /m <sup>3</sup> ]	Feuchtigkeitsgehalt [%]	Anwendung in folgenden Prozessen
<b>Rohholz:</b>				
Fichte Stammholz	774	430	80	Transport Wald - Sägewerk
Fichte Industrieholz	946	430	120	-
<b>Schnittholz:</b>				
Fichte sägerauh, luftgetrocknet	507	430	18	
Fichte sägerauh, technisch getrocknet	495	430	15	Transport Sägewerk – Vorfertigung – Baustelle - Altholzverwertung -
Fichte techn. getrocknet und gehobelt	495	430	15	-
Lärche techn. getrocknet und gehobelt	633	550	15	-
Brettschichtholz Standard	455	430	6	Leimholzproduktion - Baustelle
<b>Plattenwerkstoffe:</b>				
Spanplatte Trockenbereich UF	697	642	8,5	Plattenfabrik - Baustelle
OSB 3 MUPF/PMDI	660	610	8	Plattenfabrik - Baustelle
Brettsperrholz	455	430	6	Brettsperrholzproduktion - Baustelle

Für die Betrachtung der Stoffflüsse von Holz- und Holzprodukten können auch die Elementargehalte in Holz von Bedeutung sein, wie beispielsweise für die Aschenverwertung.

Tabelle 6-4: Bereiche für Elementargehalte im Holz einer Rottanne. Aus [Fengel und Wegener 1984].

Bereich für den Gehalt [ppm]	Elemente
100 - 1000	Fe, Mg, P, Zr
10 - 100	Ba, F, Ni, Si, Sn, Sr, Ti, Y, Zn
1 - 10	Cd, Ce, Cr, Ga, Gd, Ge, Hg, I, Nb, Pd, Pr, Pt, Rb, Ru, Se, Te, Tm
0,1 - 1	Ag, Al, As, Br, Co, Cs, Cu, Er, Hf, Ho, La, Os, Rh, Sb, Ta, Tb, W, Yb
0,01 – 0,1	Eu, In, Re, Sc, Sm, V
0,001 – 0,01	Au, Dy, Ir, Lu

Bei den Berechnungen für den Ascheanfall bei der Verbrennung und den verschiedenen Elementargehalten werden folgende Zahlen übernommen (Tabelle 6-5):

Tabelle 6-5: Elementanalyse von naturbelassenem Holz, bezogen auf die Trockenmasse [Bauer 2003]

	Einheit	Holz-ge-mischt	Holz-schnit-zel	Birke-stückig	Fichte-stückig	Stück-holz	Holz-schnit-zel	Nadel-holz	Laub-holz	diese Studie
Asche	Gew.-%	0,1 - 1	2,2	0,2	0,1	0,88	0,90	k.A.	k.A.	1
Wasser-gehalt	Gew.-%	10 - 60	45	7 - 18	6 - 16	14	54	k.A.	k.A.	)*
Heizwert H <sub>u</sub>	MJ/kgTS	18,50		19,1	19,3			k.A.	k.A.	Nadel-holz 19,1
C	Gew.-%	50	51	47,12	47,25			50	47,8	49,4
H	Gew.-%	6	5,45	6,22	6,30			6,3	6,2	6,10
O	Gew.-%	44		46,55	46,38			42,8	45	44,1
N	Gew.-%	0,08	0,25	0,11	0,07			0,1	0,5	

) Die Verbrennungsrechnung wird bei 0 % Wassergehalt durchgeführt. Bei Transporten werden die Werte aus Tabelle 6-3 heran gezogen.

### 6.3 Holz als Sekundärrohstoff

In dieser Studie werden neben den möglichen Auswirkungen des Holzeinsatzes auf den Treibhauseffekt auch das Lager des Hoch- und Tiefbaues und dessen mögliche Bewirtschaftung untersucht. Momentan wächst in Europa zwar mehr Holz nach als verbraucht wird, aber durch die Veränderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen hinsichtlich der Holzverwendung im Hochbau (z.B. Wiener Bauordnung) wachsen die Einsatzmöglichkeiten im Bauwesen. Durch steigende Preise fossiler Energieträger und der technischen Weiterentwicklung sowie der Erhöhung des Bedienungskomforts von Kleinanlagen bis hin zu großen Biomassekraftwerken wird Holz als Brennstoff attraktiver. Steigender Wohlstand in den Ost- und Südosteuropäischen Ländern lässt einen erhöhten Holz- und Papierbedarf für diese Regionen in Zukunft erwarten. Eine effiziente Lagerbewirtschaftung, insbesondere des Holzlagers und der Holzabfälle aus dem Bauwesen, kann einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Ressourcen- und Energieeffizienz und zur Schonung von Naturraum beitragen. Dabei sollte nach Möglichkeit eine ökonomisch sinnvolle erste stoffliche Nutzungskaskade mit einer abschließenden thermischen Nutzung angestrebt werden.

#### 6.3.1 Stoffliche Verwertung von Holz

Bei den Möglichkeiten des Einsatzes von Holz als Sekundärrohstoff können, wobei die Übergänge zwischen den einzelnen Verwertungsoptionen oft fließend sind und in der Praxis

meist mit entsprechenden Verlusten behaftete Mischformen vorkommen, folgende Möglichkeiten unterschieden werden [Jungmeier & Merl, 2001], [Merl, 2003]:

Abbildung 6-2 zeigt die Systematik der stofflichen Verwertungsmöglichkeiten von Holz grafisch aufbereitet.

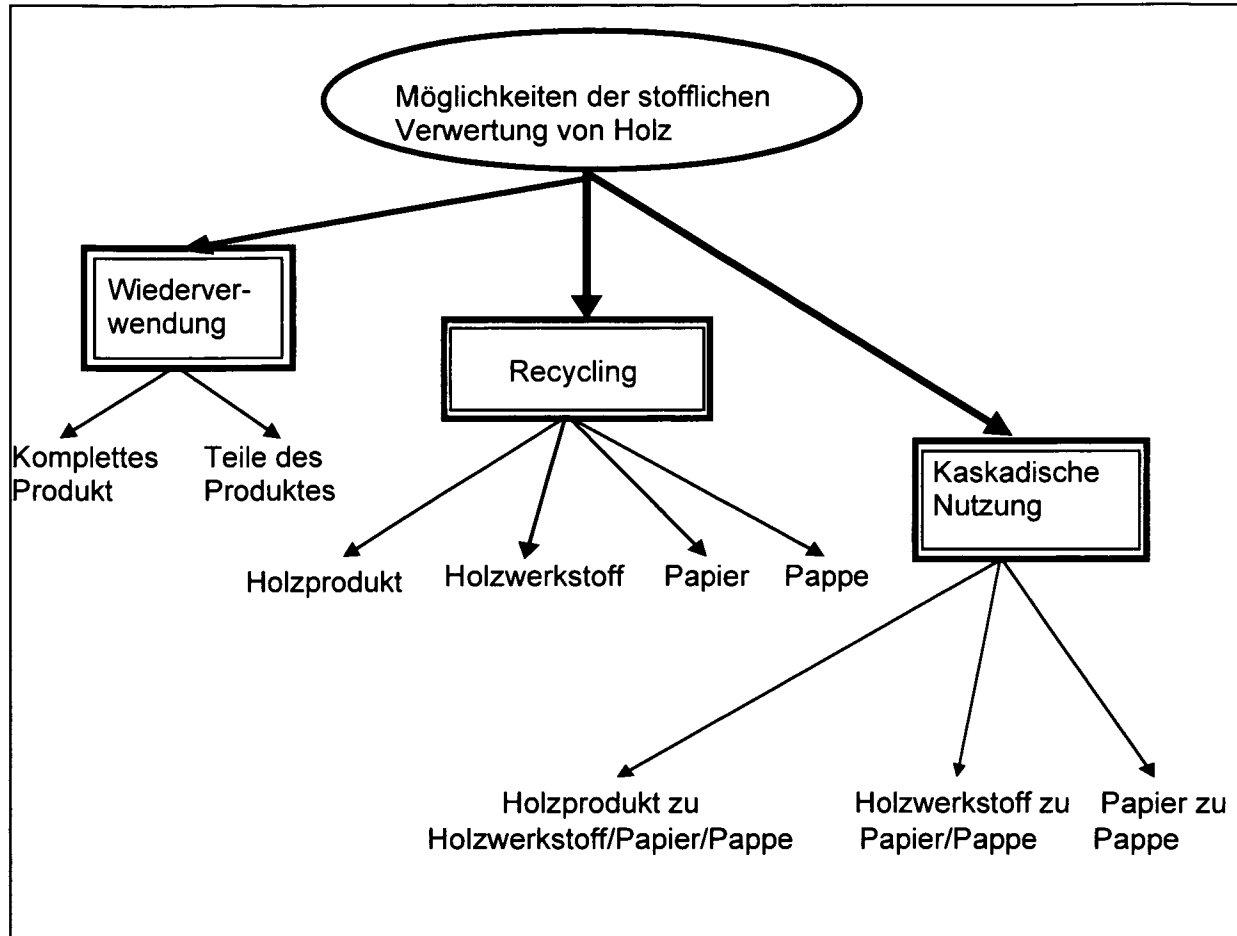


Abbildung 6-2: Systematik der stofflichen Verwertung von Holz [Jungmeier & Merl, 2001], [Merl, 2003].

- **Wiederverwendung:** Ein Produkt wird nach eventuell notwendiger Reparatur oder Sanierung als Ganzes oder zumindest Teile davon wieder zum selben Zweck verwendet. Z.B. Ein Holzträger wird ausgebaut und an anderer Stelle wieder als Holzträger eingebaut.
- **Recycling:** Ein Produkt aus Holz wird wieder zu einem Produkt aus Holz für eine gleiche oder ähnliche Anwendung in einem Prozess verarbeitet. Z.B. Spanplatten werden in einem Recyclingprozess wieder zu Spanplatten verarbeitet oder Holzträger werden zu Brettern gesägt und in der Möbelindustrie wieder eingesetzt, Grafisches Altpapier wird wieder zu Grafischen Papier verarbeitet etc. Es kommt dabei zu Materialverlusten, der Nutzen bzw. der Wert des Recyclingprodukts bleibt aber gegenüber dem Nutzen bzw. Wert des Ausgangsproduktes gleich oder zumindest vergleichbar.
- **Kaskadische Nutzung (Downcycling):** Ein Produkt aus Holz wird beim Recyceln zu einem Produkt von geringerem Wert verarbeitet oder die physikalischen Eigenschaften werden verändert. Z.B. Ein Produkt aus Holz wird für die Spanplattenproduktion oder für die Produktion von Papier oder Pappe verwendet.

Folgenden Faktoren, welche meist schon in der Planungsphase entscheidend beeinflusst werden, limitieren die Möglichkeiten der Wiederverwertung von Altholz aus dem Bauwesen wesentlich:

- Abmessungen des Bauteiles.
- Zeitaufwand für den sorgfältigen, zerstörungsfreien Rückbau, Auslösbarkeit der Einzelteile und damit verbundene ökonomische Aspekte.
- Optischer Zustand (Risse, Schadstellen zufolge mechanischer Einwirkungen, Perforierungen durch Holzverbindungsmittel, Verfärbungen, usw.). [Maydl, 1995] und [Brandstätter, 1994] kommen bei der Untersuchung von 100 Jahre alten Fichten- und Tannenholz aus Gründerzeithäusern hinsichtlich Oberflächenbehandlungen (Beizen, Lacke) zum Ergebnis, dass es keinen gravierenden Unterschied zu Neuholz bezüglich Eindringverhalten von Flüssigkeiten gibt. Altholz ist allerdings, in unterschiedlicher Intensität, generell dunkler als Neuholz.
- Schädlingsbefall (Tiere, Pilze). Besonders der Befall von Pilzen kann durch entsprechende Maßnahmen gegen Wasserzutritt vermieden werden – konstruktiver Holzschutz. [Maydl, 1995] und [Brandstätter, 1994] kommen zum Ergebnis, dass es beim Resistenzverhalten gegen pflanzliche Schädlinge (Pilze) keinen signifikanten Unterschied im Abbauverhalten durch den Hausschwamm gegenüber Neuholz gibt. Beim Resistenzverhalten gegenüber tierischen Schädlingen (Insekten) wurde kein signifikanter Unterschied im Fraßverhalten von Hausbock – Käferlarven gegenüber Neuholz festgestellt.
- Festigkeitseigenschaften: Versuche an Holzelementen des 1815 errichteten Dachtragwerkes der TU - Wien im Rahmen eines Gutachtens des Instituts für Tragwerkslehre [Gaisberger et al., 2003] haben ergeben, dass die Festigkeitseigenschaften des alten Holzes zumindest mit Bauholz der Sortierklasse S10 gleichgesetzt werden kann. Im Zuge einer Untersuchung von Holz aus Gründerzeithäusern [Maydl, 1995] wurde für 100 Jahre altes Fichten- und Tannenholz festgestellt, dass hinsichtlich Druck-, Scher-, Zug- und Biegezugfestigkeit die Gleichwertigkeit mit Neuholz gegeben ist. Das Quell- und Schwindverhalten gleicht jenem bei Neuholz.
- Metallische Verbindungsmittel im Holz (Schrauben, Nägel, Dübel, Metallplatten etc.).
- Vermischung mit toxikologisch problematischen Stoffen chemischer Natur wie Holzschutz (Brandschutz, Schutz gegen tierische und pflanzliche Schädlinge, Oberflächenvergütung - Anstriche, Klebstoffe etc.), Leimholz (Brettschichtholz, Sperrholz, verleimte Plattenelement usw.) diverse Holzwerkstoffe (Spanplatten, OSB – Platten usw.).
- Bei Altholz können die möglichen Stoffkontaminationen, wenn das Einsatzjahr bekannt ist, mittels chronologischer Untersuchungen abgeschätzt werden, wie beispielsweise in [Maydl, 1993] aufgelistet.
- Keine Möglichkeit der einfachen Identifizierung der Qualität von Bau- und Abbruchholz hinsichtlich stofflicher Kontaminationen durch verschiedene chemische Substanzen, dadurch ist der ökonomische Aufwand bei der Sortierung und Separierung zu hoch.
- Holz in schwer lösbarem Verbund mit anderen Materialien und damit bedingte Verunreinigungen.
- Vermischung mit anorganischen Materialien (z.B. anhaftender Mörtel in den Baurestmassen usw.)
- andere



Im Bauwesen stellt das Bau- und Abbruchholz ein nutzbares Ressourcenpotential für die stoffliche oder energetische Verwertung dar. Dabei kann in Altholz mit einer vergleichsweise kurzen vorangehenden Nutzungsdauer (Baustellenabfälle von Schalungen, Gerüsten, Baustellenzäune, temporäre Abstützungselemente für Montagezwecke, diverser Verschnitt usw.) und in Altholz mit einer langen vorangehenden Nutzungsdauer (alle im Bauwerk, also im Lager, befindlichen Bauteile aus Holz) unterschieden werden.

Bau- und Abfallholz weist unterschiedliche Qualitäten und dazugehörige Mengen auf. Momentan gibt es keine einheitlichen Qualitätsstandards für Altholz und es wird argumentiert, dass auf europäischer Ebene einheitliche Vorgangsweisen etabliert werden müssten, da ansonsten die Altholzexporte und damit verbundene Transportaktivitäten in Länder mit niedrigeren Standards zunehmen würden. In Tabelle 6-6 ist eine beispielhafte in [Piringer und Fischer, 2003] vorgestellte mögliche Unterteilung in Qualitätsklassen angeführt. Hinzugefügt werden noch die Verwertungsmöglichkeiten.

Tabelle 6-6: Qualitätsklassen von Altholz mit den Verwertungsmöglichkeiten [Piringer und Fischer, 2003].

Qualitätsklasse	Thermische Verwertung	Stoffliche Verwertung
Q1 – Naturbelassene Rest- und Althölzer (Balken, Bretter, Kisten)	In allen dem Stand der Technik entsprechenden Feuerungsanlagen	Wiederverwendung; Recycling in Plattenindustrie, Papier- und Zellstoffindustrie
Q2 – Rinde	in speziell für die Rindenverbrennung ausgelegten Feuerungsanlagen	Plattenindustrie (geringe Anteile); Oberflächenabdeckung in Parks, Kompostierung
Q 3 – Bindemittelhaltige und halogenfreie Rest- und Althölzer	Geeignete, dem Stand der Technik entsprechende Industriefeuerungsanlagen	Zum Teil in der Plattenproduktion – Gefahr der Schadstoffkonzentration
Q 4 – Oberflächenbehandelte Rest- und Althölzer	Geeignete, dem Stand der Technik entsprechende Feuerungsanlagen	Keine stoffliche Nutzung
Q 5 – Teerölimprägnierte Rest- und Althölzer	Geeignete, dem Stand der Technik entsprechende Feuerungsanlagen	Keine stoffliche Nutzung
Q 6 – Salzimprägnierte Rest- und Althölzer	Geeignete, dem Stand der Technik entsprechende Feuerungsanlagen	Keine stoffliche Nutzung
Q 7 – Halogenhaltige Holzkunststoff - Verbunde	Geeignete, dem Stand der Technik entsprechende Feuerungsanlagen	Keine stoffliche Nutzung

Wie aus einer Studie von [Piringer und Fischer, 2003] hervor geht, ist die Zusammensetzung von Bau- und Abbruchholz weitgehend unbekannt und es gibt darüber keine Aufzeichnungen. Folgende problematische Stoffe sind in Österreich im Bau- und Abbruchholz vor allem aus früheren Anwendungen häufig enthalten:

- Lindan (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>Cl<sub>6</sub>) (Holzschutzmittel)
- PCB - polychlorierte Biphenyle (C<sub>12</sub>H<sub>10-n</sub>Cl<sub>n</sub>)
- PCP – Pentachlorphenol (vor allem in Altholz der 80er Jahre und früher)
- Metalle (Blei in Lacken, Kupfer, Zink, Chrom)
- Fluorid

Viele problematische chemische Holzschutzmittel, welche neben den Umweltrisiken in der Beseitigung dieser Altlasten auch hohe Kosten verursachen, sind bereits vor vielen Jahrzehnten eingebaut worden. Durch die lange Lebenszeit von Bauteilen ist es daher auch zweckmäßig die zeitliche Entwicklung zukünftigen Altholzaufkommens und die damit verbundene stoffliche Zusammensetzung dieser Abfallfrachten zu analysieren, um rechtzeitig für das Vorhandensein entsprechender Infrastruktur vorsorgen zu können. Die Trennung von

derart behandelten Hölzern und nicht behandelten Hölzern ist vor allem auf Baustellen momentan in der Praxis nicht umsetzbar. Altstoffsammelzentren und Verwerter unterscheiden oft nur „behandeltes“ und „unbehandeltes“ Holz. In der Praxis gehen Verwerter oft auch automatisch davon aus, dass Bauholz behandelt ist und daher thermisch verwertet wird. Laut [Piringer und Fischer, 2003] ist es sehr schwer, von Altholzentsorgern exaktere Auskünfte über den Verbleib von Altholz zu erhalten.

Vor allem in tragenden, der Witterung nicht ausgesetzten und somit immer trockenen Strukturen ist es möglich, auf chemischen Holzschutz zu verzichten. Besonders die großen Querschnitte in tragenden Strukturen eignen sich für stoffliche Wiederverwendung. Dass sich diese Bewirtschaftungsform des städtischen Holzlagers auch ökonomisch rechnet zeigt das Beispiel des Wiener Sägewerks Schuh, das jährlich ca. 3.000 m<sup>3</sup> Abbruchholz aus dem Lager der Stadt Wien zu hochwertigem Schnittholz einschneidet [Merl, 2004].

### 6.3.2 Thermische Verwertung von Holz

Um die Ressourcennutzungskette zu optimieren und durch Substitution fossiler Energieträger effizient zum Klimaschutz beitragen zu können ist nach dem letzten Lebenszyklus eines Holzprodukts eine thermische Verwertung mit Energiegewinnung anzustreben. Abbildung 4-1 zeigt die Möglichkeiten der energetischen Verwertung von Holz und deren momentane Verfügbarkeit hinsichtlich des Standes der Technik. Es ist zu erwarten, dass in Zukunft weitere Technologien zur energetischen Altholzverwertung zur Verfügung stehen werden.

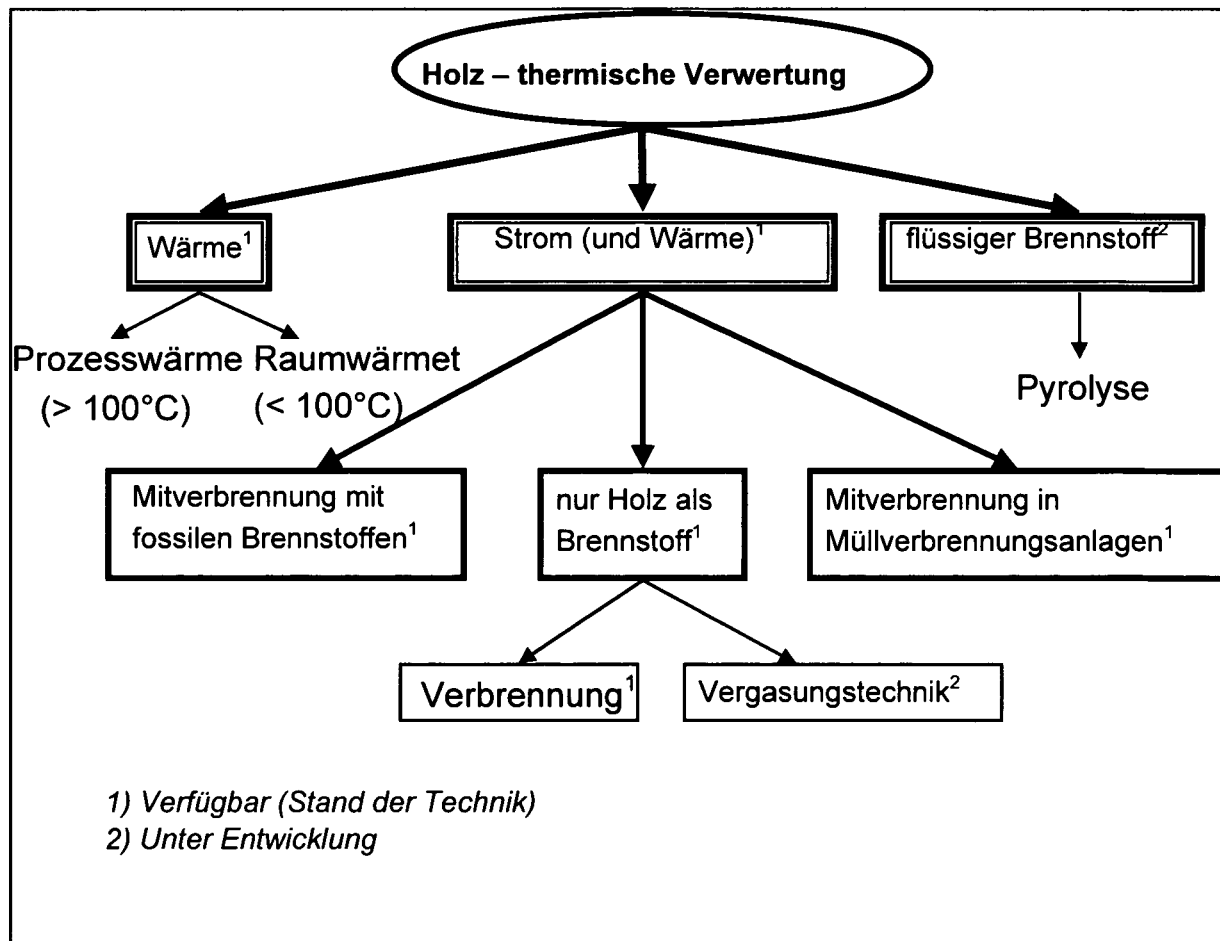


Abbildung 6-3: Systematik der energetischen Verwertung von Holz [Jungmeier & Merl, 2001], [Merl, 2003].

Auch für die thermische Verwertung gilt, dass unbehandeltes und damit mit weniger Stoffen aller Art belastetes Altholz mit geringeren Kosten energetisch genutzt werden kann. Asche und Filterstäube weisen dadurch geringere Belastungen auf und vor allem für die Verwertung der anfallenden Holzaschen ergibt sich ein zusätzliches Verwertungspotential (Nährstoffrecycling, Substitution von Kunstdüngern, Zuschlagstoff für diverse Baustoffe).

Ein Beispiel einer sowohl stofflichen als auch thermischen Verwertung von mit CCA (Kupfer-Chrom-Arsen) – imprägnierten Holzbohlen existiert in Finnland: Die Holzbohlen werden gesammelt, in einer speziellen Recyclinganlage zerkleinert und anschließend werden die Stoffe Kupfer, Chrom und Arsen zur stofflichen Verwertung wieder gewonnen. Mit den Holzresten wird Energie erzeugt, die Finanzierung erfolgt über den Verkauf der Energie sowie einer Recyclingabgabe an den Entsorger [Jungmeier & Merl 2001].

In Wien stehen bereits Anlagen mit Kraft-Wärmekopplung zur thermischen Verwertung zur Verfügung, ab 2008 geht ein 65 MW – Biomassekraftwerk in Betrieb, welches allerdings nur mit Frischholz beschickt wird. Eine Beimengung der trockenen Altholzfraktion des Bauwesens könnte, unter der Voraussetzung der technischen Machbarkeit bei der konkreten Anlage, zur Vermeidung von tausenden Tonnenkilometern an Frischholztransporten beitragen.

## **6.4 Der Emissionshandel - Emissionszertifikate**

In dieser Studie wird auch untersucht, welchen Einfluss verstärkter Holzeinsatz im Bauwesen auf die Treibhausgasbilanz durch die langfristige Speicherung von Kohlenstoff in der Biomasse sowie durch Substitutionseffekte hat. Durch verstärkten Einsatz von Holzkonstruktionen werden einerseits Baustoffe wie Stahl und Zement substituiert, welche in der Produktion den Einsatz relativ großer Mengen an fossilen Energieträgern erfordern und andererseits kann durch thermische Nutzung des Abbruchholzes nach dem letzten Lebenszyklus der Einsatz fossiler Energieträger in der Strom- und Wärmeerzeugung ersetzt werden. Ob diese Effekte einen nennenswerten Beitrag zur Reduktion der Treibhausproblematik beitragen können und ob damit zusätzliche Perspektiven im Handel mit Emissionszertifikaten eröffnet werden können, wird in dieser Studie erörtert. Nachfolgend wird die Funktionsweise des Emissionshandels kurz beschrieben.

Emissionszertifikate, wie sie im Kyoto – Protokoll vorgesehen sind und nach EU-Vorgabe ab 2005 auch in Österreich in Umlauf kommen, berechtigen einen Industriebetrieb zum Ausstoß gewisser Mengen an Treibhausgasen. In Österreich werden in der ersten Phase bis 2007 gemäß dem Nationalen Allokationsplan [NAPfÖ, 2004] an rund 240 Industriebetriebe Gratiszertifikate, also "Emissionsrechte" ausgegeben.

### **6.4.1 Das Kyoto – Protokoll**

Hauptmotivation für die Ausarbeitung des Kyoto – Protokolls durch die politischen Akteure aus aller Welt war, dass 50 Prozent des in den letzten 120 Jahren beobachteten Temperaturanstiegs in den letzten 20 bis 30 Jahren passierte. Wenn dieser Trend anhält, kann bis zur Jahrtausendwende mit einem globalen Temperaturanstieg von bis zu sechs Grad gerechnet werden. Vergleichsweise betrug der Unterschied zwischen der Warmzeit und der Eiszeit vier Grad. Neben den Temperaturen verändern sich regional auch Niederschlags- und Windverhältnisse in einem deutlich messbaren Ausmaß. Die Verschiebungen führen in hohen Lagen

zu einer anderen Ausbildung von Niederschlagsverhältnissen sowie damit verbunden von Lawinen und im Flachland zu Überschwemmungen, Stürmen und Hurrikans. Den volkswirtschaftlichen Schaden von Naturkatastrophen schätzte die Münchener Rückversicherung auf 60 Milliarden Euro allein im Jahr 2003. Dazu kommt der stetige Anstieg der Wasserspiegel der Weltmeere. [DER STANDARD, 30.3.2004]. Auf internationaler Ebene sollen im Kyoto – Protokoll vorgegebene Zielvorgaben zu einer Trendumkehr führen. Die Industrieländer haben darin zugesagt, bis 2012 ihre Treibhausgas-Emissionen um 5,2 Prozent unter das Niveau von 1990 zu senken. Österreich hat sich dazu verpflichtet, im Rahmen einer definierten EU-Quote die Emission seiner Treibhausgase bis 2010 um 13 % gegenüber dem Referenzjahr 1990 zu senken. Aktuelle Zahlen lassen aber einen umgekehrten Trend erkennen: Österreich emittiert momentan mehr CO<sub>2</sub> als im Referenzjahr 1990, sodass nun bereits eine Reduktion von 22 % notwendig ist.

Dieser Trend zeichnet sich aber auch auf internationaler Ebene ab. Eine Australische Studie zeigt, dass Emissionen deutlich über dem längerfristigen Mittelwert liegen. Durch die Nutzung fossiler Brennstoffe wie Kohle oder Erdöl sind im Jahr 2003 17,1 Milliarden Tonnen Kohlendioxid frei gesetzt worden, der längerfristige Mittelwert der vergangenen Jahre lag bei 13,3 Milliarden Tonnen [CSIRO 2004].

Das Kyoto – Protokoll [UN 1997] ist ein Zusatzprotokoll zur Klimakonvention [UN 1992] und wurde 1997 von den Vertragsstaaten der Klimakonvention verabschiedet. Mit der Ratifikation des Kyoto – Protokolls durch die EU und ihre Mitgliedstaaten im Mai 2002 [Rat der EU, 2002] ist diese Verpflichtung völkerrechtlich verbindlich geworden. Die Treibhausgasemissionen in Österreich müssen, gemessen in CO<sub>2</sub> Äquivalenten, im Zeitraum von 2008 bis 2012 nun definitiv um die vereinbarten 13 % gesenkt werden. Bis 2005 müssen von den Vertragsparteien nachweisbare Schritte zur Erfüllung der Verpflichtungen erbracht werden. Weiters muss ein nationales System zur Abschätzung der anthropogenen Emissionen aller nicht durch das Montrealer Protokoll (Abbau der Ozonschicht) [UNEP, 2000] geregelten Treibhausgase aus Quellen in die Atmosphäre sowie des Abbaues solcher Gase in Senken eingeführt werden.

Im Protokoll von Kyoto werden explizit die folgenden sechs Treibhausgase aufgezählt:

- Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)
- Methan (CH<sub>4</sub>)
- Distickstoffoxid (Lachgas – N<sub>2</sub>O)
- teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FCKW/H-FKW)
- perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFKW / PFC)
- Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>)

Eine genauere Beschreibung der Wirkungsweise dieser Substanzen erfolgt in der Beschreibung der Bewertungsindikatoren in Kapitel 8.4.4.

### **6.4.2 Die Funktionsweise des Emissionszertifikatshandels**

Unter Emissionshandel wird der Handel mit CO<sub>2</sub> - Emissionsrechten, auch Emissionszertifikate genannt, verstanden. Damit wird angestrebt, den Treibhauseffekt dort zu mildern, wo dies am kostengünstigsten und mit geringstem technischen Aufwand möglich ist. Für die

erste Handelsperiode bis 2007 werden die Zertifikate in Österreich vom Umweltministerium gratis an die CO<sub>2</sub> – Äquivalente emittierende Betriebe vergeben. Im Nationalen Allokationsplan [NAPfÖ 2004], welcher auf Vorgaben der Europäischen Kommission gemäß dem Guidance Paper basiert, muss Österreich der EU einen Plan vorlegen, der die Zuteilung der Zertifikate auf etwa 240 Anlagen regelt, die an dem System teilnehmen. Das Umweltministerium plant für die erste Emissionshandelsperiode 97,4 Mio. t Zertifikate als Gesamtmenge kostenlos zuzuteilen. Die Prinzipien und Zuteilung der Zertifikate ist im Anhang A3, Kapitel Nr. 21, dargestellt. Tabelle 6-7 zeigt die Zuteilung der Emissionszertifikate auf die einzelnen Branchen der Energiewirtschaft und der Industrie. Aus der Tabelle ist nebenbei auch ersichtlich, dass dieses System lediglich ca.  $\frac{2}{5}$  der österreichischen CO<sub>2</sub>-Äquivalenz Emissionen abdeckt. Sektoren wie die Privathaushalte und der Verkehr werden davon nicht berührt.

Tabelle 6-7: Business as usual Werte der Sektoren und Branchen sowie Reservefaktor und Klimaschutzbeiträge [NAPfÖ 2004]

Sektor/Branchen	Business as usual – Wert [tCO <sub>2</sub> – Äquv.)	Klimaschutzbeitrag 05-07	Reservefaktor	Sektorzahl 05-07 inkl. Reserve	Zuteilung 05-07
<b>Energiewirtschaft</b>	<b>13.176.646</b>	<b>1.050.000</b>	<b>0,988</b>	<b>12.126.646</b>	<b>11.981.126</b>
– Elektrizitätswirtschaft	9.746.000				
– Fernwärme	426.128				
– Mineralölverarbeitung	3.004.518				
<b>Industrie</b>	<b>20.955.753</b>	<b>600.000</b>	<b>0,988</b>	<b>20.355.753</b>	<b>20.111.484</b>
– Eisen- und Stahlindustrie (voestalpine)	11.508.661				
– Sonstige Eisen- und Stahlindustrie	186.691				
– Zementindustrie	2.665.483				
– Papierindustrie	2.391.100				
– Chemische Industrie	1.066.852				
– Kalkindustrie	824.000				
– Feuerfesterzeugnisse	601.000				
– Ziegelindustrie	338.000				
– Lebensmittelindustrie 1	340.678				
– Glasindustrie	238.000				
– Holzindustrie	212.922				
– Maschinen- und Stahlbau-, Metallwaren-, Fahrzeug-, Gießerei-, Nichteisenmetall-, Elektronikindustrie	234.555				
– Sonstige mineralische Produkte	309.138				
– Textilindustrie	38.674				
<b>Summe</b>	<b>34.132.399</b>			<b>32.484.399</b>	<b>32.092.610</b>

Der nationale Allokationsplan wird per Verordnung erlassen bzw. erfolgt die rechtlich verbindliche Zuteilung der Emissionsrechte an die Anlagenbetreiber per Bescheid. Produktionsstätten, die mehr klimawirksame Treibhausgase in die Atmosphäre emittieren als ihnen laut Allokationsplan zustehen, können von jenen Unternehmen Zertifikate zukaufen, die weniger als die zugewiesene Emissionsmenge an Treibhausgasen in die Atmosphäre ausstoßen. Das hängt auch davon ab, wie reichlich die Zertifikate ausgegeben werden. Der Handel richtet sich wie an der Börse nach Angebot und Nachfrage und dürfte sich nach ersten Schätzungen in einem Preisbereich zwischen 10 und 13 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> - Äquivalent bewegen. Er soll vor allem die energieintensiven Unternehmen, und damit verbunden den bedeutendsten treibhauswirksamen CO<sub>2</sub> (Äquivalenten) – Emittenten, wie beispielsweise die Elektrizitäts- und Kohlewirtschaft, Chemie-, Zement- und Stahlindustrie zu Investitionen in moderne

Werke anregen. [DERSTANDARD, 28.1.2004]. Der Emissionshandel soll die Erreichung des 1997 beschlossenen Kyoto-Ziels unterstützen.

### 6.4.3 Die Treibhausgas Emissionen in Österreich und in Wien

Gemessen an den Emissionen der im Kyoto – Protokoll aufgelisteten Substanzen emittierte Österreich gemäß der Treibhausgas-Emissionsinventur des Umweltbundesamtes 1990 78 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent an Treibhausgasen. Die 13 %ige Reduktion der Treibhausgase bedeutet für Österreich im Kyoto - Verpflichtungszeitraum 2008 - 2012 einen Zielwert von rund 68 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Dies bedeutet, dass gegenüber 1990 eine Reduktion von 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent erforderlich ist. Das Trend-Szenario („keine zusätzlichen Maßnahmen“), das als Grundlage für die österreichische Klimastrategie herangezogen wurde, zeigt ein weiteres Ansteigen der Emissionen bis zur Kyoto - Zielperiode auf etwa 86 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent, was eine notwendige Reduktion um rund 18 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent bedingt.

Die Emissionen an Treibhausgasen des beim Zertifikatshandel nicht involvierten Verkehrssektors sind laut dem jüngsten "Kyoto-Fortschrittsbericht" seit 1990 um 8 Millionen Jahrestonnen (60 %) auf 21,4 Millionen t/a gewachsen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind von 12,3 auf 19,9 Millionen Tonnen gestiegen. Hauptursache ist laut Verkehrsclub Österreich (VCÖ) neben der enormen Zunahme des Pkw- und Lkw-Verkehrs auch der Tanktourismus. Der Fortschrittsbericht macht ersichtlich, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Verkehrs zuletzt allein innerhalb eines Jahres um 11 % gestiegen ist. Der Anteil des Verkehrs an den gesamten Treibhausgasen erhöhte sich von 17 auf 25 Prozent. Die Zahl der Pkw ist seit dem Jahr 1990 um eine Million gestiegen. Die von Lkw zurückgelegten Kilometer haben sich mehr als verdoppelt [VCÖ 2004]. Die folgende Tabelle 6-8 zeigt die österreichischen CO<sub>2</sub> – Äquivalenzmissionen für die einzelnen Emissionsquellen.

Tabelle 6-8: Österreichs Klimastrategie der Bundesregierung, Treibhausgas-Reduktionsziele [BMLFUW 2002]

Emissionsquellen	Trend 2010	Red.potential	Ziel 2010
Einheit	In Mio. Tonnen CO <sub>2</sub> – Äquivalente pro Jahr		
Raumwärme und sonstiger Kleinverbrauch	14,5	4,0	10,5
Energieaufbringung (Elektrizitäts- u. Wärmeerzeugung, Raffinerien)	14,5	2,1	12,4
Abfallwirtschaft	4,8	1,1	3,7
Verkehr	20,0	3,7	16,3
Industrie und produzierendes Gewerbe	22,0	1,25	20,75
Landwirtschaft	4,8	0,4	4,4
„Fluorierte Gase“	3,8	1,2	1,8
Sonstige Treibhauswirksame Emissionen (v.a. Lösemittelverwendung)	0,8	0,1	0,7
<b>Summe (Zielwert Kyoto-Protokoll: 67,55 Mio. t)</b>	<b>84,4</b>	<b>13,85</b>	<b>70,55</b>

Die folgende Grafik (Abbildung 6-4) zeigt die potentiellen Treibhausgasreduktionen. Bei Biomasse – Heizungsanlagen und Kraft-Wärme Kopplungen zur Erzeugung von Wärme und Strom könnte ein gezieltes Altholzmanagement eine wichtige Rolle spielen.

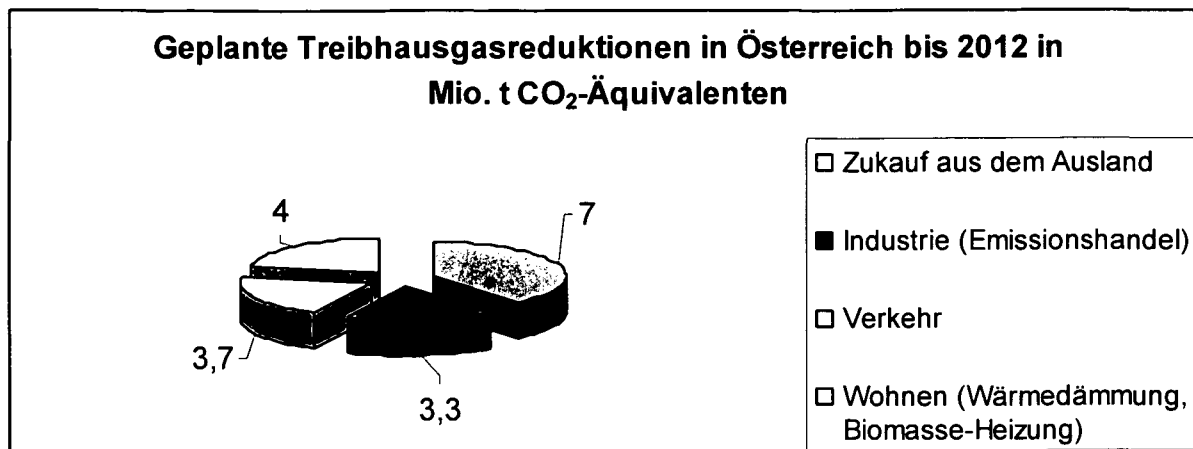


Abbildung 6-4 Geplante Reduktion der Treibhausgase in Österreich bis zum Jahr 2012 [http://www.lebensministerium.at/umwelt/, 2004].

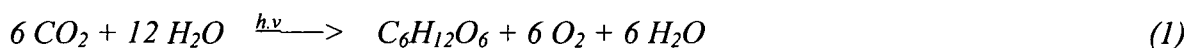
Eine wichtige Senke des Kohlenstoffs und damit eine Senke für CO<sub>2</sub>-Äquivalente ist das Holz sowohl im Wald verbleibend als auch das in der urbanen Infrastruktur langfristig eingebaute Baumaterial Holz. Unter der Voraussetzung eines optimalen Managements in den einzelnen Lebensphasen von Holz als stoffliche Ressource in der Anthroposphäre bis zur energetischen Verwertung nach der letzten stofflichen Nutzungskaskade kann ein Beitrag zur Milderung des Treibhauseffektes geleistet werden, Nachfolgend wird auf diesen Aspekt näher eingegangen.

## 6.5 Holzbildung und Kohlenstoffbindung im Holz

Da in dieser Arbeit der Treibhauseffekt und die Auswirkungen des Holzeinsatzes darauf näher untersucht werden, ist es notwendig den Prozess der Holzbildung und die damit verbundene Kohlenstoffspeicherung zu beschreiben. Anschließend wird auf die anrechenbare Kohlenstoffbindung im Bauholz eingegangen.

### 6.5.1 Holzbildung allgemein

Die folgenden Daten über die Holzbildung sind hauptsächlich aus [Werner et al., 2003] entnommen. Bäume bilden ihre Biomasse aus Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Wasser (H<sub>2</sub>O) und verschiedenen Nährstoffe unter Nutzung von Sonnenenergie. Vereinfacht kann der Prozess der Photosynthese folgend beschrieben werden:



Das Glukose - Molekül (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) steht für die Biomasse des Baumes, welche aus 6 CO<sub>2</sub> Molekülen und 12 H<sub>2</sub>O Molekülen gebildet wird. Die theoretisch in der Glukose gespeicherte Energiemenge beträgt ca. 16 MJ pro kg ofentrockener Biomasse (u=0%). Tatsächlich besteht trockenes Holz aus den Hauptbestandteilen Zellulose, Lignin und Hemi - Zellulose sowie kleineren Mengen (5-10 %) aus anderen Materialien, welche nicht für den strukturellen Zusammenhalt verantwortlich sind. Im Holz befinden sich sowohl organische wie auch anorganische Stoffe. Die organischen Bestandteile sind Tannine und andere Polyphenole, Farbstoffe, ätherische Öle, Fette, Harze, Wachse, Stärke und einfachen Zwischenstoffen. Die

Menge (zwischen 5 und 30 %) hängt von der Art, dem Standort und der Jahreszeit der Schlägerung ab. Die anorganischen Bestandteile sind beispielsweise Kalzium, Kalium und Magnesium mit einem Gehalt von 0,2 – 1,0 % im Holz. Bäume werden in Nadel- und Laubholz unterschieden. Da in der vorliegenden Arbeit das Bauholz in tragenden Strukturen betrachtet wird und diese hauptsächlich aus Nadelholz bestehen wird in weiterer Folge das Nadelholz betrachtet.

Tabelle 6-9: Bilanz der mengenmäßig wichtigsten Stoffflüsse bei der Holzbildung [Frühwald et al., 1997]

Input		Output	
Kohlendioxid	1.851 kg	Holz	1.000 kg
Wasser	1.082 kg	Wasser	541 kg
		Sauerstoff	1.392 kg

Bei der Entstehung von Holz wird, wie in Tabelle 6-9 gezeigt, in der Natur aus der Atmosphäre CO<sub>2</sub> in einem natürlichen Prozess entzogen. Dabei wird der Kohlenstoff im Holz gespeichert und schließlich bei der Verrottung oder der Verbrennung wieder an die Atmosphäre zurückgegeben.

Der Kohlenstoffgehalt im Holz beträgt zwischen 47,8 Gewichtsprozent (Laubholz) und 50 Gewichtsprozent (Nadelholz), in dieser Studie werden 49,4 Gewichtsprozent wie in der Datenbank Ecoinvent 2000 (siehe auch Tabelle 6-5) verwendet.

Der österreichische Wald repräsentierte im Jahr 1990 (Basisjahr für die Reduktionsziele des Kyoto - Protokolls) einen Kohlenstoffvorrat von 783 ± 190 Mio. t C und stellt somit mit Abstand den größten Kohlenstoffspeicher dar [Weiss, 2000]. Der im österreichischen Wald gespeicherte C-Vorrat entspricht in etwa 40 österreichischen Jahresemissionen an Treibhausgasen. Zusätzlich werden jährlich 1 % (ca. 8 Mio. t C) durch die Bestandesvergrößerung und 0,6 % (5 Mio. t C) in Holzprodukten gespeichert [Oswald, 2003].

Tabelle 6-10: Kohlenstoffspeicherung in Österreichs Wäldern 1990 [Weiss, 2000]

Waldfläche 1990 Österreich [in 1000 ha]	Kohlenstoffspeicherung 1990 [in Mt C]
3893±46	784±190

Die Veränderungen des Waldes als Kohlenstoffsенke oder –quelle gehen als bedeutende Größen in die österreichische Treibhausbilanz ein. Die jährliche Übermittlung der Kohlenstoffbilanzdaten des Waldes gehört zu den Berichtspflichten der Vertragsstaaten im Rahmen der Klimaschutzkonvention der Vereinten Nationen. Die Kohlenstoffbilanzen dienen als Indikator für die Erreichung der Ziele des Kyoto-Protokolls. Die Studie „Die Kohlenstoffbilanz des österreichischen Waldes und Betrachtungen zum Kyoto-Protokoll“ des Umweltbundesamtes [Weiss, 2000] ergab, dass der österreichische Wald im Zeitraum 1961 bis 1996 eine Nettokohlenstoffsенke war. Die mittlere jährliche Nettokohlenstoffbindung der Waldbiomasse betrug in diesem Zeitraum 2,527 Mio. t Kohlenstoff, das entspricht ca. 10,2 Mio. t CO<sub>2</sub> – Äquivalenten pro Jahr. Für den Zeitraum 1980 bis 1996 entspricht diese Nettokohlenstoffbindung etwa 14 % der gesamten österreichischen Brutto-CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emission der Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, und N<sub>2</sub>O.



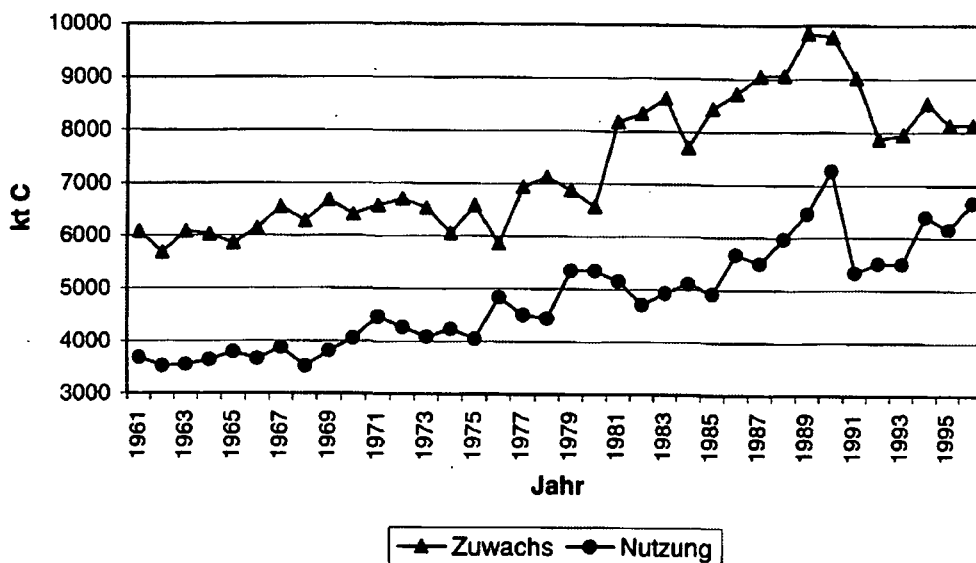


Abbildung 6-5: Jährliche Kohlenstoffbindung durch den Zuwachs und jährliche Kohlenstofffreisetzung durch die Nutzung im österreichischen Wald [Weiss 2000].

Österreichs CO<sub>2</sub>-Emissionen (aus privaten Haushalten, Verkehr, Industrie, ...) sind etwa viermal so hoch wie der maximal akzeptable Weltdurchschnitt für eine Stabilisierung des atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehalts. Österreich bräuchte demnach eine fünfmal so große Waldfläche, um keinen weiteren Beitrag zum zusätzlichen globalen Treibhauseffekt zu verursachen [Oswald 2003]. Eine weitere Waldflächenzunahme ist in vielen Gebieten Österreichs vor allem aufgrund der gewünschten Erhaltung der Landschaftsvielfalt nicht erwünscht. Österreich ist demnach sehr weit von einer tolerierbaren Treibhausgasbilanz entfernt. In der Fachliteratur wird zudem kontrovers diskutiert, dass die heutigen Nettokohlenstoffsinken bei weiteren Temperaturanstiegen, unter anderem aufgrund der höheren Veratmung von CO<sub>2</sub> im Boden, zu Kohlenstoffquellen werden könnten.

Bei forstwirtschaftlich genutzten Waldflächen wird der Kohlenstoff ebenfalls im heranwachsenden Baum gespeichert. Bei der Ernte verbleibt der Kohlenstoff im Holz, bei kurzlebigen Produkten dauert die C-Speicherung relativ kurz, bei Bauholz kann die Lebensdauer und damit die Speicherzeit eines Holzproduktes allerdings auch bis zu einigen hundert Jahren dauern. Wird das Holzprodukt am Ende des letzten Lebenszyklus energetisch verwertet, so wird der gespeicherte Kohlenstoff wieder an die Atmosphäre abgegeben, allerdings kann die Freisetzung von fossil gespeichertem Kohlenstoff substituiert werden. Dadurch wird effektiv zur Linderung des Treibhauseffekts beigetragen, da bei der Verbrennung regenerativer Biomasse unter der Voraussetzung nachhaltiger Bewirtschaftung kurzfristig im Kreislauf befindlicher Kohlenstoff langfristig gebundenen Kohlenstoff ersetzt. Während des Holzwachstums wird Kohlenstoff aus der Atmosphäre gebunden, bei der Verbrennung emittiert und im nächsten Zyklus während der Umtriebszeit wieder gebunden. Als Umtriebszeit wird der Zeitraum zwischen den einzelnen Holzernten bezeichnet. Daher handelt es sich um neutrale Emissionen. Bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern wird Kohlenstoff frei gesetzt, welcher vor vielen Millionen Jahren gebunden wurde – es handelt sich also um andere Zeitdimensionen und daher um treibhauswirksame Emissionen. Voraussetzung dafür ist jedoch die dazu

notwendige regional verfügbare Infrastruktur, eine tatsächlich vorhandene Substitutionsmöglichkeit von fossilen Energieträgern wie Erdöl, Kohle oder Gas und ein entsprechender Bedarf an der so erzeugten Energie. Für die Fallstudie Wien wird die Annahme getroffen, dass ein zur energetischen Verwertung von Bau- und Abbruchholz geeignets Kraftwerk mit hohem Wirkungsgrad zur Verfügung steht.

Für Bauholz ist die Dauer der Kohlenstoffspeicherung die Wachstumsphase des Baumes im Wald (Umtriebszeit - ca. 60 - 120 Jahre in Österreich, je nach gewünschten Rundholzdimensionen) und anschließend die Nutzungsdauer im Bauwerk (von temporärer Nutzung bis zu mehreren hundert Jahren). Im ungünstigsten Fall verrottet das Holz auf einer Deponie, was in Österreich jedoch aufgrund der Deponieverordnung 1996 [DVO, 1996] seit 1.1.2004 verboten ist. Im günstigsten Fall wird Altholz zur Energieerzeugung eingesetzt und substituiert damit fossile Energieträger und die damit verbundene Emission von in fossilen Energieträgern vor vielen Millionen von Jahren gebundenen Kohlenstoff. Dadurch ergibt sich ein gewisser Spielraum für die Erstellung und Interpretation von Kohlenstoffbilanzen und der damit verbundenen Freisetzung von treibhauswirksamen CO<sub>2</sub> – Äquivalenten. Je nach Zielsetzung, Fragestellung und damit in Zusammenhang stehenden betrachteten Zeithorizont ist eine sorgfältige Systemgrenzenwahl bei der Bilanzierung erforderlich. Daher ist bei der Erstellung solcher Bilanzen Transparenz, vor allem hinsichtlich zeitlicher und räumlicher Systemgrenzenwahl, von entscheidender Bedeutung. Dies gilt vor allem für die Aspekte der Vergleichbarkeit verschiedener Produkte oder Systeme.

Zimmer meint dazu beispielsweise [Zimmer, 2002], dass Holz nicht nur CO<sub>2</sub>-neutral ist, sondern einen „C-plus-Effekt“ besitzt. Heute werden üblicherweise CO<sub>2</sub>-Emissionen aus erneuerbaren Energieträgern als CO<sub>2</sub>-neutral beurteilt, da nur die durch die biologische Produktion gespeicherte Menge an Kohlenstoff wieder freigesetzt wird. Dabei wird zwar der Tatsache Rechnung getragen, dass kein Beitrag zum Treibhauseffekt geleistet wird. Es werden jedoch die positiven Funktionen Kohlenstoffspeicherung und Substitution fossiler Energieträger durch die thermische Verwertung nicht in die Bewertung aufgenommen. Holz als CO<sub>2</sub>-neutral zu betrachten führe demnach zu einer falschen Bewertung und Interpretation der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Um die klimarelevanten, positiven Eigenschaften von Holz quantitativ zu erfassen, ist es erforderlich, sowohl die während der Holzproduktion absorbierte Menge an CO<sub>2</sub> als auch die CO<sub>2</sub> - Emissionen bei der thermischen Verwertung oder Verrottung in die Berechnung des Treibhauspotentials mit einzubeziehen. Wenn Kohlenstoffspeicherung und -emission den entsprechenden Lebenszyklusphasen zugeordnet werden, kommt der zeitliche Abstand von Speicherung und Emission zum Tragen. Das Treibhausgas Kohlendioxid wird der Umwelt über einen längeren Zeitraum entzogen. Damit kann laut Zimmer nachgewiesen werden, dass die Verwendung von Holzprodukten nicht nur neutral bezüglich des Treibhauseffekts ist, sondern mit dazu beiträgt, die Ziele des Kyoto - Protokolls zu erreichen.

Mit einer klaren Systemgrenzenwahl wird in der vorliegenden Studie dieser Problematik entsprechend entgegengetreten. Durch die Integration des gesamten Lebenszyklus von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung kann ein nachvollziehbares, auf Fakten begründetes Bild dargestellt werden. Die langfristig gespeicherten CO<sub>2</sub> – Äquivalente gehen in die Bilanz als negative Zahlenwerte ein, bei kurzlebigen Produkten wird der gesamte Lebenszyklus erfasst und somit können die tatsächlichen Emissionen in die Bilanz Eingang finden. Allerdings können fossile Emissionen durch energetische Verwertung von Bau- und Abbruchholz

substituiert werden. Bei langfristig im Holz von Bauwerken gespeicherten CO<sub>2</sub> - Äquivalenten werden am Lebenszyklusende die Emissionen durch thermische Verwertung zurück in die Atmosphäre in die Bilanz aufgenommen. Durch die Aufnahme des Prozesses Kraft – Wärme – Kopplung in das System kann die Substitution fossiler Energieträger in den Berechnungen berücksichtigt werden. Das bedeutet auch über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, dass Lagerzuwachs sich in negativen Bilanzzahlen und Lagerabbau mit positiven Bilanzzahlen hinsichtlich des Treibhauseffekts niederschlägt. Werden bei der energetischen Nutzung fossile Energieträger substituiert, so geht die Differenz aus Emissionen durch die Holzverwendung und den substituierten Emissionen des fossilen Energieträgers jeweils unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades der Energieerzeugung in die Bilanz ein.

### 6.5.2 Anrechenbare Kohlenstoffbindung im Bauholz

Um die in Ökobilanzen anrechenbare Menge an CO<sub>2</sub> – Äquivalenten im Bauholz ermitteln zu können, muss der gesamte Lebenszyklus betrachtet werden. Folgende Prozesse sind dabei von Relevanz:

- Forstwirtschaft, Umtriebszeiten
- Sägewerk und Schnittholzproduktion
- Für Holzwerkstoffe die Produktion derselben
- Alle anteiligen Transporte für alle Prozesse
- Einbau des Holzes bzw. Art der Verwendung als temporäres Hilfsmaterial (Schalung, Pölung, Gerüstbau, usw.) oder dauerhaftes Element
- Nutzungsdauer und Aufwand für Sanierung und Wartung
- Art der Verwertung (stofflich oder thermisch) bzw. Entsorgung

Da bei der Produktion von Bauholz immer Koppelprodukte anfallen, ist auch die Wahl der Allokationsmethode von großer Bedeutung, wie es beispielsweise die Dissertation von Frank Werner [Werner 2002] anhand einer Fallstudie sehr ausführlich zeigt. In dieser Studie werden die Wirkungsdaten der Datenbank Ecoinvent 2000 [Frischknecht und Jungbluth et al. 2004], verwendet. Die Systemgrenzenwahl und die Allokationsmethodik werden auf diese Quellen abgestimmt, eine detaillierte Beschreibung und Hintergrundinformation zur Datenermittlung für Holz kann aus [Werner et al., 2003] entnommen werden. Durch die Verwendung von Ecoinvent 2000 werden nicht immer die österreichischen Verhältnisse reflektiert. Allerdings ist die Situation der Baumaterialproduktion und der Forstwirtschaft in der Schweiz mit jener in Österreich durchaus vergleichbar. Außerdem bietet die Datenbank für einen sehr großen, in sich konsistenten, Datensatz von Inventardaten mit vergleichbarer Datenqualität (Systemgrenzen, Allokation usw.). Da für Österreich eine vergleichbare Datenbank nicht existiert werden die Schweizer Daten in dieser Studie verwendet. Sollten andere Quellen Verwendung finden bzw. entsprechende Anpassungen auf österreichische Verhältnisse vorgenommen werden, dann wird darauf mittels Quellenverweis eindeutig hingewiesen. Um die Substitution von fossilen Energieträgern berücksichtigen zu können erfolgt eine Systemgrenzenerweiterung um den Prozess „Kraft – Wärme – Kopplung Wien“, um so einen vollständigen Vergleich zwischen den einzelnen in weiterer Folge beim Fallbeispiel Wien gewählten Szenarien zu gewährleisten. Der Prozess „Kraft – Wärme – Kopplung Wien“ ist eine Annahme, da es im Zuge der Recherche nicht möglich war, die tatsächlichen Verwertungswege von Bau- und Abbruchholz seriös nachzuvollziehen. Im Falle der anrechenbaren Kohlen-

stoffspeicherung von Bauholz ergeben sich für die einzelnen Prozesse im Lebenszyklus von Bauholz anhand von Fichtenholz folgende Daten, wobei die Daten als Grobangaben zu verstehen sind und je nach lokalen Gegebenheiten entsprechenden Schwankungen unterworfen sind:

### **Wachstum im Wald**

Ein Baum im Wald entzieht der Atmosphäre in der Wachstumsphase stetig Kohlendioxid und speichert Kohlenstoff. Die Umtriebszeit variiert, je nach Schwach- oder Starkholznutzung und klimatischen Bedingungen zwischen ca. 50 und 120 Jahren. Die Datenbank Ecoinvent 2000 geht von einer Dauer von der Pflanzung bis zur endgültigen Ernte von 120 Jahren aus. Der massenmäßige Kohlenstoffanteil an der Holztrockenmasse wird in der Ecoinvent 2000 Datenbank mit 49,4 % angenommen, wobei von 450 kg Trockenmasse/m<sup>3</sup> ausgegangen wird. Das bedeutet eine Speicherung von 817 kg CO<sub>2</sub> – Äquivalenten in einem m<sup>3</sup> Fichtenholz (1,816 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kg) bzw. vor der Entrindung von 897 kg CO<sub>2</sub> – Äquivalenten in einem m<sup>3</sup> Fichtenholz inklusive Rinde bzw. 1,99 kg CO<sub>2</sub> – Äquivalent pro kg Holz und einem Bruttoenergieinhalt von ca. 10.100 MJ/m<sup>3</sup> (ca. 22,4 MJ/kg).

### **Forstprozess**

In der Ecoinvent 2000 Datenbank sind folgende Prozessstufen enthalten:

Setzlingszucht, Bestandsgründung, Kulturpflege, Jungwuchspflege, Läuterung (gefällte Jungbäume verbleiben im Wald), Durchforstung (gefällte Bäume werden abhängig vom Durchmesser als Industrieholz, Energieholz oder Rundholz verwendet), Fällen inklusive Entastung und Transport zur nächstgelegenen Forststraße (gefällte Bäume werden als Industrieholz oder Rundholz verwendet) und Entrindung (bei Nadelholz meist mittels mobilen Entrindungsmaschinen im Wald, bei Fichte beträgt der Rindenanteil ca. 8 – 15 %). Die Errichtung und die Erhaltung der Forststraßen sowie die erforderlichen Geräte und Maschinen sind ebenfalls inkludiert.

Fossile Energieträger werden im Forstprozess hauptsächlich für den Betrieb von Motorsägen und anderen forstwirtschaftlichen Gerät sowie den Forststraßenbau benötigt, dabei entstehen treibhauswirksame Emissionen von ca. 15 kg CO<sub>2</sub> – Äquivalent (inklusive Entrindung). Für entrindetes Rundholz ergibt sich eine Bruttokohlenstoffbilanz von biogen gebundenem Kohlendioxid von -817 kg CO<sub>2</sub> – Äquivalent pro m<sup>3</sup> Holz bzw. 1,816 kg CO<sub>2</sub> – Äquivalent pro kg trockenem Holz.

Bei den nachfolgenden Angaben an treibhauswirksamen CO<sub>2</sub>-Äquivalentemissionen sind immer die Vorketten beginnend mit dem Forstprozess enthalten, es handelt sich also immer um die Gesamtsumme.

### **Sägewerk und Schnittholzproduktion**

Im Sägewerk werden aus Rundholz die gewünschten Holzprodukte mit entsprechenden Querschnitten und Längen hergestellt. Die Allokation der Umweltwirkungen auf die einzelnen Sägewerksprodukte erfolgt nach Marktpreisen bzw. ist in der Ecoinventdatenbank für jedes Produkt transparent dargestellt. Im Sägewerksprozess ist auch der Transport vom Wald in das Sägewerk inkludiert. Die treibhauswirksamen CO<sub>2</sub> – Emissionen aus dem Sägewerk werden mit insgesamt ca. 49 kg CO<sub>2</sub> – Äquivalent pro m<sup>3</sup> Holz inklusive Vorkette angegeben.

Zwischen unterschiedlichen Querschnitten (Balken oder Bretter verschiedener Dimensionen) wird nicht differenziert. Da bei der Schnittholzproduktion immer Koppelprodukte (Sägespäne, Seitenware usw.) entstehen spielt bei der Aufteilung der Umweltwirkungen die angewandte Allokationsmethode eine große Rolle.

### **Holztrocknung**

Für die erforderliche Trocknung der Holzprodukte entsprechend ihrer späteren Verwendung werden in Ecoinvent 2000 die in Mitteleuropa üblichen Trocknungsprozesse berücksichtigt.

Für luftgetrocknetes sägerauhes Schnittholz (von u=70 % getrocknet auf u=20 %) ab Werk ergeben sich aus fossilen Kohlendioxidemissionen ca. 54 kg CO<sub>2</sub> – Äquivalent pro m<sup>3</sup> Fichtenschnittholz inklusive Vorkette.

Für kammergetrocknetes sägerauhes Schnittholz (von u=70 % getrocknet auf u=20 %) ab Werk ergeben sich aus fossilen Kohlendioxidemissionen 63 kg CO<sub>2</sub> – Äquivalent pro m<sup>3</sup> Fichtenschnittholz inklusive Vorkette.

Für kammergetrocknetes sägerauhes Schnittholz (von u=70 % getrocknet auf u=10 %) ab Werk ergeben sich aus fossilen Kohlendioxidemissionen ca. 68 kg CO<sub>2</sub> – Äquivalent pro m<sup>3</sup> Holz inklusive Vorkette.

### **Hobelprozess**

Für glatte Oberflächen müssen die Werkstücke noch gehobelt werden. Für luftgetrocknetes gehobeltes Schnittholz ergeben sich dadurch aus fossilen Kohlendioxidemissionen ca. 79 kg CO<sub>2</sub> – Äquivalent pro m<sup>3</sup> Holz inklusive Vorkette, für kammergetrocknetes gehobeltes Schnittholz ergeben sich dadurch aus fossilen Kohlendioxidemissionen 95 kg CO<sub>2</sub> – Äquivalent pro m<sup>3</sup> Holz inklusive Vorkette.

### **Holzwerkstoffe**

Für Holzwerkstoffe werden ebenfalls die Werte aus der Ecoinvent 2000 Datenbank herangezogen. Je nach Allokationsmethode und damit verbundener Aufteilung der Umweltbelastungen auf die einzelnen Koppelprodukte wie Schnittholz, Seitenware, Rinde, Sägespäne und Sägemehl und der gewählten Methode der Bilanzierung der Umweltwirkungen ergeben sich die CO<sub>2</sub> – Äquivalente für die einzelnen Produkte. Bei Holzwerkstoffen ist auch mit zu denken, dass in 1 m<sup>3</sup> Holzwerkstoff oft mehr als 1 m<sup>3</sup> natürliches Holz verarbeitet wird, was sich in deutlich höheren Rohdichten ausdrückt. Daher können in 1 m<sup>3</sup> Holzwerkstoff mehr CO<sub>2</sub>-Äquivalente gespeichert werden als in 1 m<sup>3</sup> Naturholz (siehe auch Tabelle 6-11).

Damit ergeben sich für die verschiedenen Holzprodukte und Holzwerkstoffe abhängig vom Bearbeitungsaufwand, Allokationsmethode, Wirkungsabschätzungsmethode und damit verbundener treibhauswirksamer CO<sub>2</sub> – Äquivalent Emissionen folgende Kohlendioxidspeichermengen:

Tabelle 6-11 Gespeicherte CO<sub>2</sub> – Äquivalenzwerte in verschiedenen Schnittholzprodukten und Holzwerkstoffen laut der Datenbank Ecoinvent 2000 [Frischknecht und Jungbluth et al. 2004] und gemäß Wirkungsbilanzdaten nach CML 2001 [Guinée et al., 2001]. Trockenrohdichten nach [Gann und Zegler 2002].

Fichtenholz	GWP 100a [kg CO <sub>2</sub> – Eq/m <sup>3</sup> ]	Dichte [kg <sub>atro</sub> /m <sup>3</sup> ]	GWP 100a [kg CO <sub>2</sub> – Eq/kg <sub>atro</sub> ]
Im Wald stehend, mit Rinde	-895,85	430	-2,076
Rundholz, mit Rinde ab Forststraße	-883,05	430	-2,054
Rundholz, entrindet, ab Forststraße	-798,73	430	-1,858
Schnittholz sägerauh, luftgetrocknet u=20 %, ab Werk	-754,25	430	-1,754
Schnittholz sägerauh kammergetrocknet u=10 %, ab Werk	-741,94	430	-1,725
Schnittholz, luftgetrocknet, gehobelt, ab Werk	-727,38	430	-1,692
Schnittholz, kammergetrocknet, gehobelt, ab Werk	-713,74	430	-1,660
Holzwerkstoffe	GWP 100a [kg CO <sub>2</sub> – Eq/m <sup>3</sup> ]	Dichte [kg <sub>atro</sub> /m <sup>3</sup> ]	GWP 100a [kg CO <sub>2</sub> – Eq/kg <sub>atro</sub> ]
Spanplatte, Innenanwendung, ab Werk	-929,14	642	-1,447
Sperrholz, Innenanwendung, ab Werk	-678,52	430	-1,578
Brettschichtholz, Innenanwendung, ab Werk	-601,26	430	-1,398
OSB – Platte, ab Werk	-592,16	610	-0,971

### Anteilige Transporte:

Die in Ecoinvent 2001 angegebenen Inventardaten beinhalten alle CO<sub>2</sub> – relevanten Emissionsdaten bis zur fertigen Produktion der in dieser Studie behandelten Holzprodukte. Das heißt, dass die Transporte zur Einbaustelle, mit eventuell dazwischen liegenden Stopps im Fall von Vorfertigungsprozessen, ebenfalls in Rechnung gestellt werden müssen, was in dieser Studie ebenfalls mittels Ecoinvent 2001 geschieht. Dabei wird die Annahme getroffen, dass das Holz in Niederösterreich oder der Steiermark zu Schnittholz verarbeitet und anschließend nach Wien transportiert wird. Die Markteinflüsse und daraus resultierende Import- und Exportaktivitäten mit entsprechend größeren Transportendistanzen werden im Rahmen der Fallstudie nicht berücksichtigt. Pro Tonnenkilometer [tkm] erfolgtem Transport werden 0,2231 kg an CO<sub>2</sub> – Äquivalenten emittiert.

### Vorfertigungsprozesse, Einbau des Holzes in Gebäude

Holzelemente werden oft in Zimmereibetrieben vorgefertigt und anschließend auf der Baustelle versetzt und montiert. Der Aufwand dafür muss ebenfalls eingerechnet werden und beträgt im Holzbau ca. 9 kg CO<sub>2</sub> – Äquivalente pro Quadratmeter Nutzfläche [Pohlmann 2002].

### Nutzungsdauer und Aufwand für Sanierung und Wartung

Die Nutzungsdauer ist je nach Verwendungsart und Beanspruchung des Holzes im Bauwesen sehr unterschiedlich. Für Bauholz, welches als Verschnitt (Abfall) anfällt bzw. nur als Hilfsmittel (Schalung, Stützmittel usw.) auf Baustellen verwendet wird, beträgt die Lebensdauer in der Regel weniger als ein Jahr, die Speicherdauer ist in diesem Fall nicht von Relevanz.

Wird Holz aber auf Dauer in ein Bauwerk eingebaut, so ergibt sich für die Lebensdauer des eingebauten Teiles ein Speichereffekt. In der vorliegenden Arbeit wird die Speicherwirksamkeit im Fallbeispiel Wien durch eine Simulation der Entwicklung des Holzlagers in der Stadt für die nächsten 100 Jahre errechnet und interpretiert.

### **Rückbau oder Abbruch**

Am Ende der Nutzungsphase eines Gebäudes erfolgt entweder ein geordneter Rückbau mit dem Ziel der möglichst effizienten Wiederverwendung oder Verwertung der einzelnen Materialien oder ein konventioneller Abbruch. Auch beim Abbruch wird in die verschiedenen Materialien getrennt, die Wiederverwendung von Materialfraktionen ist jedoch aufgrund der zerstörenden Wirkung des Abbruchvorganges nur sehr eingeschränkt möglich. Der Aufwand für den Rückbau oder Abbruch muss in der Bilanz ebenfalls berücksichtigt werden.

### **Verwertung (stofflich oder thermisch) bzw. Entsorgung**

Die fossilen Emissionen für die Sammlung und Sortierung sowie alle anteiligen Transporte müssen in die Bilanz Eingang finden. Im Fall der stofflichen Verwertung werden die Transporte bis zur Verwertungsstelle berücksichtigt. Für die thermische Verwertung müssen einerseits die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Aufbereitung (Erzeugung von Hackschnitzeln oder Pellets) und durch den Verbrennungsprozess inkludiert werden. Um die Substitution fossiler Energieträger berücksichtigen zu können wird das System um den Prozess „Kraft-Wärme-Kopplung Wien“ in das System integriert. Es werden die in Wien verwendeten fossilen Energieträger (Erdgas, Heizöl) berücksichtigt. Hinsichtlich Aufteilung auf stoffliche und thermische Verwertung werden die für Wien geltenden Transferkoeffizienten recherchiert und in die Studie aufgenommen.

## **6.5.3 Regeln für eine nachhaltige Nutzung von Holz**

Die in diesem Kapitel aufgeworfenen Aspekte der Holznutzung im Bauwesen werden, auch im Sinne von Schlussfolgerungen für die vorliegende Arbeit, nachfolgend zusammengefasst.

In [Werner et al., 2003], woher auch die Inventardaten für die vorliegende Arbeit stammen, wird die nachhaltige Holzverwendung in folgenden Regeln zusammengefasst:

1. Die Holzproduktion in der Forstwirtschaft muss die qualitativen und quantitativen Kriterien einer nachhaltigen Forstwirtschaft berücksichtigen.
2. Effiziente und nachhaltige Bearbeitung und Verwendung von Holz als Material in der Holz verarbeitenden Industrie.
3. Vermeidung von chemischen Holzschutz wo es möglich ist (z.B. bei der konstruktiven Verwendung) und sorgfältige Auswahl von Additiven wie Beschichtungen, Klebstoffen, Anstrichen usw. (siehe auch Punkt 5).
4. Herstellung von leicht demontierbaren und trennbaren Produkten, um möglichst sortenreine Materialfraktionen für effektive stoffliche und thermische Verwertung in geeigneten Anlagen zu ermöglichen.
5. Das thermische Nutzungspotential für die Substitution nicht erneuerbarer Energieträger soll möglichst hoch gehalten werden.
6. Verwertung der Aschen aus der Verbrennung von Holz nach der letzten Nutzung nach Möglichkeit als Dünger in der Forstwirtschaft, wobei auf ökologische Verträglichkeit zu achten ist (Vermeidung von Schadstoffaustrag wie z.B. Schwermetalle usw.).

7. Nach der letzten stofflichen Nutzung sollte Holz thermisch zur Energieerzeugung genutzt werden, um fossile Energieträger zu ersetzen. Die dafür erforderliche Infrastruktur soll regional verfügbar sein, um Transporte von Altholz zu vermeiden.
8. Abhängig von regionalen Gegebenheiten und Erfordernissen sollte die Nutzungskaskade von der stofflichen Verwendung von Holz zur finalen thermischen Nutzung möglichst effizient gestaltet werden.
9. Maximierung der gespeicherten Holzmenge in langlebigen Produkten wie beispielsweise Bauwerken.

In der vorliegenden Arbeit werden die Erkenntnisse aus Kapitel 6, besonders bei der Wahl der Bauweisen und bei der ökologischen Bewertung, als Leitlinie heran gezogen.



## 7 Gängige Bauweisen in Wien und dazugehörige Materialmengen

In diesem Kapitel werden als Grundlage zur Ermittlung des Baumaterialeinsatzes in Wien 2001 die gängigen Bauweisen in Wien quantitativ analysiert. Anhand von konkreten Beispielen gebauter Wohn- und Bürohäuser wird für diese Bauweisen der Materialbedarf pro m<sup>2</sup> Nutzfläche errechnet.

Weiters werden die möglichen Bauweisen, welche den Einsatz von Holz im urbanen Raum ermöglichen, identifiziert und in gleicher Art anhand derselben Beispiele wie die gängigen Bauweisen quantitativ analysiert. Damit wird die Datengrundlage geschaffen, welche es dann im Fallbeispiel Wien ermöglicht, in Kombination mit statistischen Daten des Wiener Wohnbaues, die Baumaterialflüsse für den Ist-Stand 2001 – Szenario Eins - und für die Szenarien Zwei und Drei zu errechnen. Die Materialmengen werden auf die Nutzfläche bezogen, da aus der zugänglichen Statistik diese Größen relativ einfach und mit ausreichender Genauigkeit erfasst werden können. Für die Betrachtung der Gesamtheit des urbanen Systems für die Fallstudie Wien ist diese Vorgangsweise von ausreichender Genauigkeit.

Die verwendeten Flächenbegriffe orientieren sich an der ÖNORM B1800 sowie an den Definitionen der Studie von [Bröthaler et al. 2001] des Instituts für Finanzwissenschaften und Infrastrukturpolitik der TU - Wien.

Da Holzkonstruktionen gemäß der Wiener Bauordnung in mehrgeschossigen Bauwerken erst ab dem ersten Obergeschoß verwendet werden dürfen, weisen auch die Holzbauweisen mehrgeschossiger Wohn- und Bürobauten durch das mineralische Grundgeschoss einen relativ hohen mineralischen Baustoffanteil auf. Die unter der Kellergeschosdeckenoberkante befindlichen Bauteile werden unter der Kategorie Kellergeschoße eigens erfasst und in der Fallstudie ebenfalls berücksichtigt.

Die hier behandelten Bauweisen stammen aus der Literatur und aus ausgeführten Projekten, hauptsächlich aus an der Abteilung für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau durchgeführten Diplomarbeiten und dem Institut zur Verfügung stehenden Projektdokumentationen realisierter Bauvorhaben. Genauere Informationen über die Projekte können der Originalliteratur entnommen werden. Für diese Arbeit vorgenommene Änderungen und Erweiterungen können aus dem Anhang entnommen werden. Folgende Beispiele werden verwendet:

Im Rahmen einer Diplomarbeit [Müller 1997] wurde ein dreigeschoßiger Wohnbau in Holzskelettbauweise, Holzrahmenbauweise, Holzmassivbauweise und in mineralischer Massivbauweise (Ziegelwände und Betondecken) konstruktiv so durchgearbeitet, dass funktional äquivalente Gebäude entstanden. Das Projekt ist als Reihenhauanlage bestehend aus sechs gleichen Bauabschnitten mit je sechs Wohnungen mit Wohnnutzflächen zwischen 47 m<sup>2</sup> und 80 m<sup>2</sup> konzipiert. Die durchschnittliche Wohnnutzfläche beträgt 63,5 m<sup>2</sup> und liegt damit unter der durchschnittlichen Wohnungsgröße von 75 m<sup>2</sup> der 2001 neu errichteten Wohnungen in Wien [Statistik Austria 2003]. Die Massenermittlung wurde aus der Diplomarbeit im Wesentlichen übernommen, es wurden einige geringfügige Ergänzungen nach Überprüfung der Massenermittlung vorgenommen.

Das Objekt aus der Diplomarbeit Müller wurde, um die Lagerabschätzung und die Abschätzung der Materialflüsse aus Gebäudeabbrüchen genauer vornehmen zu können, noch in einer typischen Gründerzeitbauweise (tragende Wände aus altösterreichischen Normalformatziegeln, Kellerdecke als Platzlgewölbe, Geschossdecken als Holzbalkendecken, Decke zum aus Holz konstruiertem Dachgeschoss als Dippelbaumdecke) nachkonstruiert. Es wurde angenommen, dass 40 % des Gebäudes nachträglich saniert wurden, sodass die typische Materialzusammensetzung eines Gründerzeithauses simuliert wurde.

Aus einer weiteren Diplomarbeit [Nölte 2002] werden die Pläne einer fünfgeschossigen Wohnanlage entnommen und die Baustoffmassen für zwei unterschiedliche massive Betonbauweisen, eine Holzmassivbauweise und einer Mischbauweise aus Holz und Beton in jeweils zwei verschiedenen Varianten ermittelt. Die in [Nölte 2002] angewendete Mischbauweise mit Holzbeton wurde nicht übernommen, da diese technisch und ökologisch nicht sinnvoll umgesetzt werden kann. Zusätzlich wurden diese Varianten für diese Arbeit so adaptiert, dass die Erschließungsbereiche (Stiegenhäuser) und die Trennung der Brandabschnitte mittels massiven Betonkonstruktionen erfolgen.

Dadurch ergibt sich auch in Szenario 3 (Alles in Holzbauweisen) ein relativ hoher Anteil an mineralischen Baumaterialien, hauptsächlich Beton. Die Massenermittlung wurde für diese Arbeit neu durchgeführt und ist im Anhang dokumentiert.

Da in Wien, vor allem in den dichter verbauten Gebieten, die Gebäude durchwegs unterkellert sind, wurden ein Gründerzeitkellergeschoss und ein Kellergeschoss in Betonbauweise durchkonstruiert und die dazugehörigen Baumaterialmengen auf einen m<sup>2</sup> Kellerfläche bezogen.

### 7.1 Holzskelettbau

#### Beispiel 1:

Die Grundlage bildet die Diplomarbeit von [Müller 1997], die wichtigsten Daten eines Bauabschnitts sind:

*Tabelle 7-1: Flächenkennzahlen des Holzskelettbauens*

Brutto – Geschossfläche 457,08 m <sup>2</sup>		
Netto – Grundrissfläche 411,27 m <sup>2</sup>		Tara – Grundrissfläche 45,81 m <sup>2</sup>
Nutzfläche 381 m <sup>2</sup>	Verkehrsfläche 30,27 m <sup>2</sup>	

Das Verhältnis Wohnnutzfläche zu Brutto – Geschossfläche beträgt 0,834 bzw. die Wohnnutzfläche beträgt 83,4 % der Brutto – Geschossfläche.

## Gängige Bauweisen in Wien und dazugehörige Materialmengen

Tabelle 7-2: Baumaterialmengen für einen Holzskelettbau bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Kellergeschossdecke Unterkante).

Material	Anmerkung	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/BGF [kg/m²]
<b>Brettschichtholz Primärstruktur</b>						
BSH	Summe	8,648	430	3719	9,760	8,136
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	Große QS <sup>1</sup>	32,381	430	13924	36,546	30,460
Massivholz	Kleine QS	20,935	430	9002	23,627	19,695
Massivholz	Schalung	7,104	430	3055	8,017	13,490
Massivholz	Summe	67,658		29093	76,360	63,650
<b>Holzwerkstoffe Sekundärstruktur</b>						
Spanplatten		17,193	650	11175	29,332	24,450
<b>Beton Primärstruktur</b>						
Stahlbeton		27,425	2400	65820	172,755	144,000
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		22,506	2200	49513	129,956	108,325
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Armierung	0,349	7850	2742	7,198	6,000
Stahl	Verbindungsm.	0,080	7850	632	1,658	1,382
<b>Ziegel</b>						
Dachziegel		6,032	1800	10858	28,498	23,754
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		36,887	900	33198	87,135	72,631
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
Mineralwolle		128,204	28	3590	9,422	7,854
Trittschall Dp.		12,601	100	1260	3,307	2,757
PE-Folien		0,218	940	205	0,538	0,449
Pappe		0,640	1060	678	1,781	1,484
Sonstige	Summe	141,663		5733	15,048	12,544
Summe		328,442		212483	557,699	464,871

<sup>1</sup> QS Querschnitte

## 7.2 Holzrahmenbauweise

### Beispiel 1:

Die Grundlage bildet die Diplomarbeit von [Müller 1997], die wichtigsten Daten eines Bauabschnitts sind:

Tabelle 7-3: Flächenkennzahlen des Holzrahmenbaues

Brutto – Geschossfläche 457,08 m <sup>2</sup>		
Netto – Grundrissfläche 411,27 m <sup>2</sup>		Tara – Grundrissfläche 45,81 m <sup>2</sup>
Nutzfläche 381 m <sup>2</sup>	Verkehrsfläche 30,27 m <sup>2</sup>	

Das Verhältnis Wohnnutzfläche zu Brutto – Geschossfläche beträgt wie beim Holzskelettbau 0,834 bzw. die Wohnnutzfläche beträgt 83,4 % der Brutto – Geschossfläche.

## Gängige Bauweisen in Wien und dazugehörige Materialmengen

Tabelle 7-4 Baumaterialmengen für einen Holzrahmenbau bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Kellergeschossdecke Unterkante).

Material	Bauteil	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Dichte [kgatro/m <sup>3</sup> ]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m <sup>2</sup> ]	Masse/BGF [kg/m <sup>2</sup> ]
<b>Brettschichtholz Primärstruktur</b>						
BSH	Summe	2,770	430	1191	3,126	2,606
<b>Furnierschichtholz Primärstruktur</b>						
FSH	Summe	8,250	600	4950	12,992	10,830
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	Große QS	7,230	430	3109	8,160	6,802
Massivholz	Kleine QS	36,870	430	15854	41,612	34,686
Massivholz	Schalung	14,638	430	6298	16,530	13,779
Massivholz	Summe	58,747		25261	66,302	55,266
<b>Holzwerkstoffe Sekundärstruktur</b>						
Spanplatten		20,550	650	13358	35,059	29,224
<b>Beton Primärstruktur</b>						
Stahlbeton		27,425	2400	65820	172,755	144,000
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		22,214	2200	48871	128,270	106,920
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Armierung	0,349	7850	2742	7,198	6,000
Stahl	Verbindungs- m.	0,029	7850	227	0,596	0,497
<b>Ziegel</b>						
Dachziegel		6,032	1800	10858	28,498	23,754
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		37,540	900	33786	88,677	73,917
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
Mineralwolle		139,240	28	3899	10,233	8,530
TDP	Steinwolle	13,328	100	1333	3,498	2,916
PE-Folien		0,217	900	195	0,512	0,426
Pappe		0,631	1060	669	1,756	1,464
Dämmst.	Summe	153,416		6096	15,999	13,336
Summe	Gesamt	337,322		213158,651	559,472	466,349

)<sup>1</sup> QS = Querschnitte des Bauholzes.

### 7.3 Holzskelettbau kombiniert mit Massivholzwandelementen

In der Diplomarbeit von [Nölte 2002] wurde ein Architektenentwurf für ein fünfgeschoßiges Wohnhaus in Betonmassivbauweise als Holzbau mit mineralischem Erdgeschoss durchkonstruiert. Dabei wurde die in [Winter et al. 2001] entwickelte Holzbauweise für den verdichteten Wohnbau angewendet.

Tabelle 7-5 Flächenkennzahlen des Holzskelettbauwes mit Massivholzwandelementen

Brutto – Geschossfläche 1238,92 m <sup>2</sup>		
Netto – Grundrissfläche 1051,07 m <sup>2</sup>		Tara – Grundrissfläche 187,85 m <sup>2</sup>
Nutzfläche 810,7 m <sup>2</sup>	Verkehrsfläche 240,37 m <sup>2</sup>	

Das Verhältnis Wohnnutzfläche zu Brutto – Geschossfläche beträgt 0,654 bzw. die Wohnnutzfläche beträgt 65,4 % der Brutto – Geschossfläche.

## Gängige Bauweisen in Wien und dazugehörige Materialmengen

Tabelle 7-6 Baumaterialmengen für einen Holzskelettbau kombiniert mit Massivholzelementen bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Erdgeschossdecke Unterkante).

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/BGF [kg/m²]
<b>Brettschichtholz Primärstruktur</b>						
BSH	Summe	32,800	430	14104	17,397	11,384
<b>Furnierschichtholz Primärstruktur</b>						
FSH	Summe	28,410	600	17046	21,026	13,759
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	große QS	157,413	430	67688	83,493	54,634
Massivholz	kleine QS	20,840	430	8961	11,054	7,233
Massivholz	Schalung	7,550	430	3247	4,005	2,620
Massivholz	Summe	185,803		79895	98,551	64,488
<b>Holzwerkstoffe</b>						
OSB-Platten		37,040	610	22594	27,870	18,237
<b>Beton Primärstruktur</b>						
B300	Decken, Träge	44,940	2400	107856	133,041	87,056
Stahlbeton	Fertigteil	13,310	2500	33275	41,045	26,858
Beton	Summe	58,250		141131	174,085	113,915
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		70,580	2200	155276	191,533	125,332
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Verbindungsm.	0,292	7850	2293	2,829	1,851
Stahl	Armierung	0,673	7850	5280	6,513	4,262
Metallständer	Baustahl	0,192	7850	1509	1,861	1,218
Zinkblech		0,195	7200	1405	1,733	1,134
Stahl	Summe	1,157		10487	12,936	8,465
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		45,870	900	41283	50,923	33,322
Gipspachtel		0,605	1600	968	1,194	0,781
Haftmörtel kg		1,387	1600	2219	2,737	1,791
Armiermörtel		3,083	1800	5549	6,844	4,478
Armiergewebe		0,043	1500	65	0,080	0,052
Silikatgrund kg		0,035	1800	62	0,077	0,050
Silikatputz		0,616	1800	1109	1,368	0,895
Sandschüttung	0/4	62,970	1500	94455	116,510	76,240
Sonstige	Summe	114,609		145710	179,734	117,611
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
Mineralwolle	Dach	60,360	28	1690	2,085	1,364
Klemmfalz		99,770	28	2794	3,446	2,255
MW F	Dämmplatte	14,800	149	2205	2,720	1,780
Heraklith BM		16,090	400	6436	7,939	5,195
TDP Mineralw.		34,220	100	3422	4,221	2,762
EPS - Iso		0,660	16,5	11	0,013	0,009
EPS TDP		10,200	11	112	0,138	0,091
PE-Folien		0,364	940	342	0,422	0,276
PU-Dämmmatte	Sylomer	0,268	500	134	0,165	0,108
Pappe		0,302	1060	320	0,395	0,258
Dämmstoffe	Summe	237,034		17466	21,545	14,098
Summe	Gesamt	728,643		549966	744,678	487,288

## 7.4 Holzmassivbauweise: Brettstapel und Beton

### Beispiel 1:

Diplomarbeit [Müller 1997], die wichtigsten Daten eines Bauabschnitts sind:

Tabelle 7-7: Flächenkennzahlen des Holzmassivbaues

Brutto – Geschossfläche 468,6 m²		
Netto – Grundrissfläche 411,27 m²		Tara – Grundrissfläche 57,33 m²
Nutzfläche 381 m²	Verkehrsfläche 30,27 m²	

Das Verhältnis Wohnnutzfläche zu Brutto – Geschossfläche beträgt 0,813 bzw. die Wohnnutzfläche beträgt 81,3 % der Brutto – Geschossfläche.

Tabelle 7-8 Baumaterialmengen für eine Holzmassivbauweise (Brettstapel für Decken und Wände) bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Erdgeschossdecke Unterkante).

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kgatro/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/BGF [kg/m²]
<b>Brettschichtholz Primärstruktur</b>						
BSH	Summe	5,240	430	2253	5,914	4,808
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	Große QS	8,500	430	3655	9,593	7,800
Massivholz	Kleine QS	16,800	430	7224	18,961	15,416
Massivholz	Schalung	15,080	430	6484	17,019	13,838
Massivholz	Summe	40,380		17363,271	45,573	37,054
<b>Brettstapel Primärstruktur</b>						
Brettstapel	Decken, Wände	99,450	430	42764	112,240	91,258
<b>Holzwerkstoffe Sekundärstruktur</b>						
Spanplatten		5,860	650	3809	9,997	8,128
<b>Beton Primärstruktur</b>						
Stahlbeton	Decken	68,254	2400	163810	429,946	349,572
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Betonestrich		23,314	2200	51290	134,619	109,453
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Verbind.m.	0,140	7850	1098	2,883	2,344
Stahl	Armierung	0,709	7850	5562	14,598	11,869
Stahl	Summe	0,848		6660	17,481	14,213
<b>Ziegel</b>						
Dachziegel		6,032	1800	10858	28,498	23,170
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		25,270	900	22743	59,693	48,534
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
Mineralwolle		111,590	28	3125	8,201	6,668
TDP	Steinwolle	13,388	100	1339	3,514	2,857
PE-Folien		0,234	940	220	0,578	0,470
Pappe		0,654	1060	693	1,820	1,479
Dämmstoffe	Summe	125,866		5376,865	14,113	11,474
Summe	Gesamt	400,514		326925,966	858,073	697,665

**Beispiel 2:**

In der Diplomarbeit von [Nölte 2002] wird ein bestehender Entwurf eines fünfgeschossigen Wohnbaues in einem erweiterten Achsmaß von 7,50 m der tragenden Wände gemäß [Winter 2001] durchkonstruiert. Für die vorliegende Arbeit wird anstatt des als tragend verwendeten Holzleichtbetons eine konventionelle Brettstapelbauweise mit Holzbetonverbunddecken verwendet und die Konstruktion entsprechend adaptiert. Zusätzlich werden die Treppenhäuser und alle das Gebäude in Brandabschnitte untergliedernden Wände aus Stahlbeton konstruiert.

Tabelle 7-9: Flächenkennzahlen des Holzmassivbaues

Brutto – Geschossfläche 1238,92 m²		
Netto – Grundrissfläche 1082,49 m²		Tara – Grundrissfläche 156,43 m²
Nutzfläche 842,12 m²	Verkehrsfläche 240,37 m²	

Das Verhältnis Wohnnutzfläche zu Brutto – Geschossfläche beträgt 0,680 bzw. die Wohnnutzfläche beträgt 68,0 % der Brutto – Geschossfläche.

## Gängige Bauweisen in Wien und dazugehörige Materialmengen

Tabelle 7-10: Baumaterialmengen für eine Holzmassivmischbauweise (Brettstapel für Decken in Kombination mit Beton, die Wände sind als Kombination zwischen Massiv- und Skelettbauweise konzipiert) bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Erdgeschossdecke Unterkante).

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/BGF [kg/m²]
<b>Brettschichtholz Primärstruktur</b>						
BSH	Summe	19,560	430	8411	9,988	6,789
<b>Furnierschichtholz Primärstruktur</b>						
FSH	Summe	14,150	600	8490	10,082	6,853
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	große QS	71	430	30530	36,254	24,642
Massivholz	kleine QS	9,210	430	3960	4,703	3,197
Massivholz	Schalung Dach	7,550	430	3247	3,855	2,620
Massivholz	Summe	87,760		37737	44,812	30,459
<b>Brettstapel Decken</b>						
Brettstapel	Summe	194,400		83592	99,264	67,472
<b>Beton Primärstruktur</b>						
B300	Decken, Träge	196,300	2400	471120	559,445	380,267
B300	Wände	44,270	2400	106248	126,167	85,759
Fertigteile	Katzenb Decke	13,590	2500	33975	40,345	27,423
Beton	Summe	254,160		611343	725,957	493,448
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		56,400	2200	124080	147,342	100,152
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Verbindungsm.	0,258	7850	2026	2,406	1,635
Stahl	Armierung	2,058	7850	16153	19,181	13,038
Metallständer	Baustahl	0,098	7850	767	0,911	0,619
Zinkblech		0,195	7200	1405	1,669	1,134
Stahl	Summe	2,414		20352	24,167	16,427
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		21,540	900	19386	23,020	15,647
Gipspachtel		0,332	1600	531	0,630	0,428
Gipsma.putz		2,850	1600	4560	5,415	3,681
Haftmörtel kg		1,387	1600	2219	2,635	1,791
Armiermörtel		3,085	1800	5553	6,594	4,482
Armiergewebe		0,043	1500	65	0,077	0,052
Silikatgrund kg		0,035	1800	63	0,075	0,051
Silikatputz		0,617	1800	1111	1,319	0,896
Sandschüttung	0/4	5,220	1500	7830	9,298	6,320
Sonstige	Summe	35,109		41318	49,064	33,350
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
Mineralwolle	Dach	60,360	28	1690	2,007	1,364
MW Klemmfiz		55,900	28	1565	1,859	1,263
MW - F	Dämmplatte	10,430	149	1554	1,845	1,254
Heraklith BM		11,350	400	4540	5,391	3,664
TDP Mineralw.		32,400	100	3240	3,847	2,615
EPS - Iso		13,110	16,5	216	0,257	0,175
EPS TDP		12,340	11	136	0,161	0,110
PE-Folien		0,494	940	464	0,551	0,375
PU-Dämmmatte	Sylomer	0,076	500	38	0,045	0,031
Pappe		0,302	1060	320	0,380	0,258
Dämmstoffe	Summe	196,762		13764	16,344	11,109
Summe	Gesamt	666,314		848593	1027,756	698,587

## 7.5 Massivbauweise: Ziegel und Beton

### Beispiel 1:

Diplomarbeit [Müller 1997], die wichtigsten Daten eines Bauabschnitts sind:

Tabelle 7-11: Flächenkennzahlen des Holzmassivbaues

Brutto – Geschossfläche 480,9 m²		
Netto – Grundrissfläche 411,27 m²		Tara – Grundrissfläche 69,63 m²
Nutzfläche 381 m²	Verkehrsfläche 30,27 m²	

Das Verhältnis Wohnnutzfläche zu Brutto – Geschossfläche beträgt 0,792 bzw. die Wohnnutzfläche beträgt 79,2 % der Brutto – Geschossfläche.

Tabelle 7-12 Baumaterialmengen für eine Ziegelbauweise (Beton für, Wände in Poroton Ziegeln) bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Erdgeschossdecke Unterkante).

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/BGF [kg/m²]
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	Kleine QS	6,110	430	2627	6,896	5,463
	Schalung	4,584	430	1971	5,174	4,099
<b>Massivholz</b>	<b>Summe</b>	<b>10,694</b>		<b>4599</b>	<b>12,070</b>	<b>9,562</b>
<b>Beton Primärstruktur</b>						
Stahlbeton	Decken	130,147	2400	312353	819,825	649,518
Magerbeton	Decken	9,000	2400	21600	56,693	44,916
<b>Beton</b>	<b>Summe</b>	<b>139,147</b>		<b>333953</b>	<b>876,518</b>	<b>694,434</b>
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		21,000	2200	46200	121,260	96,070
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Armierung	1,545	7850	12131	31,839	25,225
Metallständer		0,150	7850	1178	3,091	2,449
<b>Stahl</b>	<b>Summe</b>	<b>1,695</b>		<b>13308</b>	<b>34,930</b>	<b>27,674</b>
<b>Ziegel</b>						
Porotherm	Außenwand	125,470	750	94103	246,988	195,680
Systemziegel	Treppenhaus	12,470	1650	20576	54,004	42,785
Schallsch.zieg	Trennwand	26,890	1400	37646	98,808	78,282
Dachziegel		6,032	1800	10858	28,498	22,578
<b>Ziegel</b>	<b>Summe</b>	<b>170,862</b>		<b>163182</b>	<b>428,298</b>	<b>339,325</b>
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		6,430	900	5787	15,189	12,034
Mauermörtel	Außen - Perlite	12,547	650	8156	21,406	16,959
Gipsma.putz		7,314	1600	11702	30,715	24,334
Silikatputz		1,140	1800	2053	5,387	4,268
Leichtputz		11,403	700	7982	20,950	16,598
Zementvorspritzer		2,661	1800	4789	12,570	9,959
Fliesen		0,035	2000	69	0,181	0,143
<b>Sonstige</b>	<b>Summe</b>	<b>41,530</b>		<b>40538</b>	<b>106,399</b>	<b>84,296</b>
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
Mineralwolle		62,830	28	1759	4,617	3,658
TDP	EPS	12,600	100	1260	3,307	2,620
PE-Folien		0,132	940	124	0,326	0,259
Pappe		0,200	1060	212	0,556	0,441
<b>Summe</b>	<b>Dämmst. Kst.</b>	<b>75,762</b>		<b>3356</b>	<b>8,807</b>	<b>6,978</b>
<b>Summe</b>	<b>Gesamt</b>	<b>460,691</b>		<b>605135,200</b>	<b>1588,281</b>	<b>1258,339</b>

## 7.6 Massivbauweise: Beton

### Beispiel 1:

Schottenwandbauweise mit einem Achsabstand der tragenden Wandscheiben von 3,75 m. Diplomarbeit [Nölte 2002], die wichtigsten Daten eines Bauabschnitts sind:

Tabelle 7-13: Flächenkennzahlen des Betonmassivbaues

Brutto – Geschossfläche 1238,92 m²		
Netto – Grundrissfläche 411,27 m²		Tara – Grundrissfläche 193,19 m²
Nutzfläche 805,36 m²	Verkehrsfläche 240,37 m²	

Das Verhältnis Wohnnutzfläche zu Brutto – Geschossfläche beträgt 0,650 bzw. die Wohnnutzfläche beträgt 65,0 % der Brutto – Geschossfläche.



## Gängige Bauweisen in Wien und dazugehörige Materialmengen

Tabelle 7-14 Baumaterialmengen für eine Betonbauweise mit Fertigteilelementen, welche mit Transportbeton vergossen werden (System Katzenberger) bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Erdgeschossdecke Unterkante).

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/BGF [kg/m²]
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	große QS	6,866	430	2952	3,666	2,383
Massivholz	kleine QS	0,032	430	14	0,017	0,011
	Schalung Dach	7,600	430	3268	4,058	2,638
<b>Massivholz</b>	<b>Summe</b>	<b>14,498</b>		<b>6234,140</b>	<b>7,741</b>	<b>5,032</b>
<b>Beton Primärstruktur</b>						
B300	Decken, Träge	226,810	2400	544344	675,901	439,370
B300	Wände	92,470	2400	221928	275,564	179,130
Fertigteile	Katzenb Decke	174,000	2500	435000	540,131	351,112
<b>Beton</b>	<b>Summe</b>	<b>493,280</b>		<b>1201272,000</b>	<b>1491,596</b>	<b>969,612</b>
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		50,960	2200	112112	139,207	90,492
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Verbindungs m.	0,005	7850	39	0,048	0,031
Stahl	Armierung	4,083	7850	32048	39,794	25,868
Metallständer	Baustahl	0,163	7850	1280	1,589	1,033
Zinkblech		0,023	7200	164	0,204	0,133
<b>Stahl</b>	<b>Summe</b>	<b>4,251</b>		<b>33367,075</b>	<b>41,431</b>	<b>26,932</b>
<b>Ziegel</b>						
Düwaziegel	Schächte 10	16,230	1160	18827	23,377	15,196
<b>Ziegel</b>	<b>Summe</b>	<b>16,230</b>		<b>18827</b>	<b>23,377</b>	<b>15,196</b>
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		11,561	900	10405	12,920	8,398
Gipsspachtel		3,226	1600	5162	6,410	4,167
Gipsma. putz		8,107	1600	12971	16,106	10,470
Haftmörtel kg		1,652	1600	2644	3,282	2,134
Armiermörtel		3,875	1800	6975	8,661	5,630
Armiergewebe		0,053	1500	79	0,098	0,064
Silikatgrund kg		0,041	1800	74	0,092	0,060
Silikatputz		0,879	1800	1582	1,965	1,277
Sandschüttung	0/4	20,400	1500	30600	37,995	24,699
Kiesschüttung	16/32	28,600	1500	42900	53,268	34,627
<b>Sonstige</b>	<b>Summe</b>	<b>78,395</b>		<b>113392,731</b>	<b>140,798</b>	<b>91,525</b>
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
MW Klemmfilz		29,560	28	828	1,028	0,668
EPS - F		56,860	16,5	938	1,165	0,757
XPS	Dach	57,220	36,5	2089	2,593	1,686
EPS TDP		40,800	11	449	0,557	0,362
PE-Folien		0,317	940	298	0,370	0,240
Pappe		0,858	1060	910	1,130	0,734
<b>Dämmst. U. K</b>		<b>185,615</b>		<b>5511</b>	<b>6,843</b>	<b>4,448</b>
<b>Summe</b>	<b>Gesamt</b>	<b>843,229</b>		<b>1490715,600</b>	<b>1850,993</b>	<b>1203,238</b>

### Beispiel 2:

Schottenwandbauweise mit einem Achsabstand der tragenden Wandscheiben von 7,50 m. Diplomarbeit [Nölte 2002], die wichtigsten Daten eines Bauabschnitts sind:

Tabelle 7-15: Flächenkennzahlen des Betonmassivbaues

Brutto – Geschossfläche 1238,92 m²		
Netto – Grundrissfläche 411,27 m²		Tara – Grundrissfläche 163,30 m²
Nutzfläche 835,25 m²	Verkehrsfläche 240,37 m²	

Das Verhältnis Wohnnutzfläche zu Brutto – Geschossfläche beträgt 0,674 bzw. die Wohnnutzfläche beträgt 67,41 % der Brutto – Geschossfläche.

Tabelle 7-16: Baumaterialmengen für eine Betonbauweise mit Fertigteilelementen, welche mit Transportbeton vergossen werden (System Katzenberger) bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Erdgeschossdecke Unterkante).

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/BGF [kg/m²]
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	große QS	6,866	430	2952	3,535	2,383
Massivholz	kleine QS	0,032	430	14	0,016	0,011
Massivholz	Schalung Dach	7,600	430	3268	3,913	2,638
Massivholz	<b>Summe</b>	<b>14,498</b>		<b>6234,140</b>	<b>7,464</b>	<b>5,032</b>
<b>Beton Primärstruktur</b>						
B300	Decken, Träge	341,630	2400	819912	981,637	661,796
B300	Wände	66,540	2400	159696	191,195	128,899
Fertigteile	Katzenb Decke	144,150	2500	360375	431,457	290,879
Beton	<b>Summe</b>	<b>552,320</b>		<b>1339983</b>	<b>1604,290</b>	<b>1081,573</b>
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		52,320	2200	115104	137,808	92,907
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Verbindungs- m.	0,006	7850	48	0,058	0,039
Stahl	Armierung	5,413	7850	42493	50,875	34,298
Metallständer	Baustahl	0,184	7850	1448	1,733	1,168
Zinkblech		0,023	7200	164	0,197	0,133
Stahl	<b>Summe</b>	<b>5,604</b>		<b>44153</b>	<b>52,863</b>	<b>35,639</b>
<b>Ziegel</b>						
Düwaziegel	Schächte 10	16,240	1160	18838	22,554	15,206
Ziegel	<b>Summe</b>	<b>16,240</b>		<b>18838</b>	<b>22,554</b>	<b>15,206</b>
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		14,210	900	12789	15,312	10,323
Gipsspachtel		3,251	1600	5202	6,228	4,199
Gipsma. putz		4,620	1600	7392	8,850	5,966
Haftmörtel kg		1,652	1600	2644	3,165	2,134
Armiermörtel		3,875	1800	6975	8,351	5,630
Armiergewebe		0,053	1500	79	0,095	0,064
Silikatgrund kg		0,041	1800	74	0,089	0,060
Silikatputz		0,879	1800	1582	1,894	1,277
Sandschüttung	0/4	20,930	1500	31395	37,588	25,341
Kiesschüttung	16/32	28,600	1500	42900	51,362	34,627
Sonstige	<b>Summe</b>	<b>78,112</b>		<b>111032</b>	<b>132,933</b>	<b>89,620</b>
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
MW Klemmfilz		33,350	28	934	1,118	0,754
EPS - F		56,860	16,5	938	1,123	0,757
XPS	Dach	57,220	36,5	2089	2,500	1,686
EPS TDP		41,850	11	460	0,551	0,372
PE-Folien		0,321	940	302	0,361	0,243
Pappe		0,858	1060	910	1,089	0,734
Dämmstoffe	<b>Summe</b>	<b>190,459</b>		<b>5632</b>	<b>6,743</b>	<b>4,546</b>
<b>Summe</b>	<b>Gesamt</b>	<b>910</b>		<b>1640978</b>	<b>1964,654</b>	<b>1324,523</b>

## 7.7 Historische Ziegelbauweise mit Holztramdecken

Für die Lagerabschätzung und der daraus fließenden Abfallströme wurde auch eine für Wien typische Konstruktion baumaterialmengenmäßig erfasst. Die Wände sind aus gebrannten Ziegeln im Altösterreichischen Format (AÖF) hergestellt, die Kellerdecke als Platzlgewölbe mit Stahlträgern, die Geschossdecken als Holztramdecken und schließlich die Dachgeschossdecke als Dippelbaumdecke ausgeführt. Das Gebäude repräsentiert somit ein durchschnittliches Bauwerk aus der Zeit vor dem 1. Weltkrieg. Für die Baumaterialberechnung wurde angenommen, dass 40 % des Gebäudes saniert wurden (vor allem die Sanitärbereiche).

## Gängige Bauweisen in Wien und dazugehörige Materialmengen

Tabelle 7-17: Baumaterialmengen für eine historische Ziegelbauweise mit Holztramdecke, bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Erdgeschossdecke Unterkante) und mit Kellergeschoss.

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kgat/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²] (mit Keller)	Masse/BGF [kg/m²]	Masse/Nutzfläche [kg/m²] (ohne Keller)
<b>Massivholz</b>							
Massivholz	große QS	60,420	430	25981	51,143	31,378	51,143
Massivholz	kleine QS	11,130	430	4786	9,421	5,780	9,421
Stilf	Putzträger	2,800	200	560	1,102	0,676	1,102
Massivholz	Schalung	36,100	430	15523	30,557	18,748	30,557
Massivholz	Summe	110,450		46850	92,223	56,582	92,223
<b>Beton Primärstruktur</b>							
Stahlbeton	Decken	20,630	2500	51575	101,526	62,289	8,022
Magerbeton	Decken	4,130	2400	9912	19,512	11,971	2,976
Beton	Summe	24,760		61487	121,037	74,260	10,998
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>							
Zementestrich		11,200	2200	24640	48,504	29,758	48,504
<b>Stahl Primärstruktur</b>							
Stahl	Verbindungsm.	0,064	7850	506	0,997	0,611	0,997
Stahl	Walzprofile	0,785	7850	6164	12,134	7,445	12,134
Metallständer		0,011	7850	85	0,166	0,102	0,166
Stahl	Summe	0,861		6755	13,297	8,158	13,297
<b>Ziegel</b>							
Ziegel	AÖF	464,510	1800	836118	1645,902	1009,804	1354,606
Porenton		3,200	1650	5280	10,394	6,377	10,394
Dachziegel		6,032	1800	10858	21,373	13,113	21,373
Ziegel	Summe	473,742		852256	1677,669	1029,294	1386,373
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>							
Gipskarton		1,000	900	900	1,772	1,087	1,772
Naturstein		11,080	2200	24376	47,984	29,440	10,524
Kies		33,000	1500	49500	97,441	59,783	0,000
Sandschüttung		58,800	1500	88200	173,622	106,522	132,283
Mauermörtel	KZM	74,320	1800	133776	263,339	161,565	220,854
Gips Putz		0,015	1600	24	0,047	0,029	0,047
Kalkputz		37,430	1800	67374	132,626	81,370	81,370
Dünnputz		0,400	1800	720	1,417	0,870	1,417
Zementvorspritzer		5,290	1800	9522	18,744	11,500	18,744
Sonstige	Summe	221,335		374392	736,992	452,164	467,011
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>							
Mineralwolle		14,000	28	392	0,772	0,473	0,772
TDP	EPS	11,200	100	1120	2,205	1,353	2,205
PE-Folien		0,450	940	423	0,833	0,511	0,833
Pappe		0,280	1060	297	0,584	0,358	0,584
Summe	Dämmst. Kst.	25,930		2232	4,393	2,695	4,393
Summe	Gesamt	868,278		1368611,006	2694,116	1652,912	2022,801

Im Rahmen einer Studie über Abbruchmaterialien aus Gründerzeithäusern kommt [Maydl 1993] anhand der Analyse mehrerer Gründerzeitbauten auf ca. 350 kg Ziegelmauerwerk und ca. 11 kg Holz pro m³ umbauten Raum. Das hier analysierte Gebäude (4 Obergeschoße) ergibt ca. 14 kg Holz und 257 kg Ziegel pro m³ umbauten Raum. Die Größenordnung ist vergleichbar und daher ist für die Studie ausreichende Genauigkeit gegeben.

### 7.8 Kellergeschoss in Betonbauweise

Auf Basis des Grundrisses der Betonbauweise mit einem Achsabstand der tragenden Wandscheiben von 7,50 m [Nölte 2002] wurde ein Kellergeschoss in Betonbauweise konstruiert und die Baumaterialmassen dafür ermittelt.

Für alle Szenarien werden die Kellergeschoße identisch angenommen.

## Gängige Bauweisen in Wien und dazugehörige Materialmengen

Tabelle 7-18 Durchschnittlicher Materialbedarf für ein Kellergeschoss in Betonbauweise.

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/Kellerfläche [kg/m²]
<b>Beton Primärstruktur</b>						
B300	Decken, Träge	2,140	2400	5136	6,149	16,582
B300	Wände	75,230	2400	180552	216,165	582,934
	Bodenplatte	90,540	2400	217296	260,157	701,566
	Fundament	40,220	2400	96528	115,568	311,652
<b>Beton</b>	<b>Summe</b>	<b>208,130</b>		<b>499512</b>	<b>598,039</b>	<b>1612,734</b>
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		15,090	2200	33198	<b>39,746</b>	<b>107,184</b>
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Armierung	1,920	7850	15073	18,046	48,665
<b>Stahl</b>	<b>Summe</b>	<b>1,920</b>		<b>15073</b>	<b>18,046</b>	<b>48,665</b>
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipsspachtel		0,370	1600	592	0,709	1,911
Sandschüttung	0/4	9,034	1500	13551	16,224	43,751
Kiesschüttung	16/32	60,360	1500	90540	108,399	292,319
<b>Sonstige</b>	<b>Summe</b>	<b>69,764</b>		<b>104683</b>	<b>125,331</b>	<b>337,981</b>
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
XPS	Außenwand	14,900	36,5	544	0,651	1,756
EPS TDP		15,090	11	166	0,199	0,536
PE-Folien		0,121	940	114	0,136	0,367
Pappe		0,974	1060	1032	1,236	3,333
<b>Dämmstoffe</b>	<b>Summe</b>	<b>31,085</b>		<b>1856</b>	<b>2,222</b>	<b>5,992</b>
<b>Summe</b>	<b>Gesamt</b>			<b>621124</b>	<b>744</b>	<b>2113</b>

## **8 Methodische Grundlagen und Beschreibung der neuen Methode**

In diesem Kapitel werden entsprechend dem Untersuchungsrahmen der Studie die methodischen Grundlagen für die Entwicklung der Methodik für die Fallstudie Wien erarbeitet. Es werden die als Basis dienenden Methoden zur Erfassung, Bewertung und Steuerung ausgewählt und beschrieben sowie die Vorgangsweise bei der Datenermittlung festgelegt.

1. Auswahl und Beschreibung der konkret angewendeten Methoden zur Datenerfassung und Bewertung. Dabei handelt es sich um die Erarbeitung der methodischen Basis für die Erfassung und Bewertung.
2. Auswahl der Bewertungskriterien und Bewertungsindikatoren. Dabei handelt es sich um einen iterativen Arbeitsschritt in Verbindung mit der Entwicklung der Methodik, der Datenerfassung und Dateninterpretation sowie mit der Systemanalyse.
3. Schrittweise Formulierung der Bewertungsmethode parallel zu den unter Punkt 2 genannten Arbeitsschritten am Fallbeispiel der Stadt Wien.
4. Definition und Beschreibung des Systems (Systemanalyse) der Stadt Wien.
5. Beschreibung der untersuchten Prozesse und Erfassung der benötigten Daten. Erstellung der Baumaterialbilanz des Ist-Standes für das Jahr 2001 (Szenario 1).
6. Erarbeitung der alternativen Szenarien „maximale Verwendung von Holz gemäß Bauordnung“ (Szenario 2) und „alles in Holz (misch) Bauweisen“ (Szenario 3).
7. Bewertung der drei Szenarien.
8. Schlussfolgerungen und Ausblick.

Die getroffenen Annahmen und Abschätzungen bieten eine ausreichende Genauigkeit für die Beantwortung der Fragestellung in dieser Studie. Nämlich der Entwicklung und Formulierung einer Bewertungsmethodik und deren Überprüfung auf Plausibilität und Anwendbarkeit sowie die Abschätzung der Auswirkungen eines verstärkten Holzeinsatzes im Wohn- und Bürobau auf die Umwelt in der Stadt Wien. Dabei wird dem Treibhauseffekt besonderes Augenmerk geschenkt. Die Gültigkeit der Annahmen und Abschätzungen für andere Fragestellungen und Rahmenbedingungen wie zum Beispiel der Implementierung eines konkreten Ressourcenmanagement Systems ist besonders hinsichtlich der Genauigkeit der verwendeten Daten zu überprüfen. Konkrete Schlussfolgerungen und Empfehlungen dazu werden im Kapitel Schlussfolgerungen (12) gezogen.

### **8.1 Die verwendeten Methoden zur Erfassung und Bewertung**

Im folgenden Abschnitt werden die zur Erfassung und Bewertung verwendeten Methoden beschrieben. Die Auswahl der Methoden wurde bereits in Kapitel 5.1 erarbeitet.

Systembeschreibung und Datenerfassung werden gemäß der Methode der Stoffflussanalyse nach [Baccini & Brunner 1991] vorgenommen.

Die Auswahl der Bewertungsmethoden hängt stark mit der Zielsetzung und Fragestellung und damit mit den gewählten Bewertungsindikatoren zusammen. Die Begründung der Methodenauswahl ist bereits in Kapitel 5.1.5 erfolgt und wird in Kapitel 8.2 bei der Auswahl der

Bewertungsparameter und der Methodenentwicklung noch konkretisiert. Für die Bewertung wird eine eigene Vorgehensweise entwickelt, welche auf der Stoffflussanalyse und dem Wirkungsorientierten Ansatz der Methode CML 2001 [Guineé et al. 2001] und [Heijungs 1992] basiert. Außerdem gelten die Empfehlungen und Handlungsanweisungen der ISO 14040 ff.

Die in Kapitel 4 beschriebenen Aspekte zur Nachhaltigkeit im Sinne langfristiger Umweltverträglichkeit dienen für die Bewertung als Leitbild. Dies gilt besonders für den Einsatz des in dieser Arbeit im Zentrum stehenden Baumaterials Holz.

### 8.1.1 Die Stoffflussanalyse

Wie in Kapitel 5.1.5 bereits erwähnt ist die Stoffflussanalyse für die Beschreibung des Systems und die Erfassung und Darstellung der wichtigsten Baumaterialflüsse (Güter- und Stoffflüsse) ein geeignetes und vielfach erfolgreich eingesetztes Instrument und wird nachfolgend beschrieben. Die Ergebnisse der Stoffflussanalyse in Form des Systembildes und der damit dargestellten Material- und Stoffflüsse sowie dessen Interpretation werden auch in der Bewertung als wichtige Zusatzinformation eingesetzt (Siehe Kapitel 8.4).

Die Stoffflussanalyse ist im Buch „Metabolism of the Anthroposphere“ [Baccini & Brunner 1991] beschrieben und wurde an der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) entwickelt.

In einer Stoffbilanz / Stoffflussanalyse werden die Input- und Outputflüsse eines Systems bilanziert, wobei die Lagerveränderungen berücksichtigt werden. Diese Methodik beschreibt mittels technisch-naturwissenschaftlicher Kriterien möglichst gesamtheitlich die Prozesse, die Güter- und Stoffflüsse, die Lager und deren Veränderung in einem bestimmten, wohl definierten System. Für das System gelten die physikalischen Grundgesetze der Massen- und Energieerhaltung.

#### **Begriffsdefinitionen der Stoffflussanalyse:**

**Stoffe:** Chemische Elemente oder chemische Verbindungen (z.B.: C, CO<sub>2</sub>,...).

**Güter:** Stoffe oder Stoffgemische, die gehandelt werden können und einen positiven oder negativen Handelswert haben (z.B. Wasser, Gas, Baumaterial, Baurestmassen...).

**Prozess:** Die Umwandlung, der Transport, der Einbau oder die Lagerung von Gütern oder Stoffen.

**Fluss:** Transport von einem Stoff oder Gut zwischen zwei Prozessen; die Einheit ist Masse/Zeit, z.B. t/a.

**Flux:** Fluss eines Stoffes oder einer Energiemenge über einen bestimmten Querschnitt (Einheitsquerschnitt). Die Einheit ist Masse/Zeit und Querschnitt, z.B. t/a.m<sup>2</sup>

**System:** Eine räumlich und zeitlich abgegrenzte Einheit von Prozessen, die für die behandelte Fragestellung wesentlich sind, inklusive der Flüsse zwischen den Prozessen.

**Input, Output:** Stoffflüsse innerhalb des Systems in bzw. aus einem Prozess.

**Import, Export:** Stoffflüsse über die Systemgrenze in bzw. aus einem System.

**Transferkoeffizienten:** Die Grundlage der Stoffflussanalyse ist der Massenerhaltungssatz. Die Bilanz über einen Prozess kann durch die Gleichung

$$\sum a_i = \sum b_i \quad (2)$$

$a_i$ ...Inputstoff oder –gut (Edukt)

$b_i$ ...Outputstoff oder –gut (Produkt)

dargestellt werden. Der Prozess selbst wird meist als „Black Box“ angenommen, das heißt die Vorgänge innerhalb des Prozesses werden in der Regel nicht untersucht.

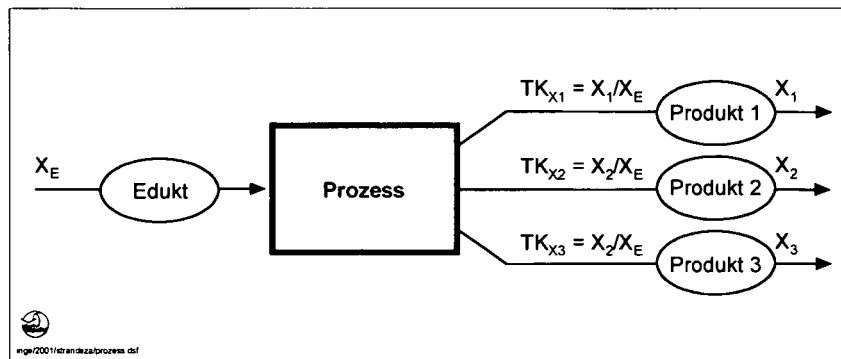


Abbildung 8-1: Ermittlung der Transferkoeffizienten (TK)

Die Transferkoeffizienten (TK) geben die Verteilung des Inputgutes oder –stoffes (Edukt) auf die Outputgüter oder –stoffe (Produkte) an.

$$TK_{X_i} = X_i / X_E \quad (3)$$

Aus dem Massenerhaltungssatz resultiert für einen Prozess

$$\sum TK = 1 \quad (4)$$

Die Erfassung der Güter- und Stoffflüsse hat im Rahmen dieser Studie so zu erfolgen, dass daraus auch die entsprechende Sachbilanz für die Bewertung erstellt werden kann.

### 8.1.2 CML – Methode

Bei der auswirkungsorientierten CML - Methode [Heijungs et al., 1992] und deren Weiterentwicklung zur CML – 2001 Methode [Guineé et al. 2001] vom Centre of Environmental Science (CML – Centrum voor Milieukunde Leiden), Holland, werden bei der Klassifizierung die einzelnen Umweltparameter den verschiedenen Umwelteffekten zugeordnet. Diese Vorgangsweise wird im Wesentlichen auch in der ISO 14042 vorgeschlagen. Dabei kann ein Umweltparameter auch Einfluss auf mehrere Umwelteffekte haben. Die Intensität der Wirkung wird anhand einer Zahl angegeben. Dabei haben sich die so genannten Äquivalenzzahlen von charakteristischen Stoffen etabliert. Ein typisches Beispiel dafür sind die  $CO_2$  – Äquivalente für den Treibhauseffekt. Das bedeutet, dass alle treibhauswirksamen Emissionen mit der Wirkung von  $CO_2$  verglichen werden. Daraus ergeben sich für alle Treibhausgase Faktoren für die Umrechnung in  $CO_2$  – Äquivalente.

Die Umwelteffekte werden bei der Wertung zu einer Zahl ohne physikalischen Referenzwert zusammengefasst. Je größer die Zahl ist desto höher ist auch die Umweltbelastung. Die verwendeten Umwelteffekte sind:

- Erschöpfung der biotischen/abiotischen Ressourcen
- Treibhauseffekt
- Zerstörung der Ozonschicht
- Humantoxizität
- Bildung von Photooxidantien
- Versauerung
- Nutrifikation
- Abwärme
- Gerüche
- Lärm
- Denaturierende Landbeanspruchung
- Tote und Kranke

In der vorliegenden Arbeit werden aus den aufgezählten Umwelteffekten entsprechend der Zielsetzung der Studie im Kapitel 8.3 die relevanten Indikatoren ausgewählt, wobei eine Erweiterung um weitere Umwelteffekte jederzeit möglich ist. Berechnet werden die CML – Umweltwirkungskategorien mit der Datenbank Ecoinvent 2000 [Frischknecht & Jungbluth et al. 2004].

### 8.1.3 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

KEA gibt die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands an, der im Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines ökonomischen Gutes (Produkt oder Dienstleistung) entsteht bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden kann. Es sind die Teilsummen der mit einbezogenen Vor- und Nachketten anzugeben [VDI 1997].

$$KEA = KEA_H + KEA_N + KEA_E \quad (5)$$

$KEA_H$  = Kumulierte Energieaufwendungen für die Herstellung

$KEA_N$  = Kumulierte Energieaufwendungen für die Nutzung

$KEA_E$  = Kumulierte Energieaufwendungen für die Entsorgung

Berechnet wird der kumulierte Energieaufwand mit der Datenbank Ecoinvent 2000 [Frischknecht & Jungbluth et al. 2004].

### 8.1.4 ISO 14040ff

Die Normen EN ISO 14040 – EN 14043 beinhalten die standardisierte Vorgangsweise für die Erstellung von Ökobilanzen. Die Norm EN ISO 14040 stellt keine Methodenbeschreibung mit eng vorgegebenen Handlungsanweisungen dar, sondern gibt einen relativ weit gesetzten Rahmen vor, in welchem sich der Verfasser einer Ökobilanz bewegen kann. Ziel dieser freien Handhabung ist es, auf die konkreten Bedürfnisse (Zielsetzung und Fragestellung und damit verbundene Detailtiefe, Umfang usw.) des einzelnen Falles eingehen zu können. Das bedeutet, dass je nach Zielsetzung und Fragestellung sowie dem Untersuchungsrahmen einer Ökobilanz die Untersuchungstiefe starken Schwankungen unterliegen kann und für die Erfassung und Bewertung der einzelnen Umweltwirkungen von Gebäuden verschiedene Methoden herangezogen werden können. Das macht Transparenz und Nachvollziehbarkeit bei der Vorgangsweise besonders wichtig und ist daher in einer Ökobilanzstudie detailliert zu beschreiben. Bei der ISO 14040 ff handelt es sich konkret um folgende Normen:



- [EN ISO 14040, 1997]: Life Cycle Assessment – Principles and Framework (Ökobilanzen – Prinzipien und Verfahren)
- [EN ISO 14041, 1998]: Life Cycle Assessment – Life Cycle Inventory (Ökobilanzen – Sachbilanz)
- [EN ISO 14042, 1998]: Life Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment (Ökobilanzen – Wirkungsabschätzung)
- [EN ISO 14043, 1998]: Life Cycle Assessment – Interpretation

Seit dem Jahr 2000 sind die beiden nachstehend angeführten Regelwerke ebenfalls verfügbar:

- [ISO/TS 14048, 2002] (Datendokumentationsformat mit dem Ziel der Standardisierung von Ökobilanzen sowie der Verbesserung der Nachvollziehbarkeit und Erhöhung der Transparenz)
- [EN ISO/TR, 2000] (Beispielhafte Erläuterungen zur Anwendung von ISO 14041 - Ökobilanz - Festlegung des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz) hinzu gekommen.

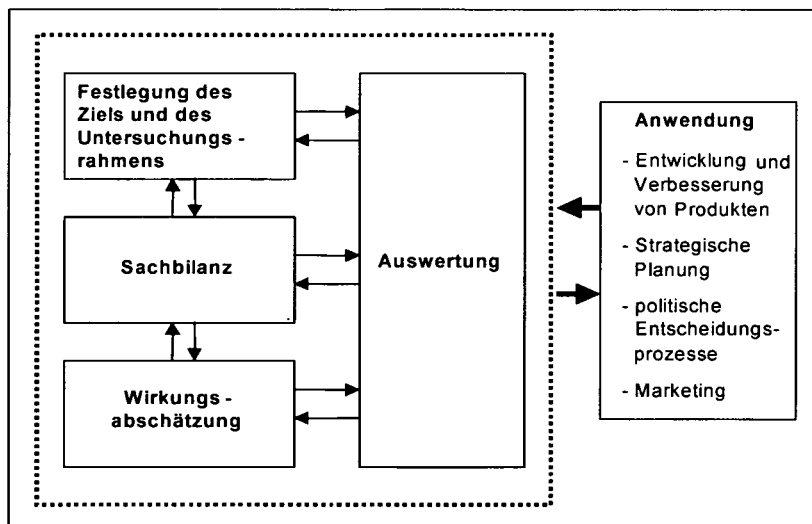


Abbildung 8-2: Bestandteile einer Ökobilanz nach EN ISO 14040, 1997. Iterative Vorgehensweise.

Die Kenntnis der EN ISO 14040ff wird vorausgesetzt und an dieser Stelle nicht weiter beschrieben, weiterführende Informationen zur Ökobilanzierung und zu den hier angeführten Normen können zum einen aus den Normen selbst sowie aus der Literatur entnommen werden. Beispiele ohne jeglichen Anspruch auf Vollständigkeit sind beispielsweise: [Merl, 2001]; [Frankl und Rubik, 2000]; [Barnthouse et al., 1998]; [Fallscheer, 1997]; [Eyerer, 1996]; [Lindfors et al., 1995]; [Consoli et al., 1993]; [Heijungs et al., 1992]; [NCM, 1992]; [Fava et al., 1990] usw.

Die ISO 14 040ff stellt auch eine wichtige Basis für den momentan (2005) diskutierten Entwurf der Richtlinie ISO DIS 21 930 für Umweltdeklarationen von Baustoffen dar.

## **8.2 Auswahl der ökologischen Bewertungskriterien**

Durch die vorgegebene Zielsetzung wird der Treibhauseffekt ausgewählt. Eine weitere Zielsetzung ist die Entwicklung eines umfassenden Bewertungssystems, wofür weitere Indikatoren erforderlich sind. Dabei wird folgend vorgegangen:

Auf Basis der vorangehenden Literatur- und Methodenrecherche werden Indikatoren für die Bewertung ausgewählt. Im Arbeitsprozess der Datenermittlung wird überprüft, ob es sich bei den ausgewählten Bewertungsindikatoren tatsächlich um jene handelt, die die Auswirkungen des Bauens auf die Umwelt umfassend beschreiben und bewerten können und ob deren Anwendung praktikabel ist. Die so gewonnenen Erkenntnisse werden laufend evaluiert und in die Methodik eingearbeitet.

Als Basis für die Wahl der Bewertungskriterien werden drei Ebenen für die Entscheidungsfindung gewählt:

- Internationale Ebene: Anhand der auf internationalen Kongressen sowie Publikationen erarbeiteten und allgemein anerkannten globalen Kriterien für eine nachhaltige und zukunftsfähige Entwicklung werden Bewertungskriterien und Indikatoren abgeleitet. Ebenfalls auf internationaler Ebene wird die Norm ISO DIS 21 930 diskutiert, diese Diskussion wird in der Indikatorenwahl ebenfalls reflektiert.
- Nationale Ebene: Aus den im österreichischen Abfallwirtschaftsgesetz [AWG 2002] festgelegten Zielen und Grundsätzen zum Schutz des Menschen und der Umwelt, welche nicht nur die Abfallwirtschaft sondern den gesamten nationalen Stoffhaushalt umfassen, werden Bewertungskriterien und Indikatoren abgeleitet.
- Regionale (lokale) Ebene: Aus den Forderungen des Wiener Bodenbereitstellungsfonds „Qualitätswettbewerb im geförderten Wohnbau – Das Wiener Modell“ [Korab, 2001] werden, sofern möglich, regionalspezifische Bewertungskriterien und Indikatoren abgeleitet.
- Im Arbeitsprozess der Datenermittlung als wichtig identifizierte Indikatoren, besonders regionale Besonderheiten der Stadt Wien betreffend, werden zusätzlich aufgenommen.

Nachfolgend werden für jede Ebene maßgebliche Aspekte, welche in der Bewertung berücksichtigt werden sollen, diskutiert.

### **8.2.1 Prinzipien einer nachhaltigen Entwicklung**

Die als allgemein anerkannt geltenden Prinzipien einer nachhaltigen Entwicklung sind wichtige Anhaltspunkte für die Wahl der Bewertungsindikatoren [IUCN et al. 1980; WCED 1987; IDARio 1996]:

1. Die Artenvielfalt darf durch menschlichen Einfluss nicht verkleinert werden, die genetische Vielfalt muss erhalten werden. Beeinträchtigungen sind mit Massnahmen zu kompensieren, welche den Fortbestand von Ökosystemen und die Wahrung der Artenvielfalt gewährleisten.
2. Erneuerbaren Ressourcen darf pro Zeiteinheit nicht mehr Substanz entnommen werden, als wieder nachwachsen kann. Nicht erneuerbare Ressourcen, wie z.B. fossile Energie-

- träger, dürfen nicht rascher abgebaut werden, als gleichzeitig neue regenerierbare Quellen für deren Ersatz bereitgestellt werden können (Erhaltung des Ressourcenkapitals).
3. Die Rate der Schadstoffemissionen darf die Kapazität zur Schadstoffadsorption der Umwelt nicht übersteigen (Vermeidung von Altlasten). Bei der Belastung der Umwelt durch abbaubare Abfälle und Emissionen ist sicherzustellen, dass der Grad der Verschmutzung unter der Aufnahmefähigkeit der Ökosysteme liegt. Nicht abbaubare Abfälle und Schadstoffe dürfen nur so weit in die Umwelt abgegeben werden, dass deren Anhäufung nicht zu einer Schadstoffkonzentration führt, welche Menschen, Flora und Fauna gefährdet.
  4. Unfallrisiken mit grossräumiger Auswirkung auf Mensch und Biosphäre sind nur so weit zulässig, als sie auch beim grössten möglichen Schadenereignis keine dauerhaften Schäden über eine Generation hinaus verursachen.

ad 1) Bei der Berechnung der regionalen Verfügbarkeit wie beispielsweise der Ressource Holz wird berücksichtigt, dass geerntetes Holz aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern kommen muss und dass alle Funktionen des Waldes erhalten bleiben. Für die Erhaltung der Artenvielfalt bedeutet das, dass es Waldflächen geben muss, welche in einem naturnahen, vom Menschen möglichst unbeeinflussten Zustand belassen werden (Primärwald). Diesem Umstand wird bei der Errechnung des Holzpotentials mittels eines Abschlags der nutzbaren Waldfläche Rechnung getragen.

Für die Erhaltung der Artenvielfalt sind aber auch konstante Klimabedingungen bedeutend, daher ist die Berücksichtigung des Treibhauseffektes in diesem Zusammenhang von Relevanz.

ad 2) Besonders die einschränkende Nutzungsregel für fossile Energieträger kann mit der heutigen energieintensiven Wirtschaftsweise und mit der dazugehörigen Technologie nicht erfüllt werden. Sie würde die Stabilität des wirtschaftlichen Systems ernsthaft gefährden. Dies ändert aber nichts an ihrer langfristigen Bedeutung und Richtigkeit. In Zukunft sollen Regionen im Sinne langfristiger Umweltverträglichkeit und optimaler Rohstoffnutzung (Ressourceneffizienz) bewirtschaftet werden. Unter „Rohstoffe“ sind die Begriffe Materie, Energie, Raum und Information zu verstehen. Ressourceneffizienz bedeutet, mit möglichst geringem Verbrauch an Materialien, Energie und Kapital die gesetzten Ziele bestmöglich zu erreichen. In diesem Sinne soll die Verwendung nachwachsender Rohstoffe maximiert und die Recyclingraten optimiert werden. In diesem Zusammenhang ist die Loslösung von nicht erneuerbaren fossilen Energieträgern ein wichtiges Anliegen.

ad 3) Schadstoffemissionen können beim Bauwesen in jeder Lebenszyklusphase auftreten. Daher wird neben der Bewertung der Ressourceneffizienz anhand einer mengenmäßigen Betrachtung der Güterströme auch eine qualitative Betrachtung und Überprüfung der dazugehörigen Stoffströme vorgenommen. Dabei wird besonderes Augenmerk auf diffuse Konsumemissionen, besonders während der Nutzungsphase, gelegt und das städtische Lager hinsichtlich der Anreicherung mit problematischen Stoffen überprüft.

ad 4) In Zusammenhang mit dem Bauwesen sollte sichergestellt werden, dass keine Baumaterialien eingesetzt werden, welche unter Risikoreichen Umständen produziert werden oder gefährliche Materialien transportiert werden.

Eine Erhöhung der Ressourceneffizienz mittels optimierter Recyclingstrategien und eine finale Nutzung der brennbaren Baumaterialien als Energieträger kann zu einer Erhöhung der Energieeffizienz und damit näher zu einem möglichen Ausstieg aus der Kernenergie, welche zu besonders folgenschweren Unfällen führen kann, leiten.

Eine weitere konkrete Basis zur Indikatorenwahl bietet der Entwurf der internationalen Norm ISO DIS 21 930 [2005], in welcher folgende Indikatoren laut [Maydl 2005] explizit vorgeschlagen werden (Tabelle 8-1):

Tabelle 8-1: Vorgeschlagene Indikatoren gemäß dem Normenentwurf ISO DIS 21 930 [2005]

<b>Indikatoren Ressourcenabbau</b>	<b>[Einheit]</b>
Materialverbrauch nicht erneuerbar (MI abiotisch)	[kg]
Materialverbrauch erneuerbar (MI biotisch)	[kg]
Materialeinsatz Recyclingstoffe	[m <sup>3</sup> ]
Wasserverbrauch	[m <sup>3</sup> ]
Landverbrauch	[m <sup>2</sup> ]
<b>Indikatoren Energie</b>	<b>[Einheit]</b>
Primärenergieinhalt nicht erneuerbare Energieträger (PEI ne)	[MJ, kg]
Primärenergieinhalt erneuerbare Energieträger (PEI e)	[MJ, kg]
<b>Indikatoren Abfall</b>	<b>[kg]</b>
Gefährlicher Abfall	[kg]
<b>Indikatoren Umweltwirkungen (LC impact categories)</b>	<b>[Einheit]</b>
Treibhauseffekt (GWP)	[kg CO <sub>2</sub> – Eq.]
Ozonabbau (ODP)	[kg - CFK - Eq.]
Sommersmog (POCP)	[kg Ethen - Eq.]
Versauerung (AP)	[kg SO <sub>2</sub> - Eq.]
Eutrophierung (NP)	[kg PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> - Eq.]
Humantoxizität (HTP)	[kg 1,4 – DCB – Eq.]
Ökotoxizität (AETP, TETP)	[kg 1,4 – DCB – Eq.]
<b>Indikatoren Raumluftqualität</b>	<b>[Einheit]</b>
Raumluftqualität (verschiedene Indikatoren)	z.B. [TVOC]

Zusätzlich werden zu den in Tabelle 8-1 vorgeschlagenen Indikatoren die Darstellung der verschiedenen Lebenszyklusphasen samt der Ausarbeitung verschiedener Szenarios hinsichtlich Produktionsphase, Transporte, Bau- und Errichtungsphase, Nutzungsphase sowie für mögliche Ver- und Entsorgungsoptionen (Recycling, Energieproduktion und andere abfallwirtschaftliche Maßnahmen) vorgeschlagen.

### 8.2.2 Das Abfallwirtschaftsgesetz [AWG 2002]:

Das Bauwesen stellt mit ca. 56 % am gesamten Abfallaufkommen [Bundesabfallwirtschaftsplan 2001] den mengenmäßig bedeutendsten Beitrag zum Gesamtabfallaufkommen dar. Die zukünftigen Abfälle und deren Zusammensetzung werden im Planungsprozess bestimmt. Diesem Umstand wird mittels der Berücksichtigung der Ziele und Grundsätze des Abfallwirtschaftsgesetzes [AWG 2002] Rechnung getragen. Einige wichtige Aspekte hinsichtlich der Wahl der Bewertungsindikatoren werden nachfolgend abgehandelt.

Da im hier betrachteten System die Prozesse im Sekundärressourcenmanagement und somit in der Abfallwirtschaft eine bedeutende Rolle spielen, ist das österreichische Abfallwirt-

schaftsgesetz mit der darin enthaltenen Zielformulierung für die Auswahl der Bewertungskriterien von Relevanz.

Laut AWG 2002 ist die Abfallwirtschaft im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit danach auszurichten dass,

- schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt vermieden oder sonst das allgemeine menschliche Wohlbefinden beeinträchtigende Einwirkungen so gering wie möglich gehalten werden,
- die Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen so gering wie möglich gehalten werden,
- Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen) geschont werden,
- bei der stofflichen Verwertung die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen und
- nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt.

Dabei gelten folgende zur Zielerreichung erforderliche Grundsätze:

1. Die Abfallmengen und deren Schadstoffgehalte sind so gering wie möglich zu halten (Abfallvermeidung).
2. Abfälle sind zu verwerten, soweit dies ökologisch zweckmäßig und technisch möglich ist und die dabei entstehenden Mehrkosten im Vergleich zu anderen Verfahren der Abfallbehandlung nicht unverhältnismäßig sind und ein Markt für die gewonnenen Stoffe oder die gewonnene Energie vorhanden ist oder geschaffen werden kann (Abfallverwertung).
3. Nach Maßgabe der Ziffer 2 nicht verwertbare Abfälle sind je nach ihrer Beschaffenheit durch biologische, thermische, chemische oder physikalische Verfahren zu behandeln. Feste Rückstände sind möglichst reaktionsarm und ordnungsgemäß abzulagern (Abfallbeseitigung).

Im Zusammenhang mit der Abfallvermeidung und –Verwertung ist unter anderem im AWG 2002 auch festgeschrieben, dass durch die Verwendung von geeigneten Herstellungs-, Bearbeitungs-, Verarbeitungs- und Vertriebsformen, durch die Entwicklung geeigneter Arten und Formen von Produkten die Mengen und Schadstoffgehalte der Abfälle verringert werden sollen. Über den gesamten Lebenszyklus sollen daher Produkte langlebig, umweltschonend in der Nutzungsphase und optimal recyclebar gestaltet werden. Zu diesem Zweck sollten bereits in der Planungsphase von Produkten, in diesem Fall von Bauwerken, Hinweise auf eine optimale Demontierbarkeit und darauf folgender Verwertbarkeit gegeben werden. Im Bauwesen anfallende Abfälle sind laut AWG 2002 explizit zu verwerten, sofern das technisch machbar und ökologisch sinnvoll ist.

Seit 1. Jänner 2004 ist auch die Deponieverordnung [DVO 1996] in Kraft. Damit dürfen in Baurestmassendeponien Materialien mit einem gesamten organisch gebundenen Kohlenstoffgehalt (TOC als C) von mehr als 30.000 mg/kg Trockensubstanz nicht mehr deponiert werden. Das heißt, dass Holz jedenfalls behandelt werden muss und damit eine Wiederver-

wendung oder auch eine thermische Verwertung mit damit verbundener Energiegewinnung auch ökonomisch interessanter wird.

### 8.2.3 Kriterien des Wiener Bodenbereitstellungsfonds:

Der Wiener Bodenbereitstellungsfond hat für die Bewertung von Wohnbauprojekten einen Kriterienbogen erarbeitet. Dabei wird in die Bereiche „Planung“, „Ökonomie“ und „Ökologie“ unterteilt (siehe Tabelle 8-2).

Tabelle 8-2: Prüfungs-/Bewertungsbogen bei Bauträgerwettbewerben. Kriterien und Erläuterungen [Korab 2001].

Kriterien	Erläuterungen
<b>PLANUNG</b>	
Erschließung	Interne Erschließung (Wohnung), externe Erschließung (Stiegenhäuser, Gänge), Ausgewogenheit Nutzfläche / Erschließungsfläche
Grundrissqualität	Benutzbarkeit der Räume (z.B. Lage von Türen und Fenstern), Besonnung, Durchlüftung, funktionale Zusammenhänge
Wohnqualität	Wohnungsbezogene Freiräume, Schwellenbereiche Wohnung- Haus / Haus-Freiraum, Nutzung und Gestaltung der Frei- und Grünräume
Architektur und Städtebau	Entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik, Diskussion bezüglich formaler und technischer Aspekte, Bebauungskonzept
<b>ÖKONOMIE</b>	
Herstellungskosten	Gesamtbaukosten, reine Baukosten, Baunebenkosten, Grundstückskosten, Grundstücksnebenkosten (jeweils Vertragsabschluß bis Bezug), Finanzierungskosten, Obergrenze bei geförderten Objekten zum Zeitpunkt des Bezugs
Kosten für die Nutzer	Getrennt nach geförderten und nicht geförderten Flächen: Mieterbelastung, Eigenmittelbelastung, Kapitaldienst, Entwicklung der Kosten, Höhe und Fälligkeit des Grundkosten und des Baukostenanteils, Garagenentgelt
Kostenrelevanz der Bauausstattung	Bewirtschaftungs- und Instandhaltungskosten mindernde bzw. -erhöhende Bauausstattung, Schall- und Wärmeschutz, Ausstattungsqualität, Instandhaltungs- und Betriebskosten, Hausbesorger
Nutzerbedingungen	Bauträgerart, Vertragsbedingungen der Überlassung, Nutzerverträge, Sonderbedingungen, Mitbestimmung
<b>ÖKOLOGIE</b>	
Bautechnik / Haustechnik	(Umwelt-)Technik: Energieverbrauch, Energieversorgung, Wasser, Einzelwasserzähler, sonstige bau- und haustechnische Infrastruktur
Bauökologie / Ressourcen schonendes Bauen	Umweltgerechtes Bauen (externe Wirkungen/Kosten): Baustoffe und Baumaterialien, Konstruktion, bauphysikalischklimatische Qualität der Konstruktionselemente und Bauteile
Wohnökologie / Baubiologie	Wohnökologie (Wirkungen auf den/die BewohnerInnen): Materialien und Ausführungsqualität im Innenausbau, schalltechnische Qualitäten, Besonnung und Belichtung, Netzfreeschalter, Strahlungsheizung, private und wohnungsbezogene Freiräume und Grünräume.
Stadtökologie / Freiraum / Grünraum	Raumökologie" (Stellung Bauwerk-Umwelt): Flächenverbrauch, Versiegelungsgrad, Versickerung, Dach- / Fassadenbegrünung, ökologische Qualität der Grünflächen, Nutzbarkeit der Gemeinschaftseinrichtungen, städtebauliche Konfiguration, Entsorgung.

Die Kriterien Planung und Ökonomie werden in dieser Studie nur insofern berücksichtigt, dass möglichst funktional gleichwertige Gebäude für die einzelnen Bauweisen verwendet werden. Auf die einzelnen Unterkategorien wird bei der Wahl der Bewertungsindikatoren nicht eingegangen.

Aus der Unterkategorie Ökologie wird auf die Punkte Bautechnik/Haustechnik und Stadtökologie/Freiraum/Grünraum aufgrund der Konzentration auf die tragenden Strukturen und der Betrachtung der Gesamtheit des Wiener Wohn- und Bürobaues nicht eingegangen. Aufgrund der funktionalen Äquivalenz der Gebäude ist der Energieverbrauch über die Nutzungsphase für alle Bauweisen in etwa gleich.

Aus diesen sehr allgemein gehaltenen Kriterien lassen sich für diese Studie, die die Gesamtheit des Wiener Büro- und Wohnbaues erfasst, keine konkreten Kriterien und Indikatoren ableiten. Hinsichtlich Bauökologie und Ressourcen schonendes Bauen können die Wirkungskategorien der CML-Methode, wie es auch bei Produktökobilanzen im Allgemeinen in

der Regel geschieht, heran gezogen werden. Bezüglich des Energieverbrauchs von der Herstellung bis zur Entsorgung der Baumaterialien werden die KEA – Werte heran gezogen. Die nachfolgende Tabelle 8-2 listet die Anforderungen und Kriterien des Wiener Bodenbereitstellungsfonds auf.

### **8.3 Wahl der Bewertungsindikatoren**

Aus den vorher formulierten Nachhaltigkeitskriterien werden Schlussfolgerungen für das Bauwesen gezogen und die Bewertungsindikatoren gewählt, welche zusammengefasst in Tabelle 8-3 dargestellt sind.

- Bei der Berechnung der regional zur Verfügung stehenden Rohstoffpotentiale müssen die Anforderungen bezüglich der Erhaltung der Artenvielfalt berücksichtigt werden. Für das Baumaterial Holz heißt das, dass ein Teil der Waldfläche als genetische Reserve geschont und unter Schutz gestellt werden muss und wirtschaftlich daher nicht oder nur eingeschränkt nutzbar ist. Es wird der von [Werner 1998] vorgeschlagene Wert von ca. 10% der Waldfläche als naturnahe zu belassen übernommen. Kriterium bei der Methode ist das regionale Ressourcenpotential und der dazugehörige „regionale Deckungsgrad“. Für die Erhaltung der Artenvielfalt sind konstante klimatische Bedingungen von großer Bedeutung. Bewertung: Treibhauseffekt; weiters wird die Ökosystemqualität durch die Versauerung und die Überdüngung beeinträchtigt. Eine weitere Kenngröße ist der denaturierende Landverbrauch.
- Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe im Bauwesen muss so erfolgen, dass nicht regenerierbare Rohstoffe substituiert werden (stofflich und energetisch) und das regionale Ressourcenkapital erhalten oder sogar aufgestockt wird. Bewertung: Landverbrauch bzw. „virtuelle Waldfläche“ für die Einsparung von Land (z.B. Altholz wird stofflich wiederverwertet – die virtuelle Waldfläche ist dann jene Fläche, die für die Produktion der selben Güter aus Primärmaterial notwendig wäre), die Substitution von fossilen Energieträgern ergibt Verschiebungen bei „Energieeinsatz“ (erneuerbar statt nicht erneuerbar) und „Treibhauseffekt“ („neutrale“, kurzfristig im Kreislauf befindliche Emissionen aus dem Lager ersetzen fossile Emissionen mit einem lange dauernden Zeithorizont). Bei den Energieträgern erfolgt die Bewertung mittels des Kumulierten Energieaufwands, unterteilt in erneuerbare Energieträger und nicht erneuerbare Energieträger. Weiters erfolgt eine Abschätzung des zukünftigen Ressourcenpotentials im Zusammenhang mit der Lagerentwicklung.
- Rohstoffe sollen ressourceneffizient eingesetzt werden (Ressourcenschonung). Daher sollen quantitative Einsparungspotentiale identifiziert und optimiert werden. Anhand des Systembilds der Güterflüsse können Verbesserungspotentiale bei der Versorgung sowie mögliche Recyclingpotentiale aufgezeigt werden. Gleichzeitig muss eine qualitative Überprüfung dieser Güterflüsse erfolgen, um dissipative Verluste in die Umwelt zu verhindern und eine sichere Endlagerung in der letzten Senke ist zu gewährleisten. Bewertung: Systembild der Güterflüsse und Gefahrenpotentialabschätzung sowie die dazugehörige Interpretation.
- Ressourcenschonung kann auch mittels Recycling erreicht werden. Dabei darf es zu keinen Schadstoffkonzentrationen in den Recyclingprodukten kommen, bei brennbaren Ma-

terialien soll die letzte Nutzungskaskade der Energiegewinnung dienen. Bewertung: Angabe des Recyclingpotentials in [%], Substitution fossiler Energieträger, Deponieraumschonung.

- Schädliche Einwirkungen auf den Menschen werden auf verschiedenen Ebenen mittels folgender Wirkungskategorien integriert: Treibhauspotential (GWP - globale Ebene), stratosphärischer Ozonabbaupotential (ODP – globale Ebene), Versauerungspotential (AP – regionale Ebene), Eutrophierungspotential (NP – regionale Ebene) und Photooxidantienpotential (lokale Ebene). Die Methode ist so gestaltet, dass je nach konkreter Zielsetzung und Fragestellung weitere Wirkungskategorien hinzugefügt oder aber auch weggelassen werden können.
- Heizwert von brennbaren Baustoffen (stoffgebundener Energieinhalt - Holz)
- Daten aus der Güterbilanz: Menge und Qualität der anfallenden Abfälle

Aus diesen Überlegungen ergibt sich das folgende zusammengefasste Bewertungsraster. Dabei werden zu den identifizierten Nachhaltigkeitskriterien auf internationaler (allgemein anerkannte Schlussfolgerungen internationaler Konferenzen), nationaler (AWG 2002) und regionaler Ebene (Kriterien des Wiener Bodenbereitstellungsfonds) mögliche Bewertungsindikatoren samt Angabe der anwendbaren Bewertungsmethode zugeordnet. Es handelt sich hier um eine offene Zuordnung, die je nach Zielsetzung und Problemstellung entsprechend erweitert oder eingegrenzt werden kann (Tabelle 8-3 und Tabelle 8-4).

Tabelle 8-3: Auswahl der ökologischen Bewertungskriterien auf Basis der allgemein anerkannten Nachhaltigkeitskriterien.

Nachhaltigkeitskriterien	Bewertung, Methode
Wahrung der Artenvielfalt (Biodiversität).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regionales Ressourcenpotential (SFA)</li> <li>• Recyclingszenarien – Schonung Naturraum</li> <li>• Denaturierender Landverbrauch (CML)</li> <li>• Treibhauseffekt (CML)</li> <li>• Versauerungspotential (CML)</li> <li>• Überdüngung (CML)</li> </ul>
Erhaltung des Ressourcenkapitals: Ressourcenentnahme pro Zeiteinheit, Erschöpfung von biotischen und abiotischen Ressourcen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regionales Ressourcenpotential (SFA)</li> <li>• Ressourceneffizienz (erneuerbar, nicht erneuerbar)</li> <li>• Energieeffizienz (KEA)</li> <li>• Recyclingszenarien – Lagerentwicklung (SFA)</li> <li>• Güterflüsse – Systembildinterpretation (SFA)</li> </ul>
Schadstoffemissionen dürfen die Kapazität zur Schadstoffadsorption der Umwelt nicht übersteigen – Vermeidung von Altlasten. Vermeidung der Anhäufung von Schadstoffpotentialen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Güter- und Stoffflüsse - Systembildinterpretation (SFA)</li> <li>• Verknüpfung mit dem regionalen Stoffhaushalt (SFA) – Vergleich mit geogenen Referenzen</li> <li>• Lagerbeurteilung (SFA)</li> </ul>
Vermeidung von Unfallrisiken und damit verbundenen Folgeschäden.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieeffizienz (KEA)</li> <li>• Transportminimierung (SFA)</li> <li>• Vermeidung von Altlasten (SFA)</li> </ul>



Tabelle 8-4: Auswahl der ökologischen Bewertungskriterien auf Basis der Ziele und Grundsätze des Abfallwirtschaftsgesetzes.

Ziele des AWG 2002	Bewertung, Methode
Schädliche oder nachteilige Einwirkungen auf Mensch, Tier, Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt bzw. sonst das allgemeine menschliche Wohlbefinden beeinträchtigende Einwirkungen sind so gering wie möglich halten.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treibhauseffekt (CML)</li> <li>• stratosphärisches Ozonabbaupotential (CML)</li> <li>• Versauerungspotential (CML)</li> <li>• Eutrophierungspotential (CML)</li> <li>• Photooxidantienpotential (CML)</li> <li>• Güter- und Stoffflüsse – Systembild (SFA)</li> </ul>
Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen sind so gering wie möglich zu halten.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treibhauseffekt (CML)</li> <li>• stratosphärisches Ozonabbaupotential (CML)</li> <li>• Versauerungspotential (CML)</li> <li>• Eutrophierungspotential (CML)</li> <li>• Photooxidantienpotential (CML)</li> </ul>
Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Boden, Luft, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen) sind zu schonen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regionale Ressourceneffizienz (SFA)</li> <li>• Energieeffizienz (KEA)</li> <li>• Denaturierender Landverbrauch (CML)</li> <li>• Recyclingszenarien (SFA)</li> <li>• Raumbedarf Deponievolumen (SFA)</li> <li>• Flächengewinn Recycling (CML und SFA)</li> </ul>
Stoffliche Abfallverwertung und Produkte daraus dürfen kein höheres Gefährdungspotential aufweisen als vergleichbare Primärrohstoffe oder Produkte aus Primärrohstoffen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Güter- und Stoffflüsse – Systembild (SFA)</li> <li>• Lagerbeurteilung (SFA)</li> <li>• Recyclingszenarien (SFA)</li> </ul>
Ablagerung von Abfällen darf keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Güter- und Stoffflüsse – Systembild (SFA)</li> <li>• Vermeidung von Altlasten (SFA)</li> </ul>
Grundsätze des AWG 2002	Bewertung, Methode
Die Abfallmengen und deren Schadstoffgehalte sind so gering wie möglich zu halten (Abfallvermeidung).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recyclingszenarien (SFA)</li> <li>• Güter- und Stoffflüsse – Systembild (SFA)</li> </ul>
Abfälle sind, soweit das ökologisch und ökonomisch sinnvoll sowie technisch möglich ist, zu verwerten (Abfallverwertung).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regionales Ressourcenpotential (SFA)</li> <li>• Recyclingszenarien (SFA)</li> <li>• Thermisches Verwertungspotential (SFA)</li> </ul>
Nicht verwertbare Abfälle sind ordnungsgemäß zu behandeln und zu beseitigen (Abfallbeseitigung).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Güter- und Stoffflüsse – Systembild (SFA)</li> </ul>
Bodenbereitstellungsfond	Bewertung, Methode
Ressourcenschonung und Bauökologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treibhauspotential (CML)</li> <li>• Stratosphärisches Ozonabbaupotential(CML)</li> <li>• Versauerungspotential (CML)</li> <li>• Eutrophierungspotential (CML)</li> <li>• Photooxidantienpotential (lokale Ebene) (CML)</li> <li>• Kumulierter Energieaufwand (KEA)</li> </ul>

## 8.4 Beschreibung der ausgewählten Bewertungsindikatoren

In diesem Unterkapitel werden aus den in Tabelle 8-3 angeführten Bewertungsindikatoren und Kriterien jene ausgewählt und beschrieben, welche in der Fallstudie Wien gemäß der Zielsetzung und Fragestellung angewendet werden.

### 8.4.1 Güter- und Stoffflüsse – Systembildinterpretation

Das Systembild (Siehe auch Abbildung 9-2) als grafische Darstellung der durchgeführten Güterflussanalyse bildet auch die Basis für die Interpretation aller anderen Bewertungskriterien, da die Systemabbildung mit den dargestellten Güterflüssen wesentliche Informationen über die Relationen und Wechselwirkungen sämtlicher Bewertungskriterien liefert.

Optisch liefert das Systembild einen kompakten Überblick über die Prozesse und die durch das System fließenden Gütermengen. Regionale spezifische Eigenheiten (z.B. verfügbare Infrastruktur) des Systems und Lagerbildungen können übersichtlich dargestellt werden. Die

durch das System fließenden Gütermengen werden von der Quelle bis zur letzten Senke quantitativ erfasst und beschrieben. Darauf setzt die Interpretation an und entsprechende Steuerungs- und Optimierungsvarianten können vorgeschlagen und erprobt werden. Verschiedene Szenarien können so übersichtlich gegenübergestellt und verglichen werden.

Das Güter- und Stoffbild dient in dieser Fallstudie auch zur Abschätzung des Potentials von möglichen diffusen Emissionen im Nutzungszeitraum. Da es sich in der vorliegenden Studie um die Betrachtung der tragenden Primär- und Sekundärstruktur handelt, welche durchwegs von anderen Materialien ummantelt ist, werden die diffusen Emissionen in dieser Arbeit nicht eigens untersucht. Bei der Betrachtung von Gebäudeoberflächen sowohl im Außen- wie auch im Innenbereich müssten die diffusen Emissionen jedoch in die Untersuchung integriert werden.

Das Systembild zeigt auch, wo die bedeutenden Umweltwirkungen geographisch geschehen. Eine Abschätzung des regionalen Ressourcenpotentials sowie ein Vergleich von Transportentfernungen kann damit durch die Verknüpfung von geografischen Informationen mit dem Systembild einfach vorgenommen werden.

Mit Hilfe des Systembildes kann auch das Lager und dessen zukünftige Entwicklung erfasst werden. Damit kann das zukünftige Ressourcenpotential aus sekundären Quellen erfasst und gesteuert werden. Daraus können Erfordernisse für die erforderliche verfügbare Infrastruktur zur optimalen regionalen Nutzung der Sekundärressourcen abgeleitet werden.

Notwendige Systemerweiterungen, wie etwa der Integration der Fernwärmeproduktion in die vorliegende Studie, können in übersichtlicher Form durchgeführt und auf Richtigkeit überprüft werden.

Aus dem System können auch Subsysteme heraus genommen und näher untersucht werden, um so Optimierungen vornehmen zu können.

Das Systembild hat auch eine unterstützende Funktion für die Auswahl und Interpretation sowie der Überprüfung der Plausibilität der Umweltwirkungskategorien gemäß der CML – Methode.

### **8.4.2 Regionales Ressourcenpotential**

Auf Basis der Informationen der abgebildeten Güterflüsse durch die Prozesse des Systems werden Aussagen über das Ressourcenpotential und die Ressourceneffizienz gemacht.

Dafür werden die regional verfügbaren Ressourcenvorkommen mit dem regionalen Ressourcenbedarf der gewählten Szenarien verglichen. Dabei darf es zu keinen Übernutzungen kommen, d.h. die natürlichen Erneuerungsraten sollten nicht überschritten werden bzw. müssen die Ressourcen langfristig auch für zukünftige Generationen nutzbar sein. In der vorliegenden Studie wird die Evaluierung des Ressourcenpotentials am Beispiel Holz vorgenommen.

#### **Anteil nachwachsender Rohstoffe**

Der Anteil nachwachsender Rohstoffe ist ein wichtiger Indikator für die Nachhaltigkeit einer Komponente. Je größerer dieser Anteil ist, desto größer ist die Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen unter der Voraussetzung, dass die Verwendung so erfolgt, dass nicht erneuer-

bare Ressourcen geschont bzw. ersetzt werden. Im Szenarienvergleich wird der jeweilige Anteil nachwachsender Ressourcen gegenübergestellt.

### **Verwendung von Sekundärrohstoffen**

Die Verwendung von Sekundärrohstoffen stellt einen wichtigen Schritt in Richtung einer Kreislaufwirtschaft und damit verbundener Schonung von Ressourcen und Naturraum sowie eine Erhöhung der Ressourceneffizienz dar. Darunter sind die Verwendung von produktionsbedingten Abfällen aus Verschnitt und dergleichen und die Verwendung externer Abfälle zu verstehen, wie das beispielsweise die Outputgüter aus Abbruchprozessen sind. Beispielsweise wird durch die Wiederverwendung von Abbruchholz als Konstruktionsholz die Ressourceneffizienz gesteigert, da für ein Gut ein weiterer Lebenszyklus hinzugefügt wird.

Die Darstellung erfolgt über das Systembild (siehe auch Abbildung 9-2), wo die Güterflüsse übersichtlich dargestellt sind. Im Szenarienvergleich können so auch Optimierungspotentiale identifiziert werden. Damit wird es möglich, durch Steuerungsmaßnahmen die Effizienz zu erhöhen und die Nutzungskaskade zu optimieren bzw. Downcycling zu reduzieren.

### **Raumbedarf Deponievolumen**

Da die Stadt Wien aufgrund der kleinen Fläche nur wenig Deponieraum zur Verfügung hat ist der Verbrauch an Deponieraum wichtig. Für die einzelnen Szenarien wird der Bedarf an Deponieraum über die zeitlichen Systemgrenzen abgeschätzt und gegenüber gestellt. Die Frage der Entsorgung hat auf die Nachhaltigkeit entscheidenden Einfluss. Die Möglichkeit einer schadstofffreien Rückführung in den Stoffkreislauf, sei es in Form des Recyclings, der Deponierung oder der thermischen Verwertung, muss gegeben sein.

### **Regionaleffizienz**

Unter der Regionaleffizienz ist die Bedeutung eines Produktes für die Region zu verstehen. Je mehr materielle und personelle Ressourcen der Region nachhaltig verwendet werden, desto größer ist der Wert der Komponente für die Region (Indikatoren sind: Regionale Ressourcenverfügbarkeit, regional verfügbare Infrastruktur für alle Lebenszyklusphasen des Produkts, Analyse des Produktionsvorgangs und der anfallenden Koppelprodukte und damit verbundene potentielle Synergieeffekte, regionale Arbeitszeit im Vergleich zur überregionalen Arbeitszeit für die Produktherstellung, regionale Transportoptimierung, usw.).

Für die Stadt Wien, welche selbst nur sehr geringe Rohstofflager besitzt, ist die Erhöhung der Ressourceneffizienz und der Wertschöpfung durch Verwendung von Sekundärressourcen aus Abbruchprozessen im Bauwesen von besonderem Interesse. In der Fallstudie wird die regionale Wertschöpfung anhand von Bau- und Abbruchholz untersucht.

### **Lagerbeurteilung**

Die Basis liefert wiederum das Systembild (siehe auch Abbildung 9-2) der einzelnen Szenarien. Das Lager wird hinsichtlich Schadstoffpotential, Lagerbewirtschaftung, zukünftiger Beitrag des Lagers als Rohstofflieferant für stoffliche und energetische Verwendung analysiert. Z.B. können anhand des Holzlagers im Gebäudebestand die „virtuelle Waldfläche“ bei stofflicher Verwertung und das „Substitutionspotential fossiler Energieträger“ bei thermischer Nutzung bestimmt werden.

In der vorliegenden Studie wird speziell die Lagerentwicklung des in der Stadt gespeicherten Holzes der nächsten hundert Jahre für die drei Szenarien errechnet. Daraus kann einerseits auf das zukünftige Ressourcenpotential bzw. die Zusammensetzung zukünftiger Baurestmassen geschlossen werden und andererseits ergeben sich daraus die Anforderungen an die Gestaltung der zukünftigen Infrastruktur.

### **8.4.3 Energieeffizienz – Kumulierter Energieaufwand KEA**

Der kumulierte Energieaufwand setzt sich aus den energetischen Ressourcen zusammen, die in der Herstellungskette des Produktes verwendet wurden und wird in Megajoule Äquivalenten [MJ-Eq] angegeben. Der kumulierte Energieaufwand wird in erneuerbare Energieträger aus Biomasse, nicht erneuerbare Energieträger aus fossilen Quellen, nicht erneuerbaren Energieträgern aus nuklearen Quellen, erneuerbarer Energie aus Wasserkraft sowie erneuerbarer Energie aus Windkraft, Sonnenenergie und geothermischen Quellen. In dieser Studie wird der erneuerbare Energieanteil zum Kumulierten Energieaufwand erneuerbar (KEAe) und der nicht erneuerbare Energieanteil zum Kumulierten Energieaufwand nicht erneuerbar (KEAne) zusammengefasst.

In der Bewertung wird der Einsatz erneuerbarer Energieträger („Einsatzgrad“ in [%]) im Verhältnis zum Gesamtenergieeinsatz angegeben.

Der Kumulierte Energieaufwand (KEA) wird in dieser Studie mit der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth et al. 2004] errechnet.

### **8.4.4 Treibhauspotential**

Durch anthropogene Aktivitäten werden immer mehr Gase in die Atmosphäre abgegeben, welche eine Verstärkung des Treibhauseffektes bewirken. Dadurch wird ein höherer Anteil der von der Erde abgehenden Wärmestrahlung absorbiert und damit das Strahlungsgleichgewicht der Erde verändert (anthropogener Treibhauseffekt). Dies hat globale Klimaveränderungen zur Folge. Je weniger Wärme die Erde in den Weltraum abstrahlt, desto höher ist die mittlere Temperatur der bodennahen Lufthülle. Das mengenmäßig wichtigste Treibhausgas ist Kohlendioxid, das Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP) aller anderen Substanzen wird daher auf diese Substanz in Form von CO<sub>2</sub> - Äquivalenten bezogen. Für einige häufig vorkommende Substanzen (Methan, Distickstoffoxid, die technisch wichtigsten FCKWs und einige persistente CKWs), die zur Erhöhung des Treibhauseffekts beitragen, wurden Parameter in der Form des GWP (Global Warming Potenzial) entwickelt. Mit Hilfe dieses Parameters kann der direkte Einfluss auf den Treibhauseffekt zu einer Wirkungskennzahl zusammengefasst werden.

Das GWP (Global Warming Potential) beschreibt den Beitrag eines Spurengases zum Treibhauseffekt, jedoch nicht als Absolutgröße, sondern relativ zu CO<sub>2</sub>, jenem Gas, das einerseits einen großen Beitrag zum lebenswichtigen, natürlichen Treibhauseffekt, jedoch auch - aus fossiler Verbrennung im Industriezeitalter vermehrt freigesetzt - einen signifikanten Beitrag zum anthropogen verursachten Treibhauseffekt leistet. Vereinfacht gesagt, wird jeder in Frage kommende Stoff auf Äquivalenzmengen [in kg CO<sub>2</sub>] zu CO<sub>2</sub> umgerechnet. Der zur An-

wendung gebrachte Faktor, mit dem die emittierten Schadstoffmengen multipliziert werden, ist somit das auf CO<sub>2</sub> normierte GWP.

Das GWP<sub>i</sub> eines Gases i wird, auf Basis der diskutierten Parameter, wie folgt berechnet:

$$GWP_i = \left( \int a_i \cdot c_i(t) dt \right) / \left( \int a_{CO_2} \cdot c_{CO_2}(t) dt \right) \text{ (Integration über den Zeitraum T)} \quad (6)$$

- a<sub>i</sub> Wärmestrahlungsabsorption pro Einheitskonzentrationsanstieg eines Treibhausgases i
- i Treibhausgas i (siehe auch nachfolgende Liste)
- c<sub>i</sub>(t) Konzentration eines Treibhausgases i zum Zeitpunkt nach der Emission
- T Anzahl der Jahre, über die integriert wird – betrachteter Zeitraum.

Nachstehend sind von ausgewählten Stoffen die entsprechenden Treibhauspotenziale GWP<sub>i</sub> - bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren nach IPCC - aufgelistet: Erwärmungspotenziale ausgewählter Stoffe [Heijungs et al. 1992].

Stoff:	GWP <sub>i</sub> [kg CO <sub>2</sub> -equiv/kg] (Faktor)
• Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	1
• Methan (CH <sub>4</sub> )	21
• Distickstoffoxid (Lachgas – N <sub>2</sub> O)	310
• Tetrachlorkohlenstoff (CCl <sub>4</sub> )	1.400
• Trichlorfluormethan (R11, FCKW-11)	4.000
• Tetrafluormethan (CF <sub>4</sub> )	6.500
• Dichlordifluormethan (R12, FCKW-12)	8.500
• Hexafluorethan (C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> )	9.200
• FCKW 13	11.700
• Schwefelhexafluorid (SF <sub>6</sub> )	23.600

Die Berechnung des Treibhauseffektes eines Gases i [in kg CO<sub>2</sub> – Äquivalenten] mittels der GWP<sub>i</sub> - Faktoren wird mittels einfacher Multiplikation des Äquivalenzfaktors GWP<sub>i</sub> mit der emittierten Menge des Gases i wie folgt durchgeführt:

$$\text{Treibhauseffekt [kg CO}_2\text{-equiv.]} = GWP_i [\text{kg CO}_2\text{-equiv./kg Gas}] \cdot m_i [\text{kg Gas}] \quad (7)$$

Der Einsatz von Holz als Baustoff und erneuerbarer Energieträger bzw. die optimierte Kombination dieser beiden Nutzungsmöglichkeiten hat einen Einfluss auf den Ausstoß von klimarelevanten Treibhausgasen. Aufgrund der politischen Aktualität des Themas zum Zweck der Quantifizierung des möglichen Effekts zur Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen wird das Treibhauspotential als Indikator verwendet.

Der Treibhauseffekt wird in dieser Studie mit der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth et al. 2004] unter Verwendung der Wirkungsbilanzdaten der CML – 2001 Methode [Guineé et al. 2001] errechnet.

### 8.4.5 Stratosphärisches Ozonabbaupotential

Die Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht wird durch die Katalysatorwirkung von Halogenen unter speziellen klimatischen Bedingungen verursacht. In der Stratosphäre wird durch das dort vorhandene Ozon ein großer Teil der harten UV-Strahlung der Sonne absorbiert. In Abhängigkeit von bestimmten klimatischen Bedingungen wird durch die Katalysatorwirkung von FCKW-Verbindungen Ozon zu Sauerstoff abgebaut. Einige dieser Gase zerstö-

ren wegen ihrer langen Verweildauer in der Stratosphäre noch Jahrzehnte nach ihrer Emission Ozonmoleküle. In erster Linie sind dafür Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) verantwortlich. Da Katalysatoren chemische Reaktionen beschleunigen, selbst aber unverändert wieder daraus hervor gehen, kann ein einziges Chloratom viele tausende Ozonmoleküle zerstören. Das Ozonzerstörungspotential wird relativ zur Leitsubstanz des Treibmittels R11 angegeben (R11 – Äquivalente).

Die abgeschwächte Ozonkonzentration (das „Ozonloch“) führt zu einer stärkeren Transmission der Sonnenstrahlung im UV-Bereich. Negative Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere und Menschen sind die Folge (z.B. Erhöhung des Hautkrebsrisikos, Schädigung der DNA, usw.).

Zur Abschätzung dieses Effektes wird das Ozone Depletion Potential (ODP) definiert, indem der durch eine Einheit des Gases  $i$  verursachte Ozonabbau auf den durch die Leitsubstanz Trichlorfluormethan ( $\text{CCl}_3\text{F}$  = FCKW-11 bzw. R11) verursachten Ozonabbau normiert wird:

$$\delta[\text{O}_3]_i \quad \text{Globaler Ozonabbau verursacht durch eine Einheit Gas } i \quad (8)$$

$$\delta[\text{O}_3]_{\text{R-11}} \quad \text{Globale Ozonabbauten verursacht durch eine Einheit R-11} \quad (9)$$

Nachstehend ist für ausgewählte Stoffe das Ozonabbaupotenzial aufgelistet:

Stoff:	ODP <sub><i>i</i></sub> [kg R-11-equiv/kg]
• Trichlorfluormethan (R11, FCKW-11)	1,00
• Dichlordifluormethan ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ R12, FCKW-12)	0,82
• $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$ (FCKW 113)	0,90
• $\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$ (FCKW 114)	0,85
• $\text{C}_2\text{ClF}_5$ (FCKW 115)	0,40
• $\text{HCIFC}_2$ (HFCKW 22)	0,04
• $\text{CH}_3\text{CCl}_3$ (HC 140a)	0,12
• $\text{CF}_3\text{Br}$ (Halon 1301)	12,00
• $\text{CF}_2\text{BrCl}$ (Halon 1211)	5,10
• $\text{CCl}_4$ (Tetrachlormethan)	12,00

Der Abbau der Ozonschicht (in Äquivalenten kg R-11) ergibt sich dann aus der Multiplikation der emittierten Masse eines Gases  $m_i$  in kg mit dem ODP-Faktor: Ozonabbau

$$[\text{kg R-11-equiv.}] = \text{ODP}_i [\text{kg R-11-equiv./kg}] \cdot m_i [\text{kg}] \quad (10)$$

ODP-Faktoren wurden bislang nur für FCKWs abgeleitet, obwohl andere Elemente sowohl direkt durch chemische Reaktionen ( $\text{NO}_2$  und  $\text{N}_2\text{O}$ ) als auch indirekt durch den Treibhauseffekt ( $\text{CH}_4$  und  $\text{CO}_2$ ) am Ozonabbau beteiligt sind. Eine Quantifizierung dieser Beiträge ist wegen der komplizierten Vorgänge in der Stratosphäre sehr schwierig. Auch Synergieeffekte, beispielsweise wirken FCKW-Teile katalytisch auf die Abbaureaktion anderer FCKWs, sind im Modell nicht enthalten. Darüber hinaus ist die zeitlich sehr unterschiedliche Abbauintensität der Gase nur im Mittel enthalten, d.h. ein sehr reaktives und kurzlebiges Gas kann denselben ODP-Faktor haben wie ein langlebiges, aber nur schwach reaktives Element.

Das Ozonzerstörungspotential wird in dieser Studie mit der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth et al. 2004] unter Verwendung der Wirkungsbilanzdaten der CML – 2001 Methode [Guineé et al. 2001] errechnet.

### 8.4.6 Versauerungspotential

Die Versäuerung, allgemein bekannt durch das Phänomen des sauren Regens und dem damit verbundenen Säureeintrag in Pflanzen, Boden und Oberflächengewässern, wird hauptsächlich durch die Wechselwirkung von Stickoxid (NO<sub>x</sub>) und Schwefeldioxidgasen (SO<sub>2</sub>) mit anderen Bestandteilen der Luft wie dem Hydroxyl-Radikal (O-H Verbindung, baut Luftschadstoffe ab) verursacht. Das Maß für die Tendenz der Komponente, säurewirksam zu werden, ist das Säurebildungspotenzial (Acidification Potential AP), relativ zu Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub> - Äquivalenten) angegeben.

Einerseits resultieren daraus Blattschäden an Pflanzen, andererseits eine Versauerung von Oberflächengewässern (Änderung des pH - Wertes) und der Böden. Die Bodenversauerung verändert die Löslichkeit und somit die Pflanzenverfügbarkeit von Nähr- und Spurenelementen, wodurch z.B. die Aufnahme von Schwermetallen gesteigert oder aber die Aufnahme gewisser Nährstoffe durch die Pflanze behindert und somit deren Wachstum negativ beeinflusst wird.

Die Säurebildungspotenziale (AP = Acidification Potential) sind ein Maß für die Tendenz einer Masseneinheit einer Komponente *i*, Protonen H<sup>+</sup>, normiert auf das H<sup>+</sup>- Potenzial der Leitsubstanz SO<sub>2</sub>, freizusetzen.

$$AP_i = (V_i/M_i)/(V_{SO_2}/M_{SO_2}) \quad (11)$$

V<sub>i</sub> Säurepotenzial für die Komponenten *i* (analoges gilt für SO<sub>2</sub>)

M<sub>i</sub> Masseneinheit des Stoffes *i* (analoges gilt für SO<sub>2</sub>)

Säurebildungspotenziale ausgewählter Stoffe [Heijungs et al., 1992]:

Stoff	AP <sub>i</sub> [kg SO <sub>2</sub> -equiv./kg]
• SO <sub>2</sub>	1,2
• NH <sub>3</sub>	1,6
• NO <sub>x</sub>	0,5

Die Berechnung der Säurebildung in kg-SO<sub>2</sub>-Äquivalenten für m<sub>i</sub> kg einer relevanten Komponente *i* verläuft wiederum in Analogie zu den Schadstoffpotenzialen:

$$\text{Säurebildung [kg SO}_2\text{-equiv.]} = AP_i \text{ [kg SO}_2\text{-equiv./kg]} \cdot m_i \text{ [kg]} \quad (12)$$

Das Versauerungspotential wird in dieser Studie mit der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth et al. 2004] unter Verwendung der Wirkungsbilanzdaten der CML – 2001 Methode [Guineé et al. 2001] errechnet.

### 8.4.7 Eutrophierungspotential

Beim Düngen werden zusätzlich Nährstoffe in Boden und Wasser eingebracht, um die landwirtschaftliche Produktion zu erhöhen. Durch zu starke Düngung kann es zu unterschiedlichen Umwelteffekten, z. B. einer Verschiebung der Artenvielfalt (die Anzahl der vorkommenden Lebewesen und Pflanzen, d.h. die Biodiversität, wird reduziert) des Ökosystems, kommen.

Die Berechnung ist derzeit auf Substanzen beschränkt, die entweder Stickstoff oder Phosphor enthalten. Der potentielle Beitrag einer Substanz zur Produktion von Biomasse, die im Modell als Algen modelliert wird, wird aus den Mengenanteilen Algenäquivalent dividiert

durch die Molekularmasse der betrachteten Substanz berechnet, wobei dieser Wert auf die Leitsubstanz  $PO_4^{3-}$  normiert wird. Das Nitrification Potential NP ergibt sich aus:

$$NP_i = (\gamma_i/M_i) / (\gamma_{PO_4^{3-}}/M_{PO_4^{3-}}) \quad (13)$$

$\gamma_i$  stöchiometrischer Koeffizient einer Substanz i oder von  $PO_4^{3-}$

$M_i$  molekulare Masse einer Substanz i oder von  $PO_4^{3-}$

Für einige ausgewählte Stoffe wird das Eutrophierungspotenzial ( $NP_i$ ) nachstehend aufgelistet: (dieses Potenzial in Phosphatäquivalenten basiert auf einer durchschnittlichen Biomassezusammensetzung von  $C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P$  - Algen) [Heijungs et al. 1992]:

Stoff	$NP_i$ [kg $PO_4^{3-}$ -equiv/kg]
• Stickstoffmonoxid NO	0,20
• Stickstoffdioxid $NO_2$	0,13
• Stickoxide $NO_x$	0,13
• Ammonium $NH_4^+$	0,33
• Stickstoff N	0,42
• Phosphat $PO_4^{3-}$	1,00
• Phosphor P	3,06

Multipliziert mit der Masse der emittierten Substanz  $m_i$  in kg ergibt sich die Überdüngung (in Äquivalenten kg  $PO_4^{3-}$ ):

$$\text{Überdüngung [kg } PO_4^{3-}\text{-equiv.]} = NP_i \text{ [kg } PO_4^{3-}\text{-equiv./kg]} \cdot m_i \text{ [kg]} \quad (14)$$

Durch Überdüngung ins Grundwasser gelangte Nitrate werden durch diese Definition der Überdüngung nicht berücksichtigt.

Das Eutrophierungspotenzial wird in dieser Studie mit der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth et al. 2004] unter Verwendung der Wirkungsbilanzdaten der CML – 2001 Methode [Guineé et al. 2001] errechnet.

### 8.4.8 Photooxidantienpotential

Reaktionsfreudige Gase können unter Einfluss von Sonnenstrahlung (UV - Anteil) Photooxidantien bilden und so den so genannten Sommersmog verursachen. Ozon ist das wichtigste Produkt dieser photochemischen Reaktion und auch die Hauptursache für smogbedingte Augenreizungen und Atemprobleme sowie für Schäden an Bäumen und Feldfrüchten. Die photochemische Oxidation beruht auf Reaktionen zwischen Stickstoffoxiden ( $NO_x$ ) und organischen, flüchtigen Komponenten (VOC = Volatile Organic Compound) unter UV-Bestrahlung. Die POCP-Faktoren (Photochemical Ozone Creation Potenzial) sind für einzelne VOC's wieder auf eine Leitsubstanz normiert, in diesem Fall das Olefin Ethylen ( $H_2C=CH_2$ ), d.h. die Substanzen i werden über das Oxidationspotenzial von  $C_2H_4$  beschrieben.

$$POCP_i = (a_i/b_i(t)) / (a_{C_2H_4}/b_{C_2H_4}(t)) \quad (15)$$

$a_i$  Ozonabbau in Abhängigkeit von der Emission des VOC-Gas i

$b_i(t)$  die Emission des VOC Gases i bis zum Zeitpunkt (t) integriert.

Nachstehend ist für ausgewählte Stoffe das photochemische Photooxidantienbildungspotenzial als Ethenäquivalente aufgelistet [Heijungs et al. 1992]:



Stoff	POCPI [kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -equiv./kg]
<b>Alkane</b>	
• Methan	0,006
• Ethan	0,123
• Propan	0,176
<b>Olefine</b>	
• Ethen	1,000
• Propen	1,120
<b>Alkine</b>	
• Acetylen	0,085
<b>Alkohole</b>	
• Methanol	0,140
• Ethanol	0,399
<b>Aldehyde</b>	
• Formaldehyd	0,519
• Alcetaldehyd	0,641
<b>Ketone</b>	
• Aceton	0,094
<b>Aromaten</b>	
• Benzol	0,218
• Toluol	0,637
• o-Xylol	1,050

Die Berechnung der photochemischen Oxidantienbildung für  $m_i$  kg einer VOC Komponente  $i$  verläuft wiederum in Analogie zu den Schadstoffpotenzialen:

$$\text{Bildung von Oxidantien [kg C}_2\text{H}_4\text{-equiv.]} = \text{POCPI [kg C}_2\text{H}_4\text{-equiv./kg]} \cdot m_i \text{ [kg]} \quad (16)$$

Das Photooxidantienpotential wird in dieser Studie mit der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth et al. 2004] unter Verwendung der Wirkungsbilanzdaten der CML – 2001 Methode [Guineé et al. 2001] errechnet.

#### 8.4.9 Denaturierende Landbeanspruchung

Dieser Begriff umfasst den Konsum an Naturlandschaft für die Rohstoffgewinnung, Produktionsprozesse, Transporte und Verwertung bzw. Entsorgung für eine bestimmte Nutzungseinheit. Da der Verbrauch an Naturlandschaft mit ökologischen Folgen verbunden ist (Zerstörung der obersten Bodenschicht, Retentionsverminderung, Zerstörung oder Veränderung von Biotopen, Veränderungen in der Artenvielfalt usw.) sollte dieser Verbrauch möglichst gering gehalten werden.

Der Landverbrauch wird in dieser Studie mit der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth et al. 2004] unter Verwendung der Wirkungsbilanzdaten der CML – 2001 Methode [Guineé et al. 2001] errechnet. Für das Baumaterial Holz wird der Flächenverbrauch mit für Österreich typischen Kennzahlen noch zusätzlich überprüft.

#### 8.5 Methodisches Vorgehen bei der Fallstudie Wien

Im Folgekapitel wird anhand des Beispiels Wien (Kapitel 9) das methodische Vorgehen Schritt für Schritt in einem iterativen Prozess erarbeitet und angewendet. Das Vorgehen besteht aus folgenden allgemein formulierten Arbeitsschritten:

### **Zielsetzung und Fragestellung**

Entsprechend der zu lösenden Aufgabenstellung wird in einem ersten Schritt die Zielsetzung formuliert. Danach folgt die Identifikation der Fragen, welche beantwortet werden müssen, um das gesetzte Ziel zu erreichen.

### **Wahl der funktionalen Einheit**

Dabei muss definiert werden, was in welchem Umfang und welcher Qualität ein Nutzen bereitgestellt werden soll. Das heißt, dass gemäß ISO 14040 der Nutzen des Produktsystems (Wohn- und Bürobau Wien, die Menge der funktionalen Einheit ist die 2001 errichtete Wohn- und Büronutzfläche) quantifiziert werden muss, um im Rahmen der zu entwickelnden Szenarien den selben Nutzen erbringen zu können und somit die Voraussetzung für die Vergleichbarkeit zu schaffen. Die Szenarien werden für die gesamte 2001 hergestellte Wohn- und Büronutzfläche berechnet und in weiterer Folge auf einen Quadratmeter Nutzfläche bezogen.

### **Verwendete Methoden und methodisches Vorgehen**

Die verwendeten Methoden und die geplanten Arbeitsschritte werden beschrieben, welche erforderlich sind um die gesetzten Ziele zu erreichen.

### **Untersuchungsrahmen**

Im Untersuchungsrahmen werden der Detaillierungsgrad und die Untersuchungstiefe der vorliegenden Studie sowie die damit verbundene Datengenauigkeit beschrieben. Auf der Festlegung des Untersuchungsrahmens beruhen die Systemanalyse und die Systembeschreibung. Die Festlegung des Untersuchungsrahmens erfolgt in einem iterativen Arbeitsprozess parallel zur Systemanalyse und Systembeschreibung.

### **Systemanalyse und Systembeschreibung:**

Auf Basis der Zielsetzung und Fragestellung ist das System zu analysieren und zu definieren. Parallel zu diesem Schritt werden auch der Untersuchungsrahmen und die Untersuchungstiefe, wie bereits erwähnt, festgelegt.

Es sind die zeitlichen und räumlichen Systemgrenzen zu wählen. Zur Systembeschreibung gehört auch die Berücksichtigung des Umfeldes und eventuell jener Sektoren, welche durch das untersuchte System beeinflusst werden könnten, um Effekte in anderen Systemen berücksichtigen zu können.

Die wichtigsten Prozesse werden mittels einer groben Analyse der zu erwartenden Güterflüsse identifiziert. Das Resultat sind die einzubeziehenden Prozesse, welche wiederum in Subsystemen zusammengefasst werden können. Dieser Arbeitsschritt muss im Verlauf der Ausarbeitung der Studie immer wieder evaluiert und entsprechend dem Wissensstand angepasst werden.

### **Prozessbeschreibung**

Die als bedeutsam identifizierten Prozesse werden der Reihe nach analysiert und beschrieben. Die Beschreibung beinhaltet die geografische Lage und die Beschreibung aller Input- und Outputflüsse der einzelnen Prozesse, welche in ihrer Gesamtheit das Gesamtsystem ergeben. Bei den Inputflüssen werden die Herkunftsprozesse benannt. Die Inputgüter kön-

nen innerhalb des betrachteten Prozesses transformiert werden und gelangen anschließend verändert oder auch unverändert als Outputgüter zum nächsten Prozess. Dabei sind die Transferkoeffizienten und die Zielprozesse zu benennen. Ist die Outputmenge nicht gleich der Inputmenge, so erfolgt entweder eine Lagerbildung oder ein Lagerabbau. Die Transporte zwischen den Prozessen sind ebenfalls zu beschreiben.

### **Datenerfassung**

Für alle Prozesse sind die Daten zu erfassen, wobei die Datenqualität und die Datenquelle benannt und dokumentiert werden müssen. Um die Nachvollziehbarkeit zu garantieren muss dieser Vorgang möglichst transparent dokumentiert werden. Bei unsicherer Datenlage kann eine Angabe der Bandbreite erfolgen und es ist eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen.

### **Entwicklung alternativer Szenarien**

Je nach Zielsetzung und Fragestellung können, wie in der vorliegenden Studie, Szenarien gewählt werden. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, muss die funktionale Einheit für alle Szenarien identisch sein. Die Wahl der Szenarien soll so erfolgen, dass damit Extremwerte gezeigt werden können, zwischen denen sich das Spektrum der Auswirkungen je nach Einsatz von untersuchten Gütern bewegen kann.

### **Bewertung**

Je nach Zielsetzung und Problemstellung werden Bewertungsindikatoren gewählt.

### **Interpretation**

Die Ergebnisse der Bewertung werden interpretiert und auf Plausibilität überprüft. Schlussfolgerungen werden gezogen sowie Handlungsanweisungen und Optimierungsvorschläge formuliert.

## 9 Anwendung der Methode - Fallstudie Wien

Nachfolgend werden die in Kapitel 8.5 beschriebenen Arbeitsschritte anhand des Beispiels der Stadt Wien durchgeführt. Im Zentrum der Untersuchung steht dabei die Fragestellung, wie sich verstärkter Holzeinsatz im Wohn- und Bürohausbau auf die Treibhausgasbilanz im Vergleich zum 2001 tatsächlich eingesetzten Materialmix in diesem Sektor des Hochbaues auswirkt.

### 9.1 Zielsetzung und Fragestellung

Ziel ist die Erfassung und ökologische Bewertung der in Wien im Jahr 2001 in den tragenden Strukturen im Wohn- und Bürobau eingesetzten Baumaterialien. Dabei wird wiederum der Einsatz des Baustoffes Holz für den „Ist-Stand“ im Jahr 2001 (Szenario 1), der „Maximalen Verwendung von Holz gemäß Bauordnung“ (Szenario 2) und für den theoretischen Extremfall „Alles aus Holz (misch) Bauweisen“ (Szenario 3) und die damit verbundenen Auswirkungen auf den Treibhauseffekt vertieft betrachtet. Die für diese drei Szenarien erforderlichen Mengen an Holz sollen quantifiziert und mit dem in Wien regional verfügbaren Ressourcenpotential an Holz verglichen werden. Dazu gehört auch die Abschätzung des in Wien eingebauten Holzlagers. Da Holz eine Kohlenstoffsenke darstellt soll auch untersucht werden, in welchem Ausmaß der verstärkte Einbau des Baustoffes Holz in Wien und die damit verbundene Vergrößerung des Holzlagers in der Stadt zur Zielerreichung des Klimaschutzes beitragen kann. Die Erkenntnisse aus der Bewertung der drei Szenarien sollten zur Identifikation möglicher Steuerungsmaßnahmen führen, welche:

- Umweltbelastungen durch das Bauwesen über den gesamten Lebenszyklus minimieren,
- den Einsatz regional verfügbarer Baumaterialien hinsichtlich der Verwendung von regional verfügbaren Sekundärressourcen und der Transportminimierung optimieren,
- den Einsatz regional verfügbarer nachwachsender Baumaterialien, vor allem Holz, unter dem Aspekt der Kohlenstoffspeicherung im urbanen Kontext maximieren,
- mögliche Gefahrenpotentiale im Lager des Hochbaues abbauen und
- eine künftige gezielte Lagerbewirtschaftung ermöglichen.

Um diese Zielsetzung zu erreichen, müssen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Aus welchen Prozessen besteht das System der Stadt Wien samt dem Hinterland (alle zur Ver- und Entsorgung der Stadt erforderlichen Prozesse) aus?
2. Welche Bereiche des Wohn- und Bürobaus in Wien sind für den Holzeinsatz geeignet und relevant?
3. Welche Menge an zum Bauen geeignetem Holz ist regional verfügbar und wie kann der Einsatz von Holz zum Klimaschutz beitragen?
4. Wie schaut das Lager des Bauwesens in Wien aus und welche Gefährdungs- und Nutzungspotentiale sind damit verbunden?

5. Wie soll das Lager zukünftig zusammengesetzt sein und wie sollte dabei Holz eingesetzt werden?
6. Kann der verstärkte Holzeinsatz für den Handel mit Emissionszertifikaten eine relevante Größe sein?

Neben dieser auf Holz fokussierten Zielsetzung und Fragestellung wird gleichzeitig ein methodisches Vorgehen entwickelt, welches auch für andere Problemstellungen bzw. andere Baumaterialien im Bereich des Bauwesens angewendet werden kann. Das Ergebnis soll ein Erfassungs-, Bewertungs- und Steuerungselement für ein optimiertes Management von Bauressourcen sein.

## **9.2 Wahl der funktionalen Einheit - Szenarien**

Die funktionale Einheit ist die im Jahr 2001 tatsächlich gebaute Wohn- und Büronutzfläche in Wien. Laut Statistik wurden 2001 in Wien im Wohn- und Bürobau insgesamt 1.182.339 m<sup>2</sup> Nutzfläche errichtet. Die detaillierte Analyse und Ermittlung dieser Nutzfläche ist in Kapitel 9.6 Datenerfassung dokumentiert. Diese 2001 errichtete Wohn- und Büronutzfläche weist die für Wien ortsüblichen Standards hinsichtlich konstruktiver und bauphysikalischer Anforderungen auf, welche für diese Studie anhand eines 2001 errichteten repräsentativen Bauwerkes mit Wohn- und Büronutzung [Nölte, 2002] festgelegt wurden. Der durch die funktionale Einheit beschriebene vergleichbare Nutzen stellt somit die 2001 errichtete Wohn- und Büronutzfläche dar, für welche drei funktional äquivalente Szenarien entwickelt werden:

Szenario 1 entspricht dem Ist – Stand des Jahres 2001. Das heißt, dass die dafür erforderlichen Materialmengen zur Herstellung der funktionalen Einheit den tatsächlichen Gegebenheiten sehr nahe kommen.

Szenario 2 simuliert den maximal möglichen Einsatz von Holzbauweisen laut Wiener Bauordnung bei der Errichtung der Wohn- und Büronutzfläche 2001 in Wien. Das bedeutet, dass alle Gebäude bis zu fünf Geschossen in der Wiener Bauordnung entsprechenden Holzbauweisen konstruiert werden. Diese Holzbauweisen (siehe auch Kapitel 7) sind hinsichtlich bauphysikalischer Anforderungen funktional äquivalent im Vergleich zu den substituierten Bauweisen. Alle Gebäude mit mehr als fünf Geschossen sowie sämtliche Kellerflächen sind mit Szenario 1 identisch.

Szenario 3 simuliert den Extremfall, dass die gesamte 2001 in Wien errichtete Wohn- und Büronutzfläche in Gebäuden aus Holz(misch)bauweisen (siehe auch Kapitel 7) errichtet werden. Das bedeutet, dass die erforderliche Nutzfläche in maximal fünfgeschossigen Bauwerken zur Verfügung gestellt werden muss. Die sich daraus ergebenden städtebaulichen Konsequenzen werden in dieser Fallstudie nicht betrachtet. Bei der Auswahl der Bauweisen wurde auf funktionale Äquivalenz im Vergleich zu den substituierten Bauweisen geachtet, die Wiener Bauordnung kann auch in Szenario 3 eingehalten werden. Die Kellerflächen werden mit Szenario 1 identisch angenommen.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass jede Bauweise ihre charakteristischen Vor- und Nachteile aufweist und daher nie identisch gestaltet werden kann. Funktional gleichwertig ist in diesem Zusammenhang so zu verstehen, dass zumindest die Wiener Bauordnung eingehalten wird und das Wärmedämmsystem, egal ob Ziegel-, Beton- oder Holzbauweise bzw.

diverse Mischbauweisen, für alle Bauweisen denselben U-Wert aufweist. In der funktionalen Einheit ist somit das Tragsystem samt dem erforderlichen Wärmedämmsystem, allen erforderlichen Einbauten zur Einhaltung des Schallschutzes (Decken samt Bodenaufbau bis Oberkante Estrich, fixe Wände und Trennwände) enthalten. Eine exakte Beschreibung der inkludierten Bauteile ist bei der Beschreibung der Systemgrenzen enthalten.

### **9.3 *Verwendete Methoden und methodisches Vorgehen***

Auf Basis vorhandener Literatur wird in einem ersten Schritt als Basis der Arbeit das Bauwesen allgemein beschrieben und in weiterer Folge das System „Bauwesen Wien“ mit der Methode der Stoffflussanalyse (Beschreibung in Kapitel 8.1.1) erstellt. Es folgt die Identifikation der wichtigsten Prozesse und der dadurch gebildeten Subsysteme sowie deren Beschreibung und die Festlegung der Systemgrenzen der Stadt Wien und des zur Versorgung mit Baustoffen notwendigen Hinterlandes.

Der nächste Schritt ist die Datenerfassung für das gewählte System. Dafür werden für die Arbeit relevante statistische Grunddaten der Stadt Wien sowie gesamtösterreichische Daten, welche nur auf nationaler Ebene verfügbar sind und zum Schließen von Datenlücken auf die Stadt Wien anhand allgemeiner Kennzahlen (Bewohner, Anzahl der Haushalte, Anteile an bestimmten Sektoren der Wirtschaft usw.), erfasst. Außerdem bietet der Vergleich Wien – Gesamtösterreich eine Kontrolle der Größenordnung bei diversen Berechnungen und Annahmen. Im speziellen dient die Wiener Gebäudestatistik als Grundlage der Datenerfassung, aus welcher für das Jahr 2001 die Anzahl der geschaffenen Büro- und Wohnflächen, die Anzahl der Gebäude sowie deren Geschoßanzahl und deren Bauweise hervorgeht. Angaben über den gesamten Gebäudebestand in Wien und die entsprechenden Nutzflächen sind ebenfalls verfügbar.

Auf dieser Datenbasis kombiniert mit weiterer Literatur wird eine grobe Gesamtbaumaterialbilanz des Hoch- und Tiefbaues für Wien erstellt und dabei analysiert, ob es neben den Büro- und Wohnbauten weitere bedeutende Einsatzbereiche für den Baustoff Holz in tragenden Strukturen innerhalb des Systems gibt. Das Gesamtlager der Stadt Wien wird ebenfalls abgeschätzt. Die Grobbilanz über das gesamte Bauwesen dient außerdem als Referenzgröße für die Bedeutung und den Stellenwert des Wohn- und Bürobaues innerhalb des gesamten Bauwesens. Die Daten bezüglich des Anfalles sowie der Verwertung und Entsorgung von Baurestmassen werden vor allem aus dem Wiener Abfallwirtschaftskonzept 2002 und dem österreichischen Bundesabfallwirtschaftsplan 2001 sowie ergänzender Literatur entnommen.

Parallel dazu werden die in Wien gängigen Bauweisen anhand von realisierten Projekten hinsichtlich Materialzusammensetzung analysiert. Dadurch wird für jede Bauweise eine Materialmatrix errechnet, welche bezogen auf einem Quadratmeter Wohn- bzw. Büronutzfläche dargestellt wird. Durch die Kombination dieser Daten mit den Daten der Gebäude- und Wohnbaustatistik wird der Baumaterialinput in das betrachtete System errechnet. Die Ermittlung der Baustellenabfälle (Verschnitt, Verluste, Hilfsmaterial usw.) wird mittels Kalkulationsbüchern für den Hochbau und aus weiterer Literatur ermittelt, woraus sich der Gesamtinput in das System ergibt. Der Output in das Abfallwirtschaftssystem (Sekundärressourcenmanagement) errechnet sich aus der Summe des Gebäudeabgangs laut Statistik und den Baustel-

lenabfällen. Die Transferkoeffizienten der Materialien zu den einzelnen Verwertungs- und Entsorgungswegen sind im Wiener Abfallwirtschaftskonzept dokumentiert.

Damit können für den Ist-Stand 2001 die Materialmengen errechnet werden. Für die Szenarien 2 und 3 werden in analoger Weise die Materialflüsse berechnet.

Die Bewertung erfolgt einerseits mittels der Interpretation der im System dargestellten Materialflüsse und Lagerbildungen, welche mit geografischen und geologischen sowie Land- und forstwirtschaftlichen Informationen verknüpft werden. Damit können hauptsächlich Aussagen hinsichtlich Ressourceneffizienz und lokalen Gefahrenpotentialen getätigt werden.

Das Gesamtsystem wird hinsichtlich Energieeffizienz (KEA) und Umweltwirkungspotentialen (CML – 2001 – Methode) unter Zuhilfenahme der Datenbank Ecoinvent 2000 bewertet. Das so erhaltene sehr breit angelegte Bewertungsspektrum dient als Basis zur Interpretation der drei Szenarien sowie zum Ziehen von Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen.

## **9.4 Untersuchungsrahmen**

Da gemäß der Zielsetzung der Arbeit der Einsatz des Baumaterials Holz in tragenden Strukturen im Zentrum der Untersuchung steht wird der Büro- und Wohnbau detailliert untersucht. Die restlichen Sektoren werden in einer groben Analyse quantifiziert, um damit einerseits sicher zu stellen, dass tatsächlich die für Holz wichtigen Prozesse erfasst sind und andererseits eine Relation des untersuchten Systems zum Gesamtsystem zu erhalten.

Um den gesamten Lebenszyklus der eingesetzten Baumaterialmatrix erfassen zu können, muss auch das Hinterland in das System integriert werden. Da es sich um eine große Anzahl von Einzelmaterialien handelt werden für die Prozesse Rohstoffgewinnung und Baumaterialproduktion die Inventardaten der Datenbank Ecoinvent 2000 [Frischknecht & Jungbluth 2004] verwendet. Die Materialflüsse ab Werkstor Produktion bis zur Verwertung oder Entsorgung nach dem Gebrauch in Wien werden mittels der Stoffflussanalyse grafisch dargestellt und ebenfalls mit Hilfe der Datenbank Ecoinvent 2000 bewertet.

## **9.5 Systemanalyse und Systembeschreibung Wien**

Im Rahmen der Systemanalyse wird unter Berücksichtigung der Zielsetzung der Studie die Struktur der Stadt hinsichtlich Bevölkerung, Industrie, Handel- und Gewerbe, Raumnutzung usw., soweit ein Zusammenhang mit dem Bauwesen besteht bzw. zur Zielerreichung hilfreich ist, allgemein beschrieben. Da im Rahmen dieser Studie der Fokus auf das Bauwesen mit besonderer Berücksichtigung des Baumaterials Holz im Wohn- und Bürobau gerichtet ist, stehen zum einen die für das Bauen notwendigen Materialien und zum anderen die verschiedenen Gebäudenutzungstypen im Zentrum der Untersuchung. Es erfolgt eine Untergliederung in die Bereiche „Tiefbau“ und „Hochbau“.

### **9.5.1 Allgemeines**

Als Methodik zur Systemidentifikation und zur Systembeschreibung der Stadt wird die Stoffflussanalyse [Baccini & Brunner, 1991] verwendet. Eine detaillierte Beschreibung dieser Methode im Kontext mit dem Stoffhaushalt der Stadt Wien kann in der Studie „Die Stoffflussana-

lyse als Instrument für eine nachhaltige urbane Entwicklung“, die 1994 für die Wiener Internationale Zukunftskonferenz erstellt wurde [Brunner et al., 1994], nachgelesen werden.

Die Bestimmung der Systemgrenzen der „Stadt Wien“ erfolgt in einem iterativen Prozess. Das in dieser Studie abgebildete System „Stadt Wien“ erfährt parallel mit dem Informationsstand eine entsprechende Entwicklung, was sich in jeweils notwendigen Systemanpassungen und Systemergänzungen im Arbeitsprozess niederschlägt.

### 9.5.2 Allgemeine Beschreibung des Bauwesens

Um das System definieren zu können muss zuerst einmal die Struktur des Bauwesens beschrieben werden. Das Bauwesen wird grundsätzlich in die Bereiche Hochbau und Tiefbau unterteilt, wobei laut [Fachverband der Bauindustrie, 2003] besonders im Hochbau in den letzten Jahren die konjunkturelle Entwicklung in Österreich rückläufig war. Für die nächsten Jahre wird eine Erholung prognostiziert, wobei angenommen wird, dass der Tiefbau das Wachstum von jährlich 1,5% trägt und der Hochbau am momentanen Stand stagniert. Für Österreich ergibt sich für das Jahr 2001 das in Tabelle 9-1 dargestellte Bild für die einzelnen Sektoren des Hoch- und Tiefbaues.

Tabelle 9-1: Bauproduktion Hoch- und Tiefbau 2001. Österreich nach Sparten. Zahlenwerte aus Tabelle in [Fachverband der Bauindustrie, 2003] für das Jahr 2001 rückgerechnet.

Sparte	In Mio. € <sup>1</sup>	In Mio. € <sup>1</sup>	%-Anteil von Gesamt	%-Anteil innerhalb Sparte
Vorbereitende Baustellenarbeiten	397,55		4,1	100,0
Hochbau	5.855,73		60,0	100,0
Wohnungs- und Siedlungsbau		2.139,28	21,9	36,5
Industrie- und Ingenieurbau		783,55	8,0	13,4
Sonstiger Hochbau		1.820,39	18,7	31,1
Adaptierungen im Hochbau		1.112,51	11,4	19,0
Tiefbau	3.505,99		35,9	100,0
Brücken- und Hochstraßenbau		186,59	1,9	5,3
Tunnelbau		266,72	2,7	7,6
Rohrleitungs- und Kanalnetzbau		1086,07	11,1	31,0
Straßenbau		1045,32	10,7	29,8
Eisenbahnoberbau		191,75	2,0	5,5
Wasserbau		53,11	0,55	1,5
Spezialbau und sonstiger Tiefbau		676,43	6,95	19,3
Gesamt	9.759,27		100,0	

<sup>1</sup> Eigenproduktion plus durchgeführte Lohnarbeit nach dem Güteransatz.

Etwa  $\frac{1}{3}$  der Aufträge werden von der öffentlichen Hand vergeben, ca.  $\frac{2}{3}$  der Aufträge werden von privaten Auftraggebern vergeben. Im Jahr 2001 betrug der Anteil Wiens ca. 24% an der Gesamtauftragssumme des österreichischen Bauwesens, im Jahr 2002 sank der Anteil Wiens allerdings auf 21,7 % ab. Das heißt, der Anteil Wiens am österreichischen Bauvolumen beträgt zwischen  $\frac{1}{5}$  und  $\frac{1}{4}$  des Gesamtvolumens. Da es nur eingeschränkt möglich ist, aus der Statistik eine exakte Zuordnung der verwendeten Baumaterialien zur jeweiligen Sparte vorzunehmen, wird dies in dieser Studie auf Basis der Prozentwerte aus Tabelle 9-1 in Kombination mit einer Literaturrecherche der zur Verfügung stehenden statistischen Daten vorgenommen. Die jeweilige Vorgangsweise bei der Umrechnung wird bei der Datenerfassung beschrieben.



Interessant erscheinen in diesem Zusammenhang noch die Auswirkungen der einzelnen Sparten des Bauwesens auf die Wirtschaft und den Beschäftigungsmarkt (Tabelle 9-2).

Tabelle 9-2: Multiplikatorwirkung und Beschäftigungswirkung von Investitionen in verschiedenen Sektoren des Bauwesens und dem privaten Konsum [WIFO 1995 zitiert in: Bundesarbeitskammer et al., 2003]

	Multiplikatorwirkung <sup>1</sup>	Beschäftigungswirkung <sup>2</sup>
Wohnbau	1,51	1810
Sonstiger Hochbau	1,47	1660
Straßenbau	1,60	1420
Sonstiger Tiefbau	1,55	1450
Privater Konsum	1,31	1120

1) Inländische Produktion ausgelöst durch Nachfrageimpuls (von 1).

2) Zahl der Erwerbstätigen je 72,7 Mio. € (1 Mrd. Schilling) an Ausgaben.

Das Beispiel Wohnbau zeigt laut [WIFO 1995 zitiert in: Bundesarbeitskammer et al., 2003], dass eine Investition in den Wohnbau in der Höhe von ca. 72,7 Mio. € eine Produktion von knapp 110 Mio. € in der österreichischen Wirtschaft bewirkt und damit indirekt weitere Stoffflüsse induziert. Damit werden 1.810 Arbeitsplätze im und durch den Wohnbau geschaffen oder gesichert. Das heißt, dass Investitionen in den Wohnbau den stärksten Beschäftigungseffekt bewirken.

### 9.5.3 Systemgrenzen

Es müssen die zeitlichen und räumlichen Systemgrenzen festgelegt werden.

Als zeitliche Systemgrenze für die Datenerfassung wird ein Kalenderjahr gewählt, als Erhebungsjahr für den Ist - Stand wird aus Gründen der Verfügbarkeit statistischer Daten das Jahr 2001 gewählt. Die Begründung der Wahl liegt darin, dass für dieses Jahr Daten aus der letzten Volkszählung (2001) und aus dem letzten Bundesabfallwirtschaftsplan 2001 zur Verfügung stehen. Wenn keine Daten aus dem Bezugsjahr vorhanden sind, wird der nächstmögliche Datensatz unter Berücksichtigung der Entwicklung der Vorjahre verwendet. Entsprechende Mengenschwankungen verschiedener Stoff- und Güterflüsse im Laufe der Zeit werden hinterfragt und auf Plausibilität überprüft, daraus entstehende Bandbreiten in den verschiedenen Mengenflüssen werden angeführt.

Da Gebäude eine lange Nutzungsdauer aufweisen wird auf Basis des Jahres 2001 eine Zeitreihe für die nächsten 100 Jahre, also bis 2101, aufgestellt. Damit soll, in Kombination mit Datenreihen aus der Vergangenheit, die zukünftige Entwicklung der Bautätigkeit und des städtischen Baumateriallagers sowohl für den Ist – Stand als auch für die Szenarien abgeschätzt werden. Derartige langfristige Prognosen sind aber unter dem Blickwinkel der schnellen Veränderungen des Standes der Technik und damit verbundenen großen Unsicherheiten zu sehen. Daher werden die Bewertungen für das Jahr 2001 gemäß den tatsächlichen Gegebenheiten vorgenommen. Das bedeutet, dass im Bereich des Sekundärressourcenmanagements große Materialmengen aus den letzten Jahrhunderten bzw. Dekaden behandelt werden müssen. Zu diesem Zweck wird auch eine Analyse des Gebäudebestandes, und damit des Lagers, vorgenommen. Dies geschieht mittels Kombination statistischer Daten, Analysen von Bauweisen des 19. und 20. Jahrhunderts und deren Lebensdauer in Wien sowie Daten aus der Abfallwirtschaft.

Hinsichtlich der räumlichen Systemgrenzen wird die Tatsache berücksichtigt, dass urbane Ballungsräume sowohl für die Versorgung als auch für die Entsorgung des Hinterland beanspruchen. Das gilt in einem besonderen Ausmaß für das Bauwesen. Daher wird das System „Anthroposphäre Wien und Hinterland“ in die beiden Subsysteme „Stadt Wien“ und das die Stadt umgebende „Hinterland“ untergliedert. Das System „Anthroposphäre Wien und Hinterland“ mit seinem Stoffhaushalt wird in die Umwelt, nämlich in das System „natürlicher Stoffhaushalt“, eingebettet. Diese Teilsysteme zusammen ergeben das Gesamtsystem „Wien mit Hinterland“ (Abbildung 9-1).

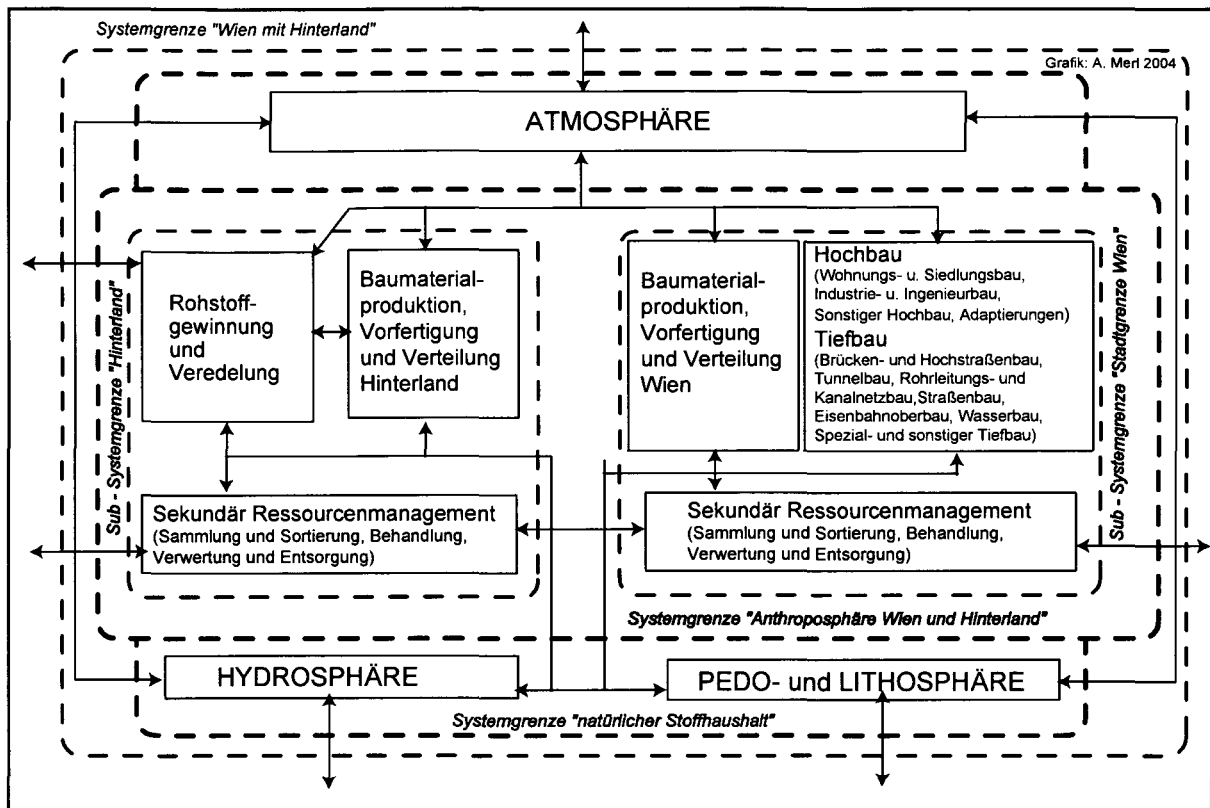


Abbildung 9-1: Einbettung des Systems „Wien mit Hinterland“ in die Umwelt

Die Systemgrenze des Subsystems „Stadt Wien“ ist mit der politischen Grenze der Stadt Wien identisch und damit klar definiert.

Die Systemgrenze des Subsystems „Hinterland“ kann in Abhängigkeit von den die Stadt versorgenden Regionen variieren. Durch die global zur Verfügung stehende technische Infrastruktur im Transportwesen und die relativ geringen Kosten für den Transport erstreckt sich das Subsystem „Hinterland“ über den gesamten Globus. Die entsprechenden Produktionsstätten werden den entsprechenden Branchenverzeichnissen entnommen und daraus ergeben sich für die jeweiligen Baumaterialien Transportdistanzen von 25 km bis 500 km. Um für alle Szenarien eine vergleichbare Basis zu bilden, wird für alle Szenarien so vorgegangen, dass die Versorgungsregionen geografisch möglichst nahe an der zu versorgenden Region, also an Wien, liegen. Daher wird in Abhängigkeit vom zur Verfügung stehenden Ressourcenpotential und den damit in Zusammenhang stehenden Ressourcen - Mix die äußere Systemgrenze möglichst nahe an die Stadtgrenze gelegt. Damit wird der Einfluss des Marktes, welcher zu Importen und Exporten und damit zu unterschiedlichen Transportdistanzen führt,

vernachlässigt. Die Transportdistanzen werden jedoch hinsichtlich ihrer Sensitivität auf das Ergebnis überprüft, mögliche Bandbreiten aufgrund unterschiedlicher Transportdistanzen werden bei Erfordernis gezeigt.

Es werden ausschließlich anthropogene Prozesse bilanziert und die wichtigsten Flüsse aus den Prozessen des Bauwesens (Rohstoffgewinnung, Veredelung der Rohstoffe und Produktion der Baumaterialien, alle Transporte und Verteilungsprozesse, Einbau, Lager/Nutzung, Rückbau, Sammlung und Verwertung bzw. Entsorgung) in die natürlichen Prozesse (Hydrosphäre, Pedosphäre, Lithosphäre und Atmosphäre) bestimmt und bewertet.

#### 9.5.4 Subsysteme und Prozesse

Nachfolgend werden die Prozesse des Systems „Bauwesen Wien“ allgemein beschrieben. Da das Baumaterial Holz im Zentrum dieser Arbeit steht und zusätzlich zur Gesamtbewertung noch tiefer gehender untersucht wird, werden die damit in Verbindung stehenden Prozesse genauer analysiert und bei jedem Prozess zusätzlich angegeben.

Das Bauwesen der Stadt Wien kann in drei „Prozessgruppen“ (Subsysteme) untergliedert werden:

- **Versorgung** Die Prozesse der Versorgung befinden sich größtenteils außerhalb, zu einem geringen Teil aber auch innerhalb der Stadtgrenzen von Wien (Rohstoffgewinnung, Rohstoffveredelung, Baumaterialproduktion, Vorfertigungsprozesse, Verteilung und anteilige Transporte). Die Versorgungsprozesse verursachen aber auch Güterflüsse in die Abfallwirtschaft bzw. in das Sekundärressourcenmanagement der jeweiligen Region. Da das jeweils lokale Abfallwirtschaftssystem (Sekundärressourcenmanagement) hinsichtlich vorhandener Infrastruktur und angewandeter Technik von jenem Wiens abweichen kann ist eine separate Betrachtung erforderlich. Zur Versorgung gehören auch die jeweiligen Verteilungsprozesse in Form von Transporten.
- **Gebautes Wien** Darunter sind alle Aktivitäten des Bauwesens innerhalb der Stadtgrenzen Wiens zusammen gefasst (Einbau, Nutzung und Erhalt (Lager), Sanierung, Rückbau und Abbruch, anteilige Transporte). Es erfolgt eine Untergliederung in die Bereiche Hochbau und Tiefbau und eine weitere Untergliederung der einzelnen Bautypen (Hochbau: Wohnungs- und Siedlungsbau, Industrie- und Ingenieurbau, Sonstiger Hochbau, Adaptierungen im Hochbau; Tiefbau: Brücken- und Hochstraßenbau, Tunnelbau, Rohrleitungs- und Kanalnetzbau, Straßenbau, Eisenbahnoberbau, Wasserbau, Spezialbau und sonstiger Tiefbau. Detailliert Betrachtet werden jene Bereiche des Bauwesens, in welchen in relevanten Mengen Holz dauerhaft eingesetzt wird.
- **Sekundärressourcenmanagement – Abfallwirtschaft** Darunter sind alle Prozesse der Sammlung, Verwertung und Entsorgung zusammengefasst. Diese Prozesse befinden sich sowohl innerhalb des Stadtgebietes von Wien als auch außerhalb der Stadtgrenzen von Wien (private und öffentliche Sammlung von Abfällen und Baurestmassen, Behandlung von Sekundärressourcen zur Weiterverwendung und Wiederverwertung, Behandlung von Sekundärressourcen zur Entsorgung, thermische Entsorgung, Deponie). Da sich Wien für eine möglichst weitgehende Entsorgungsautarkie [AWK – Wien 2002] entschieden hat verfügt die Stadt über notwendige Infrastruktur. Vor allem in Versorgungs-

regionen anfallende Produktionsabfälle müssen allerdings entsprechend den lokalen Gegebenheiten erfasst und bewertet werden.

Nachfolgend werden die wichtigsten Prozesse dieser drei Subsysteme der Reihe nach allgemein beschrieben.

Grafisch zeigt die nachfolgende Abbildung 9-2 die identifizierten Prozesse und erfassten Güterflüsse für die drei Szenarien.

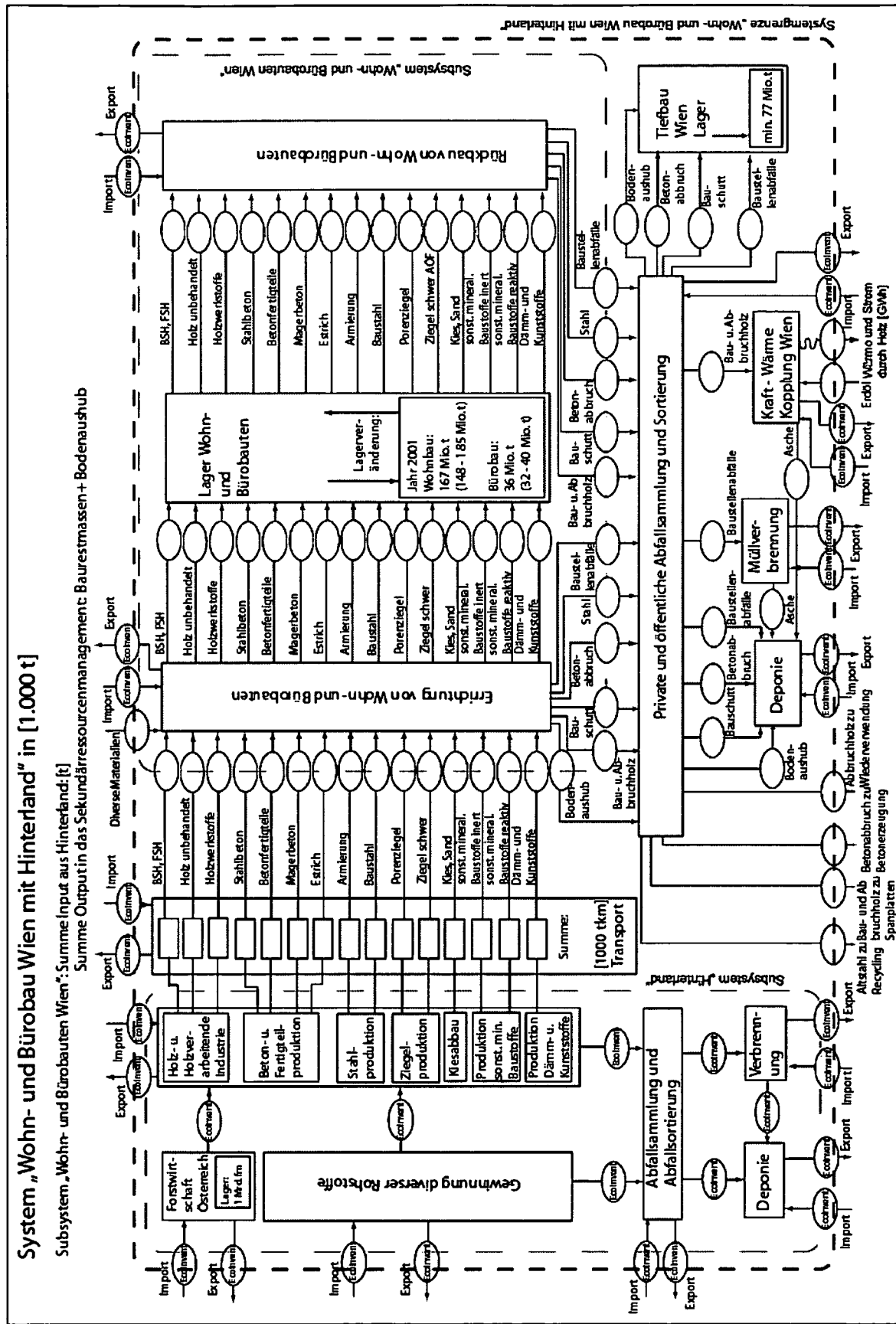


Abbildung 9-2: Darstellung der erfassten Güterflüsse für die drei Szenarien des Wiener Büro- und Wohnbaues.

**9.5.4.1 Prozess Rohstoffgewinnung und Veredelung**

Dieser Versorgungsprozess liegt geografisch nahezu zur Gänze im Hinterland und umfasst Teile des tertiären Wirtschaftssektors (Land- und Forstwirtschaft) und Teile des sekundären Wirtschaftssektors (Bergbau, Sachgüterproduktion, Energie- und Wasserversorgung). Diese Aktivität kann global an jeden beliebigen Ort stattfinden. Je nach politischer Lage und Weltmarktsituation kann es ständige Veränderungen im Laufe der Zeit geben und abhängig von der angewendeten Technologie und der zur Verfügung stehenden Infrastruktur können die Emissionen aus der Gewinnung oder Produktion ein und desselben Gutes sehr unterschiedliche Wirkungen hervorrufen.

In diesem Prozess werden Ressourcen direkt aus den natürlichen Lagerstätten der Natur entnommen. Diese Lagerstätten können nicht erneuerbar (z.B. Erze, fossile Energieträger usw.) oder auch erneuerbar (alle nachwachsenden Rohstoffe) sein.

Tabelle 9-3: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses „Rohstoffgewinnung und Veredelung“.

Herkunftsprozesse	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozesse
Natürliche Lagerstätten	Rohstoffe	Produkte	Verteilung von Baumaterial
Energieproduktion	Energie	Halbprodukte	Baumaterialproduktion
		Abfälle	Vorfertigung
		Emissionen	Private und öffentliche Abfallsammlung
			Export - Umwelt

Die Inventardaten und Umweltwirkungsdaten dieses Prozesses werden in dieser Studie mit der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth et al. 2004] unter Verwendung der dazugehörigen Wirkungsbilanzdaten der CML – 2001 Methode [Guineé et al. 2001] sowie des kumulierten Energieaufwandes errechnet.

**Zusätzliche Prozessbeschreibung hinsichtlich Holzeinsatz:**

Für den Holzeinsatz werden die Güterflüsse mittels der Stoffflussanalyse [Baccini & Brunner 1991] dargestellt und interpretiert. Bei Holz handelt es sich hierbei um den Prozess Forstwirtschaft. Aus ca. 1,70 m<sup>3</sup> Fichtenstammholz mit Rinde kann im Schnitt 1,0 m<sup>3</sup> sägeraues Fichtenschnittholz hergestellt werden [Werner et al. 2003]. Es werden auch für die anderen Holzprodukte die Werte aus [Werner et al. 2003] entnommen, da die Bewertung in Ecoinvent 2000 auf dieser Studie beruht. Die Abweichungen zu anderen Literaturdaten bewegen sich in der Größenordnung von ca. +/- 5 %. Die einzelnen Werte werden im Zuge der Datenerfassung angegeben (Kapitel 9.5.4.1). Als Holzpotential für Wien wird angenommen, dass unter der Voraussetzung des gleichmäßigen Aufteilens des jährlich zur Verfügung stehenden Holzes unter den Einwohnern Österreichs, ein Fünftel der Erträge der österreichischen Waldfläche der Stadt Wien zum Verbrauch zusteht.

**9.5.4.2 Prozess Baumaterialproduktion und Vorfertigung**

Dieser Produktionsprozess liegt im System Wien geografisch sowohl im Hinterland (zum größeren Teil) als auch innerhalb der politischen Grenze Wiens. Darin enthalten sind zum einen die Baumaterialproduktion aus den verschiedenen Roh- und Hilfsstoffen (z.B. in Sägewerken, Fertigteilebetonwerken, Stahlwalzwerken usw.) und zum anderen die verschiedenen Fertigungswerke zur Weiterverarbeitung für den Einbau (z.B. Spanplattenproduktion,

Ziegelproduktion, Transportbetonproduktion etc.) sowie Werke zur Produktion von Fertigteilen verschiedenster Art (z.B. Decken- und Wandelemente usw.). Allfällig notwendige Allokationen werden für jeden konkreten Fall im Zuge der Datenerfassung beschrieben.

Tabelle 9-4: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses „Baumaterialproduktion und Vorfertigung“.

Herkunftsprozesse	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozesse
Rohstoffgewinnung	Rohstoffe	Baumaterialien	Vorfertigung
Rohstoffveredelung	Baumaterialien	Baufertigteile	Verteilung v. Baumaterial
Energieproduktion	Halbprodukte	Abfälle	Private und öffentliche Abfallsammlung
	Energie	Emissionen	Export - Umwelt

Die Umweltwirkungsdaten dieses Prozesses werden in dieser Studie mit der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth et al. 2004] unter Verwendung der dazugehörigen Wirkungsbilanzdaten der CML – 2001 Methode [Guineé et al. 2001] sowie des kumulierten Energieaufwandes errechnet. Zusätzlich werden die Massenflüsse mittels der Stoffflussanalyse [Baccini & Brunner 1991] dargestellt und interpretiert.

**Zusätzliche Prozessbeschreibung hinsichtlich Holzeinsatz:**

Für den Holzeinsatz werden die Güterflüsse mittels der Stoffflussanalyse [Baccini & Brunner 1991] dargestellt und interpretiert. Bei Holz handelt es sich hierbei um die Prozesse Sägewerk (Massivholz in verschiedenen Querschnitten), Elementvorfertigung in Zimmereien (Brettstapelelemente, sonstige vorgefertigte Decken- und Wandelemente), Herstellung von Holzwerkstoffen (Spanplatten, OSB – Platten), Herstellung von Leimholz (Brettschichtholz, Furnierschichtholz).

**9.5.4.3 Prozess Verteilung von Baumaterialien**

Der Prozess „Verteilung von Baumaterialien“ stellt das Transportsystem der verschiedenen Baumaterialien von den jeweiligen Baumaterialproduktionsstätten bzw. Vorfertigungsfabriken (Fertigteile usw.) zu den Baustellen des Hoch- und Tiefbaus bzw. Vorfertigungsfabriken dar. Es wird die regionale Situation des Systems Wien mit folgenden Annahmen abgebildet. Alle Transporte werden als LKW – Transporte angenommen. Für jedes Baumaterial wird die Entfernung entsprechend der tatsächlichen geografischen Lage des zu Wien nächsten größeren Produktionsbetriebes mit ausreichender Produktionskapazität recherchiert. Die so ermittelten Transportdistanzen liegen daher der Annahme zugrunde, dass die Versorgung durch die Wien am nächsten gelegenen Produktionsstätten erfolgt. Die Einflüsse des Marktes auf die Transportdistanzen werden nicht berücksichtigt, es wird lediglich eine Sensitivitätsanalyse hinsichtlich des Einflusses des Transportes auf das Gesamtergebnis vorgenommen.

Da es sich um einen Verteilungsprozess handelt, sind die Inputgüter und die Outputgüter gleich und es gibt keine Lagerbildung. Die Emissionen in die Atmosphäre resultieren hauptsächlich aus dem Energieverbrauch für die Transporte.

Tabelle 9-5: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses „Verteilung von Baumaterialien und vorgefertigten Bauteilen“.

Herkunftsprozesse	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozesse
Baumaterialproduktion	Energie	Baumaterialien	Vorfertigung
Vorfertigung	Baumaterialien	Baufertigteile	Errichtung
Energieproduktion	Baufertigteile	Emissionen	Export - Umwelt

Die Umweltwirkungsdaten dieses Prozesses werden in dieser Studie mit der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth et al. 2004] unter Verwendung der Wirkungsbilanzdaten der CML – 2001 Methode [Guineé et al. 2001] sowie des kumulierten Energieaufwandes errechnet. Zusätzlich werden die Massenflüsse mittels der Stoffflussanalyse [Baccini & Brunner 1991] dargestellt und interpretiert.

**Zusätzliche Prozessbeschreibung hinsichtlich Holzeinsatz:**

Für Holz gelten dieselben Rahmenbedingungen wie für alle anderen Baumaterialien.

**9.5.4.4 Prozess Hochbau**

Dieser Prozess liegt zur Gänze innerhalb der Stadtgrenzen Wiens und beinhaltet die eigentliche Bautätigkeit im Hochbau (siehe auch Tabelle 9-1). Das sind die Errichtungs- bzw. Umbauphase, die Nutzungsphase mit den notwendigen Erhaltungs- und Sanierungstätigkeiten und schließlich die Rückbauphase. Die Lagerbildung und Lagerbewirtschaftung geschieht innerhalb dieses Prozesses. Durch die Betrachtung über den Zeitraum von hundert Jahren kann auf die relativ lange Gebäudelebensdauer und die damit verbundene Trägheit bei der Lagerveränderung entsprechend eingegangen werden. Der Prozess Hochbau wird in drei Subprozesse unterteilt: Errichtung (zeitlich innerhalb eines Jahres), Lager: Nutzung und Wartung (je nach Gebäudenutzung und ökonomischen Einflüssen sind große Variationen von kurzen temporären Nutzungen bis hin zu Jahrhunderten möglich) und Rückbau und Abbruch (innerhalb eines Jahres).

Zum Prozess Hochbau zählen:

- Wohnungs- und Siedlungsbau
- Industrie- und Ingenieurbau
- Sonstiger Hochbau (Bürobau usw.)
- Adaptierungen.

Die möglichen mengenmäßig relevanten Einsatzbereiche für Holz im urbanen Raum sind der Wohn- und Bürobau, daher wird bei der Beschreibung der Subprozesse Errichtung, Lager: Nutzung und Wartung sowie Rückbau und Abbruch nur auf den Wohn- und Bürobau eingegangen. Der Industrie- und Ingenieurbau sowie die Adaptierungen sind im System nicht berücksichtigt, es werden lediglich grobe Abschätzungen in der Gesamtbilanz vorgenommen.

**Errichtung von Wohn- und Bürobauten:**

Diese Phase liegt zeitlich je nach Größe des Bauvorhabens zwischen ein paar Wochen bis zu mehreren Jahren. Vereinfacht wird in dieser Arbeit angenommen, dass der Errichtungsprozess aller laut Statistik Austria gemeldeten Fertigstellungen 2001 innerhalb eines Jahres stattgefunden hat. Etwaige Überlappungen gleichen sich in beide Zeitachsen wieder aus, sodass das angenommene jährliche Bauvolumen der Realität entspricht.

*Tabelle 9-6: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses Errichtung von Hochbauten.*

Herkunftsprozess	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozess
Verteilung v. Baumaterial	Baumaterialien	Bauwerke	Nutzung, Lager
Energieproduktion	Baufertigteile	Baurestmassen und Baustellenabfälle	Private und öffentliche Abfallsammlung
Sonstige Importe	Hilfsstoffe	Emissionen	Export - Umwelt
	Energie		



Da in dieser Arbeit das gesamte System des Büro- und Wohnbaues analysiert wird ist die exakte Erfassung der Umweltwirkungen für den Errichtungsprozess im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Die existierenden Kennzahlen und Abschätzungen aus der Literatur werden nachfolgend angeführt und bei der Bewertung in Relation zu den Umweltwirkungen resultierend aus der Baumaterialproduktion und Transporten gesetzt und die Sensitivität dieses Prozesses auf das Gesamtergebnis überprüft.

Folgende Aktivitäten bzw. eingesetzte Infrastruktur bewirken im Errichtungsprozess Umweltwirkungen:

- Energieverbrauch (Strom, Diesel, Heizöl etc.) und damit verbundene Emissionen für Aushub und sonstige Erdarbeiten, Hebe- und Montagevorgänge, Schneiden, Bohren, Arbeiten mit dem Abbruchhammer, Wasserhaltung, Heizung im Winterbetrieb usw.
- Anteilsmäßig die Herstellung der Bauhilfsstoffe (Schalungen, Pölzungen, Gerüste usw.), Baugeräte (Kran, Aufzug, Bagger, Kompressor, Abbauhammer, Betonpumpe, Rüttler, Kleingerät usw.) und Baustelleninfrastruktur (Baubüro, Anteil Zentrale, Bauzaun, Sanitäranlagen usw.).
- Tägliche An- und Abreise des Baustellenpersonals, Anteil der Zentrale usw.
- Abfälle aus Verschnitt (wird in der Arbeit erfasst) und sonstigen Gütern (Verpackungen aller Art mit diversen Stoffresten usw.).
- Diverse Emissionen aus den Arbeits- und Verarbeitungsprozessen (Staub, Lärm, diffuse Emissionen aus Lösungsmitteln, Montageschäumen und sonstiger eingesetzter Materialien, Schweißen verschiedenster Materialien usw.). Zu beachten sind dabei Umweltwirkungen auf Arbeiter und damit verbundene Gesundheitsgefährdung bei der Verarbeitung diverser Stoffe.

In Kombination mit einem im Zuge der Ausschreibung bzw. Nachkalkulation entstandenen Leistungsverzeichnisses können diese Daten für eine Einzelbaustelle bilanziert werden. Eine zusätzliche Quelle sind auch Kalkulationstabellen (z.B. Kalkulation im Hochbau [Auer 2004]) in Kombination mit der Österreichischen Baugeräteliste. Für die Gesamtheit der in Wien jährlich errichteten Gebäude ist eine Bilanzierung der Umweltwirkungen im Rahmen dieser Studie nicht möglich.

Bei der Errichtung eines Hochbaues ist laut [Haeberlin 1997] mit einem Aufkommen von Baustellenabfällen in der Größenordnung von 0,02 – 0,04 m<sup>3</sup> pro m<sup>3</sup> umbauten Raum zu rechnen. Dabei fallen ca. 25 % in der Rohbauphase und 75 % in der Ausbauphase an. Für die Ermittlung der Baustellenabfälle werden diese Richtwerte übernommen. Zusätzlich wird für alle eingesetzten Materialien der Verschnitt aus der Literatur im Zuge der Datenerfassung ermittelt.

Der Bodenaushub und dessen Abtransport werden mengenmäßig erfasst und separat angegeben.

Aus der Literatur können folgende Kennzahlen, die jedoch alle mit großen Unsicherheiten behaftet sind, entnommen werden:

In [Pohlmann 2002] wird gestützt auf eine Analyse einzelner Prozesse der Errichtung ein Pauschalwert von 60 MJ/m<sup>2</sup> Nutzfläche an Errichtungsenergie für eine Holzbauweise angegeben. Dieser Wert entspricht einer Emission von 9,3 kg an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro m<sup>2</sup> Nutz-

fläche. Dieser Wert liegt über dem Rechenwert der Summe der Einzelanalysen dieser Literaturquelle und ist vergleichsweise zur Baumaterialproduktion gering.

[Schüchtermann & Wagner 1996] geben für ein Referenzhaus in Massivbauweise mit einer Nutzfläche von 161 m<sup>2</sup> inklusive 47 m<sup>2</sup> Kellerfläche folgende Energieverbrauchswerte für die Errichtung des Rohbaues und des Ausbaues (Haustechnik, Fenster usw.) an:

*Tabelle 9-7: Energieverbrauch der einzelnen Prozesse während der Errichtung anhand eines Referenzhauses [Schüchtermann & Wagner 1996].*

Energieverbrauch	Gesamt [MJ]	Pro m <sup>2</sup> Nutzfläche [MJ/m <sup>2</sup> ]
Baumaterialtransport <sup>1</sup>	75.000	466
Anfahrt Bauarbeiter <sup>2</sup>	12.640	78,5
Stromverbrauch <sup>3</sup>	2.900	18
Diesel Baumaschinen inkl. Erdarbeiten <sup>4</sup>	19.760	122,7
Summe Strom und Diesel	22.660	141
Summe gesamt	110.300	685

<sup>1</sup> Transportdistanz durchschnittlich mit 50 km Wegstrecke angenommen.

<sup>2</sup> 200 Arbeitstage mit je fünf Autos je 80 km Tagesstrecke

<sup>3</sup> Zum Vergleich: [Krotscheck 1997]: Stromverbrauch eines Einfamilienhauses in Ziegelbauweise: 5,8 kWh/m<sup>2</sup> = 20,9 MJ/m<sup>2</sup>

<sup>4</sup> Inklusive Aushub Baugrube und Hausanschlüsse, Einebnung der Gartenanlage und gestalterische Eingriffe. Pro m<sup>3</sup> Erdaushub ist bei mitteldichten Böden ein Energieaufwand von ca. 8MJ/m<sup>3</sup> erforderlich [Frischknecht & Jungbluth 2004]. Bei 47 m<sup>2</sup> Kellerfläche fallen ca. 150 m<sup>3</sup> Aushub an – rechnet man für die restlichen Erdarbeiten ein Aufwandsäquivalent von ca. 50 m<sup>3</sup> ergeben sich 1.600 MJ Energieeinsatz. Das bedeutet ca. 10 MJ/m<sup>2</sup> Nutzfläche Aufwand für die Erdarbeiten.

Aus diesen 2 Beispielen ergibt sich für die Errichtung hinsichtlich Strom- und Dieseleinsatz eine Bandbreite von 60 MJ/m<sup>2</sup> (Holzbauweise, ohne Keller, ohne Bodenaushub) und 140 MJ/m<sup>2</sup> (Massivbauweise, mit Keller und Erdarbeiten, inklusive Ausbauarbeiten). Der Anteil der Anfahrt der Bauarbeiter ist beachtlich hoch. Aufgrund der unterschiedlichen Systemgrenzenwahl ist jedoch kein direkter Vergleich möglich. Der Anteil des Baumaterialtransportes zur Baustelle ist im Vergleich zum Energieverbrauch der Baustellenprozesse beim angeführten Beispiel mehr als drei Mal höher.

[Eyerer & Reinhardt 2000] stellen ebenfalls fest, dass Baustellenprozesse eine untergeordnete Rolle spielen. Anhand konkreter Untersuchungen wurden die Transporte der Baustoffe zur Baustelle (ist in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt) und der Transport des Aushubs (wird in dieser Studie qualitativ und quantitativ erfasst, wird separat dargestellt). Als weiterer wichtiger Prozess wird der Prozess Kran für die Hebe- und Montageprozesse identifiziert. Der Dieserverbrauch spielte bei den analysierten mehrgeschossigen Verwaltungsbauten in Massivbauweise im Bereich der aufgehenden Geschoße nur eine untergeordnete Rolle. Eine große Variation von Baustelle zu Baustelle wurde ebenfalls festgestellt, wobei die Unterschiede umso größer sein können desto kleiner die Bauvorhaben sind.

Für den Baustellenprozess kann daher der Schluss gezogen werden, dass die in dieser Studie untersuchten Umweltwirkungen nicht in erster Priorität zu sehen sind, sondern dass die Arbeitsplatzgestaltung und der damit zusammenhängende Arbeitnehmerschutz vor gesundheitsschädigenden Wirkungen voran zu stellen sind.

#### **Zusätzliche Prozessbeschreibung hinsichtlich Holzeinsatz:**

Im Wohn- und Bürobau wird das in Wien eingesetzte Bauholz sowohl als kurzlebiger Hilfsstoff (temporäre Abstützungen und Pölzungen, Schalungen, Gerüstteile, Baustellenzäune usw.) als auch als langlebiger Bauteil verwendet.

Das bedeutet, dass das eingesetzte Holz einerseits für lange Zeit in das städtische Lager eingebaut wird und andererseits gelangt der Verschnitt sowie nicht wieder verwendbare Hilfsmaterialien während des Errichtungsprozesses in das System der Abfallwirtschaft.

**Nutzung - Lager:**

Das Lager im Hochbau weist eine Vielfalt von Materialien, teilweise in schwer trennbaren Verbundkonstruktionen, auf. Das Lager beinhaltet Baumaterialien aus nahezu allen Zeitabschnitten seit der Entstehung Wiens.

Je nach Verwendungszweck eines Bauwerkes kann die Nutzungsdauer von Bauwerken wenige Wochen bis weit über 100 Jahre reichen. Außerdem wird zwischen der ökonomischen Nutzungsdauer (30 – 40 Jahre, danach kann eine Umnutzung stattfinden) und der technischen Nutzungsdauer, welche die ökonomische Nutzungsdauer bei weitem übertreffen kann, unterschieden. Die ökonomische Nutzungsdauer entspricht in etwa auch der fiskalischen Betrachtung von Gebäuden, da für Betriebsgebäude eine betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer gemäß der Abschreibung für Abnutzung (afa) von  $33 \frac{1}{3}$  zugewiesen wird und für Büros und Eigenheime ist eine Abschreibung auf 50 Jahre (2 % p.a.) vorgesehen.

Da in dieser Studie die Gesamtheit der Gebäude betrachtet wird, wird auf die Nutzungsdauer nicht eingegangen. Es wird auch für alle Szenarien angenommen, dass die technische Nutzungsdauer für alle Bauweisen gleich lang ist, was auch aus mehreren Literaturquellen entnommen werden kann [Winter & Kehl 2002a], [Winter & Kehl 2002b].

Ebenfalls nicht betrachtet werden notwendige Sanierungen und Renovierungen im Verlauf der Nutzungsdauer, da in dieser Studie die Systemgrenzen nur die tragenden Komponenten, welche im Zuge von Lebensdauer verlängernden Sanierungen in der Regel nicht angegriffen werden, und das Wärmedämmsystem, welches für alle Szenarien und alle Bauweisen funktional äquivalent gewählt wurde und in etwa die selbe Lebensdauer aufweist, beinhalten. Aufgrund der funktionalen Äquivalenz werden auch die Wirkungen des Betriebes (Heizung, Warmwasser, Reinigung usw.) auf die Umwelt nicht betrachtet.

*Tabelle 9-8: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses Nutzung – Lager von Wohn- und Bürobauten*

Herkunftsprozess	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozess
Errichtung	Bauwerke - eingebaute Baumaterialien 2001	Bauwerke - eingebaute Baumaterialien (Alter: ~ 50 – 200 a)	Rückbau - Abbruch

Betrachtet wird die Lagerentwicklung der nächsten 100 Jahre für die einzelnen Szenarien mittels Darstellung einer Zeitreihe im Rahmen der Lagerbewertung im Ergebnisteil.

**Zusätzliche Prozessbeschreibung hinsichtlich Holzeinsatz:**

Die Konstruktionsweisen und der damit verbundene Materialverbrauch kann Kapitel 7 entnommen werden. Die Entwicklung und Zusammensetzung des städtischen Holzlagers wird für die einzelnen Szenarien simuliert.

**Rückbau und Abbruch:**

Gebäude des Wohn- und Bürobaus werden in der Regel nach einer langen Nutzungsdauer abgebrochen oder rückgebaut. Das bedeutet, dass die im Rückbau anfallenden Baumateria-

lien großteils zwischen 50 und 200 Jahre alt sind und teilweise entsprechende Unterschiede zu den heute hergestellten Baumaterialien aufweisen.

Auch für im Jahr 2001 eingebaute Baumaterialien ergeben sich bei einer den gesamten Lebenszyklus umfassenden Betrachtung folgende Unsicherheiten:

- Stand der Technik zum Zeitpunkt des Rückbaues in ca. 50 – 150 Jahren (Bauverfahrenstechnik, Transport, usw.).
- In Zukunft verwendete Energieträger, Energiemix, etc.
- Verwertungs- und Entsorgungstechnologien, verfügbare Infrastruktur usw.

Wenn die Zusammensetzung und die laufende Veränderung des Gebäudebestandes (Lager) zukünftig laufend aufgezeichnet werden und somit bekannt sind wäre damit eine wesentliche Voraussetzung für ein effizientes Ressourcenmanagement gegeben.

Am Lebenszyklusende werden Bauwerke, wenn eine Sanierung nicht mehr wirtschaftlich möglich oder eine andere Nutzung des Grundstückes vorgesehen ist, rückgebaut oder abgebrochen. Die anfallenden Baurestmassen werden von der privaten und öffentlichen Abfallsammlung des sekundären Ressourcenmanagement erfasst und sortiert.

*Tabelle 9-9: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses Rückbau und Abbruch von Wohn- und Bürobauten.*

Herkunftsprozess	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozess
Nutzung, Lager	Bauwerke - eingebaute Baumaterialien (Alter: ~ 50 – 200 a)	Baurestmassen	Private und öffentliche Abfallsammlung
Energieproduktion	Energie	Emissionen	Export - Umwelt

Der Rückbauprozess findet mit einem großen zeitlichen Abstand zur Errichtung statt. Die Bausubstanz des Rohbaues hat eine Lebensdauer von 80 – 120 Jahren, oft noch wesentlich länger. Beim Prozess Rückbau wird daher folgend vorgegangen: Auf Basis des AWK-Wien und den Daten der Statistik Austria wird der tatsächliche Rückbau ermittelt. Dabei handelt es sich hauptsächlich um alte Bausubstanz, die vielfach in der Baumaterialzusammensetzung der heutigen Bauwerke nicht vergleichbar sind. Daher werden auch Gründerzeithäuser, welche heute hauptsächlich abgebrochen werden, in ihrer Baumaterialzusammensetzung analysiert und mit den statistischen Daten zur Berechnung der Baurestmengen verknüpft.

#### **Zusätzliche Prozessbeschreibung hinsichtlich Holzeinsatz:**

In den vor den Weltkriegen errichteten Häusern ist noch sehr viel Holz mit einem hohen Wiederverwendungspotential bzw. hohen energetischen Verwertungspotential gespeichert. Dieses Lager wird mittels Analysen des Bestandes und der Heranziehung der Wiener Gebäudestatistik analysiert.

#### **9.5.4.5 Prozess Tiefbau**

Dieser Prozess liegt zur Gänze innerhalb der Stadtgrenzen Wiens und beinhaltet von der Systematik her die gleichen Aktivitäten wie der Hochbau. Das Lager ist massenmäßig groß und besteht massenmäßig hauptsächlich aus mineralischen Baustoffen.

- Brücken- und Hochstraßenbau,
- Tunnelbau,

- Rohrleitungs- und Kanalnetzbau,
- Straßenbau,
- Eisenbahnoberbau,
- Wasserbau,
- Spezialbau und sonstiger Tiefbau.

Im Prozess Tiefbau werden hauptsächlich mineralische Baustoffe eingesetzt und es finden große Massenbewegungen statt. Holz wird im Vergleich zum Hochbau nur in geringem Ausmaß hauptsächlich als Hilfsstoff temporär in der Bauphase eingesetzt. Der Tiefbau wird im Rahmen dieser Studie nur in einer ersten, etwas gröber gehaltenen Bilanzierung erfasst, um das im Tiefbau eingesetzte Bauholz sowie das Lager grob quantifizieren zu können und um einen Überblick über die Größenordnungen des Gesamtsystems der Stadt Wien zu erhalten.

Der Tiefbau ist eine Senke für recyceltes Material aus dem Hochbau und wird vor allem aus diesem Grund in das System integriert.

#### 9.5.4.6 Prozess Sekundärressourcenmanagement

Dieser Verwertungs- und Entsorgungsprozess stellt auch gleichzeitig das Abfallwirtschaftssystem dar. Im Sekundärressourcenmanagement sind die Sammlung und Sortierung der Baumaterialien sowie die damit verbundenen Transporte, die Behandlung sowie die Verwertung und Entsorgung der Baumaterialien enthalten. Beim Sekundärressourcenmanagement der Versorgungsprozesse im Hinterland ist zu überprüfen, welche abfallwirtschaftliche Technologie angewendet wird. Daher ist im System „Anthroposphäre Wien und Hinterland“, um etwaige Technologiedifferenzen integrieren zu können, der Prozess Sekundärressourcenmanagement zwei Mal vorhanden.

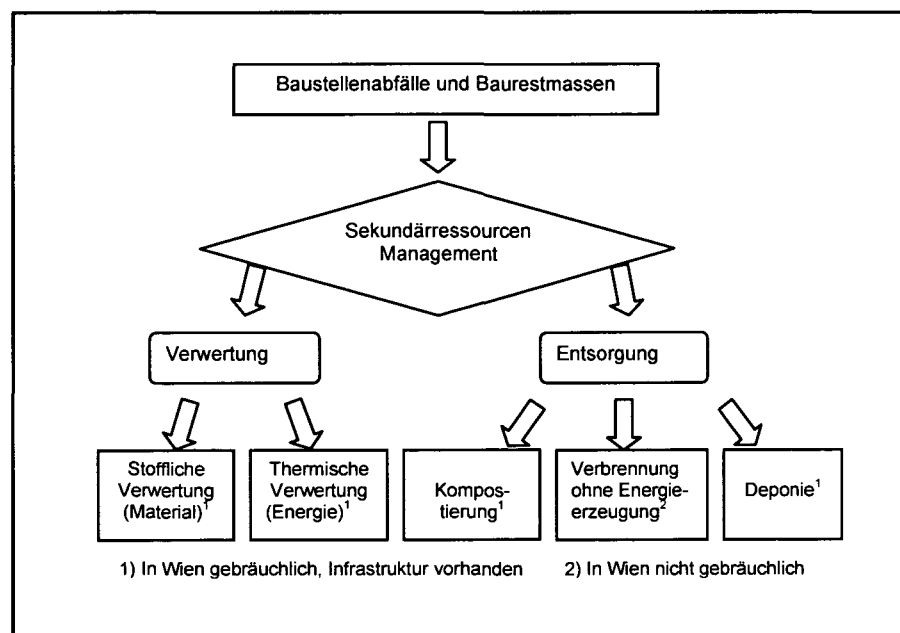


Abbildung 9-3: Systematik und Optionen im Sekundärressourcenmanagement bzw. in der Abfallwirtschaft in Wien.

Abbildung 9-3 zeigt die Systematik des Sekundärressourcenmanagement Systems. In Wien gibt es sowohl die Infrastruktur für die stoffliche und thermische Verwertung als auch für die Deponierung. Abfälle aus dem Bauwesen werden in Wien nicht kompostiert, Verbrennung ohne Energieerzeugung wird in Wien ebenfalls nicht praktiziert. Die strategische Ausrichtung der Wiener Abfallwirtschaft strebt eine autarke Entsorgungssituation der Stadt Wien an [AWK – Wien, 2002].

Das Sekundärressourcenmanagement übernimmt am Lebenszyklusende der Baumaterialien eine Filterfunktion. Gemäß den Grundsätzen des Abfallwirtschaftsgesetzes werden die Sekundärressourcen von der privaten und öffentlichen Abfallsammlung erfasst und getrennt in:

- stofflich wieder verwend- oder recyclebare Sekundärressourcen, welche für einen weiteren Lebenszyklus wieder verarbeitet und eingebaut werden,
- thermisch verwertbare (Energieerzeugung) Sekundärbrennstoffe, wobei für die so gewonnene Energie ein Bedarf vorhanden sein muss und die Verbrennungsreste entsprechend entsorgt werden müssen,
- nach erforderlicher Behandlung zu entsorgende Abfälle (Deponie).

Laut [AWK – Wien, 2002] stellen Abfälle mineralischen Ursprungs (ohne Metallabfälle) mit ca. 3,3 Mio. t/a die Hauptmenge der in Wien insgesamt anfallenden Abfälle (rund  $\frac{2}{3}$ ), wobei die Baurestmassen den größten Anteil stellen. Knapp zwei Drittel (rd. 2,0 Mio. t) davon sind Bodenaushub. Für diese Fraktion gilt, dass die Mengenerfassung aus den Sammler- und Behandlermeldungen von den Ergebnissen der Hochrechnung der zu erwartenden Abfallmengen der MA 48 am weitesten abweicht. Der Grund dafür ist, dass ein bedeutender Teil des Bodenaushubs nicht über Sammler oder Behandler entsorgt oder verwertet wird, sondern die Entsorgung zu einem wesentlichen Teil von Transporteuren oder Baufirmen mit eigenem Fuhrpark durchgeführt wird. Eine genauere Eingrenzung dieser Menge lässt sich erst sicherstellen, wenn Meldungen auch von Anlagen außerhalb Wiens ausgewertet werden können. Bedeutende Mengen bilden noch Straßenaufbruch und Bauschutt, wobei von letzterem 80 % (lt. Bundesabfallwirtschaftsbericht 2001) einer „Verwertung“ zugeführt werden. Anzumerken ist, dass ein Teil des Straßenaufbruchs auch in der Kategorie „Abfälle von Mineralöl- und Kohleveredelungsprodukten“ gemeldet wird, daher ist das Aufkommen an Straßenaufbruch insgesamt höher als hier ausgewiesen.

An den Mistplätzen werden jährlich rund 50.000 Tonnen an Bauschutt und Baurestmassen übernommen. Diese Abfälle müssen laut Ausschreibung vom Übernehmer zu mindestens 70 Prozent einer stofflichen Verwertung zugeführt werden.

Laut AWK – Wien [2002] werden folgende Verwertungsquoten erzielt: rund 32 % Bodenaushub, jeweils 90 % an Straßenaufbruch, Bitumen & Asphalt sowie Betonabbruch, 20 % Baustellenabfälle und 15 % Bauschutt werden stofflich verwertet. Grubenverfüllungen werden im AWK-Wien nicht als Verwertung verbucht. Da für die exakten Verwertungsarten in Wien keine exakten Daten eruiert werden konnten, werden deutsche Verwertungsquoten samt Verwertungsart für mineralische Materialien heran gezogen (Tabelle 9-10, Tabelle 9-11 und Tabelle 9-12) [Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau 2003], um daraus Schlüsse über verschiedene Verwertungswege zu ziehen:

## Anwendung der Methode - Fallstudie Wien

Tabelle 9-10: Anwendungsgebiete im Erdbau (nach ZTV E) [Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau 2003]

Anwendungsgebiete im Erdbau	Mineralische Hauptkomponenten	Verwertung 1998		Verwertung 2000	
		Mio. t	%	Mio. t	%
Lärmschutzwälle, Dämme, Baugrund	Naturstein, Beton, Ziegel, Kalksandstein, Mörtel	11,8	21,4	11,9	19,4
Hinterfüllung/ Überschüttung von Bauwerken					
Bodenverbesserung/ Bodenverfestigung					
Verfüllung Baugruben, Leitungsgräben					
Mechanische Bodenverbesserung					
Baustraßen					

Tabelle 9-11: Anwendungsgebiete im Straßenoberbau nach RStO und im sonstigen Verkehrswegebau, z. B. Garten- und Landschaftsbau, landwirtschaftlichen Wegebau

Anwendungsgebiete im Straßenbau	Mineralische Hauptkomponenten	Verwertung 1998		Verwertung 2000	
		Mio. t	%	Mio. t	%
Asphaltdeck-, binder-, Tragschicht	Asphalt, (Naturstein)				
Unterbeton Betondeckschicht	Straßenbeton	40,4	73,2	42,5	69,2
Pflasterbettung	Naturstein,				
Hydraulisch gebundene Tragschicht	Beton,				
Selbsterhärtende Tragschicht	Ziegel,				
Ungebundene Tragschicht					

Tabelle 9-12: Sonstige Anwendungsgebiete [Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau 2003].

Sonstige Anwendungsgebiete	Mineralische Hauptkomponenten	Verwertung 1998		Verwertung 2000	
		Mio. t	%	Mio. t	%
<b>Gesteinskörnung für Beton und Mörtel nach DIN1045</b>	Beton, Naturstein	3	5,4	7,0	11,4
Unbewehrter Beton					
Beton-Innenbauteile					
Beton-Außenbauteile					
Wasserundurchlässiger Beton					
Beton mit hohem Frostwiderstand					
Beton mit hohem Widerstand gegen chemischen Angriff					
Stahlbeton					
<b>Weitere im Betonbau</b>					
Sauberkeitsschichten					
Rückenstützbeton	Beton, Naturstein, Ziegel	3	5,4	7,0	11,4
Beton für den Wege-, Garten und Landschaftsbau					
Beton für Hohlraumverfüllungen					
Unterbeton für Betonwaren					
Wandbausteine aus Beton					
Zementestrich					
<b>Vegetationsbaustoffe</b>					
Dachbegrünungssubstrat	Ziegel	3	5,4	7,0	11,4
Parkdecksubstrat					
Rasensubstrat					
Schotterrasen					
Baumsubstrat					
Tragschichten mit Vegetationsanforderungen	Ziegel	3	5,4	7,0	11,4
<b>Sportplatzbau</b>					
Ungebundene Tragschichten					
Tennendeckschichten	Ziegel	3	5,4	7,0	11,4
<b>Deponiebau</b>					
Gasdrainage					

Aus den Tabellen geht hervor, dass ca. 90 % der verwerteten mineralischen Bauabfälle in den Erd- und Straßenbau, also in den Prozess Tiefbau gehen und nur ca. 10 % wieder im

Hochbau hauptsächlich als Substitut für Zuschlagstoffe wieder eingesetzt wird. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Betonabbruch, Naturschein und Ziegel. Da Recycling vom Grundsatz als ein Wiedereinsatz auf gleichem Qualitäts- und Wertschöpfungsniveau definiert ist handelt es sich hier eher um Downcycling, wie es auch in [Eyerer & Reinhardt 2000] festgestellt wird.

Die Untersuchung von Abbruchmaterialien aus Gründerzeithäusern kommt zu folgenden Ergebnissen und Empfehlungen für die Verwendung von Recyclingbaustoffen [Maydl, 1993] und [Maydl, 1995]:

Mauerwerk als ungebundenes Schüttmaterial (z.B. für Betonherstellung): Hinsichtlich Eluatverhalten und Gehalt an betonschädlichen Bestandteilen bei abgebrochenen Ziegelmauerwerk bei Elution nach dem S4 – Verfahren gemäß ÖNORM S 2072 ergibt sich die Eluatklasse Ib bis IIIb, Chlorid- und Sulfatgehalte überschreiten teilweise die Grenzwerte der ÖNORM B3304. Daher sollten bei Ziegelabbruchmaterial Verunreinigungen (Putz, Anstriche, Teerpappe usw.) vermieden werden, wenn eine niedrige Eluatklasse gefordert ist. Wird das Sekundärmaterial für die Herstellung von unbewehrtem Beton verwendet, so ist laut [Maydl, 1995] eine Überschreitung der Grenzwerte gemäß B 3304 meist unbedenklich.

Füllmaterial für Künetten und Leitungsgräben: Aufbereiteter Mauerwerksabbruch ist grundsätzlich für diesen Zweck außerhalb der Frostwirkzone geeignet, die Körnung 0/45 ist zu bevorzugen. Hinsichtlich des Verdichtungsverhaltens und der geeigneten Proctorfeuchte (16-20 %) ist jedoch erfahrenes Personal erforderlich. Details zu den Prüfungen anhand von Versuchskünetten können aus [Maydl, 1993] entnommen werden.

Für den Einsatz in Dichtschilden (z.B. Deponieabdichtungen) ist Mauerwerksabbruch nicht geeignet, da der Absiebeprozess und die erforderliche Zementzugabe unwirtschaftlich ist.

Ziegelsplitt 3/6 und 5/10 als Substrat in der extensiven Dachbegrünung ist geeignet, allerdings haben die Ergebnisse Überschreitungen der Grenzwerte beim Salz- und Carbonatgehalt sowie beim pH-Wert ergeben. Daher muss Ziegelsplitt vor dieser Anwendung gewaschen werden, womit sich die Kostenfrage stellt.

Zementgebundene Verwendung für Betonsteine: Die Herstellung von Wandbausteinen im Hochbau ist möglich (10 cm Zwischenwandsteine, 25 cm Außenwandsteine aus gemischtem Mauerwerksabbruch). Bei Nichteinhaltung der Grenzwerte nach ÖNORM B 3304 bezüglich Cl und SO<sub>4</sub> ist jedoch ein Gutachten einer autorisierten Prüfanstalt vor Verwendung dieses Materials einzuholen. Details zur Prüfung der Hohlblocksteine aus Recyclingbeton können aus [Maydl, 1993] entnommen werden.

Mauerwerksabbruch kann für zementstabilisierte Tragschichten (Zementgehalt > 100 kg/m<sup>3</sup>) eingesetzt werden, der Einfluss auf die Druckfestigkeit ist geringer als bei Primärmaterial. Unter Umständen ist auch ein Einsatz innerhalb der Frostwirkungszone möglich.

Frostversuche bei Ziegelsplittbeton haben gezeigt, dass ein Einsatz von Ziegelsplitt als Betonzuschlag bei mäßiger Frostbeanspruchung bzw. Wassersättigung denkbar ist. Die Prüfung nach ÖNORM B 3303 hat die Probe bestanden, die Prüfung nach der ÖNORM B 3350 (1951 – diese Norm war zum Zeitpunkt der durchgeführten Versuche nicht mehr gültig) konnte nicht erfüllt werden. Der Zementgehalt der Prüfkörper betrug 350 kg/m<sup>3</sup>.



In der Arbeit wird daher angenommen, dass verwertete mineralische Bauabfälle laut AWK-Wien zu 90 % im Lager des Tiefbaues eingebaut und zu 10 % im Hochbau jeweils als Ersatz für Schotter und Kies oder als mineralischer Zuschlagstoff verwendet werden. Es handelt sich also momentan größtenteils um Open – Loop – Recycling. Für die verwerteten mineralischen Baumaterialien wird daher der Transport bis zur Recyclinganlage in das System aufgenommen, alle weiteren Prozesse und damit verbundenen Umweltwirkungen werden der neuen Anwendung zugerechnet. Für die verwerteten Materialien fallen die Aufwendungen für die Deponie weg.

**Besondere gesetzliche Rahmenbedingungen:**

Für die Prozesse des Sekundärressourcenmanagements sind die gesetzlichen Rahmenbedingungen von Bedeutung, da diese die auszuwählenden Optionen wesentlich beeinflussen bzw. einschränken. Besondere Konsequenzen für das Bauwesen ergeben sich aus der Deponieverordnung 1996 [DVO 1996]. Seit 1.1.2004 dürfen keine Baurestmassen mit einem TOC (Total Organic Carbon) von mehr als 30.000 mg/kg deponiert werden, sondern diese müssen entsprechend mechanisch – biologisch oder thermisch vorbehandelt werden, wodurch es naturgemäß zu einer Kostensteigerung kommt. Im Rahmen der Strategischen Umweltprüfung (SUP) für die Wiener Abfallwirtschaft fiel die Entscheidung zu Gunsten der thermischen Abfallbehandlung.

Eine Kostenerhöhung bei der Deponierung bewirkt auch das Altlastensanierungsgesetz [Al-SAG, 1989]. Sollte sich diese Entwicklung fortsetzen, so werden alternative Verwertungsoptionen auch ökonomisch interessanter. Die Entwicklung des Altlastensanierungsbeitrages wird in Tabelle 9-13 gezeigt.

Tabelle 9-13: Entwicklung des Altlastensanierungsbeitrages in den Jahren 2001 bis 2004 [AWK – Wien 2002]

Abgelagertes Material	Beitragshöhe seit 01.01.2001 [€/t]	Beitragshöhe ab 01.01.2004 [€/t]
Baurestmassen	5,80	7,20
Reststoffe	10,90	14,50
Massenabfälle (Hausmüll)	14,50	21,80

Tabelle 9-14: Trennung der Stoffgruppen und Mengenschwellen bei der Trennung und Sammlung der bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien [Bausrestmassentrennverordnung 1991] und berechnetes dazugehöriges Volumen (Bezogen auf die Rohdichte, bezogen auf Schüttdichte können Volumina wesentlich größer sein).

Stoffgruppen	Mengenschwelle [t]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
Bodenaushub	20	Ca. 10 - 13
Betonabbruch	20	Ca. 8 - 13
Asphaltaufruch	5	Ca. 2,5 - 3
Holzabfälle	5	Ca. 6 - 12
Metallabfälle	2	Ca. 0,2 – 0,75
Kunststoffabfälle	2	Ca. 1,5 – 4 (130 <sup>1</sup> )
Baustellenabfälle	10	Ca. 6,5 – 25
mineralischer Bauschutt	40	Ca. 20 - 30

<sup>1</sup> geschäumte Dämmmaterialien wie EPS – Trittschalldämmplatten mit einer Dichte von 11 kg/m<sup>3</sup> könnten theoretisch zu so großen Volumina führen.

Die [Bausrestmassentrennverordnung 1991] schreibt vor „wer die Ausführung einer Bau- oder Abbruchtätigkeit im Rahmen eines Bauvorhabens veranlasst hat aus den dabei anfallenden Materialien folgende Stoffgruppen zu trennen, sofern die nachstehend angeführten Mengenschwellen je Stoffgruppe überschritten werden“, wie in Tabelle 9-14 angegeben.

Die Trennung muss Verwertungsorientiert sein und die erfassten Mengen müssen gemäß [Abfallnachweisverordnung 2003] nachgewiesen werden (Begleitschein). Bei Unwirtschaft-

lichkeit, besonders durch lange Transportwege zu einer geeigneten Verwertungsanlage, kann auch eine allfällige Behandlung gemäß AWG 2002 vorgenommen werden. Gefährliche Abfälle sind jedenfalls von nicht gefährlichen Abfällen zu trennen und zu lagern und gemäß AWG 2002 zu behandeln.

**Zusätzliche Prozessbeschreibung hinsichtlich Holzeinsatz:**

Laut [Piringer & Fischer, 2003] ist der Bereich der Sammlung und Verwertung von Bau- und Abbruchholz aufgrund der Vielzahl der beteiligten Akteure, die sowohl aus dem privaten als auch aus dem kommunalen Bereich kommen, schwer zu erfassen. Die Mengen können nur über die aufgezeichneten Mengen der Verwerter festgestellt werden, wonach in Österreich von rund 270.000 t/a verwertetem Altholz auszugehen ist. Aus den Recherchen ist allerdings abzuleiten, dass die tatsächlich auftretenden Altholzmengen (z.B. durch privates Abtragen und Verbrennen in ländlichen Gebieten) weit über den bekannten Mengen liegen dürften.

Eine Lücke bei der Erfassung von Bau- und Abbruchholz stellen die Mengenschwellen (5t) dar, wodurch ein Teil nicht in der dafür vorgesehenen Sammelschiene landet. Durch das Inkrafttreten der Deponieverordnung von 1996 am 1.1.2004 dürfte sich in Zukunft die Erfassungsrate von Bau- und Abfallholz erhöhen, da ab diesem Zeitpunkt Holz ohne Vorbehandlung nicht mehr deponiert werden darf. Die momentan erhältlichen Daten entsprechen den Inputmengen in Verwertungsanlagen und sind, vor allem was die Daten des Bundesabfall Wirtschaftsplans 2001 betrifft, als untere Datengrenze zu interpretieren. Tabelle 9-15 zeigt die jährlich anfallenden Mengen an Bau- und Abbruchholz in Österreich sowie eine Umrechnung auf Wien auf Basis der statistischen Grunddaten.

*Tabelle 9-15: Bau- und Abfallholz in Österreich aus unterschiedlichen Datenquellen und eine Umrechnung auf Wien über statistische Kennzahlen.*

Datenquelle	Österreich [t/a]	Anteil Wien 20% [t/a]	Anteil Wien 25% [t/a]	Wien Mittel [t/a]
Bundesabfall – Wirtschaftsplan 2001	200.000	40.000	50.000	45.000
Branchenkonzept Holz 2002	360.000	72.000	90.000	81.000
Pölzleitner Holz GmbH in [Piringer & Fischer 2003]	270.000	54.000	67.500	60.750

Nachfolgend wird anhand der Recherche von Daten aus Wien überprüft, ob eine derartige Umrechnung mit den zugänglichen Daten für die Stadt Wien übereinstimmt.

Laut MA 48 [AWK – Wien, 2002] beträgt die Menge an Holzabfällen in Wien knapp 62.000 t/a, was ungefähr 1% des Wiener Abfallaufkommens darstellt. Die größte Fraktion der Holzabfälle stellt das Bau- und Abbruchholz mit einem Anteil von jährlich über 70% (knapp unter 44.000 t) dar, weiters tragen nicht verunreinigte Holzemballagen mit knapp 25 % (knapp über 15.000 t) wesentlich zu dieser Abfallmenge bei. Die Erfassungsrate wird mit ca. 90 % abgeschätzt.

Der Anteil gefährlicher Holzabfälle ist mit knapp über 47 t/a sehr gering. Den Großteil machen verunreinigte Holzemballagen (ca. 98 %) aus, die restlichen 2 % sind salzimprägnierte Pfähle und Masten sowie verunreinigtes Sägemehl. In der nachfolgenden Tabelle 9-16 ist eine Auflistung der in Wien aufgezeichneten Abfälle angegeben.

Tabelle 9-16: Holzabfälle gegliedert nach Abfallart in Wien im Jahr 2000 laut [AWK – Wien 2002]

S.Nr.	Holzabfälle	[t/a]	Art
<b>171</b>	<b>Holzabfälle aus der Be- und Verarbeitung</b>	<b>2770,33</b>	
17101	Rinde	27,03	
17102	Schwarten, Spreißel aus sauberem, unbeschichtetem Holz	2668,13	
17103	Sägemehl und Sägespäne aus sauberem, unbeschichtetem Holz	26,42	
17104	Holzschleifstäube und -schlämme	0	
17114	Staub und Schlamm aus der Spanplattenherstellung	0	
17115	Spanplattenabfälle	48,74	
<b>172</b>	<b>Holzabfälle aus der Anwendung</b>	<b>59003,89</b>	
17201	Holzballagen und Holzabfälle, nicht verunreinigt	15040,84	
17202	Bau- und Abbruchholz	43888,17	
17203	Holzwohle, nicht verunreinigt	0	
17207	Eisenbahnschwellen	14,23	G <sup>2</sup>
17208	Holz (z.B. Pfähle und Masten), salzprägniert	0,61	G <sup>1</sup>
17209	Holz (z.B. Pfähle und Masten), ölprägniert	13,31	G <sup>2</sup>
17211	Sägemehl und -späne, durch organ. Chemikalien (z.B. Mineralöle, Lösemittel, Lacke, organ. Beschichtungen) verunreinigt	0,20	G <sup>1</sup>
17212	Sägemehl und -späne, durch anorganische Chemikalien (z.B. Säuren, Laugen, Salze) verunreinigt	0,02	G <sup>1</sup>
17213	Holzballagen, Holzabfälle und Holzwohle, durch organische Chemikalien (z.B. Mineralöle, Lösemittel, Lacke, organische Beschichtungen) verunreinigt	45,77	G <sup>1</sup>
17214	Holzballagen, Holzabfälle und Holzwohle, durch anorgan. Chemikalien (z.B. Säuren, Laugen, Salze) verunreinigt	0,72	G <sup>1</sup>
	<b>Summe der Holzabfälle in Wien 2000</b>	<b>61774,22</b>	

<sup>1</sup> als gefährlich eingestufte Abfälle.

<sup>2</sup> in [AWK – Wien 2002] nicht als gefährlich gekennzeichnet – vom Autor hinzugefügt.

Laut Wiener Abfallwirtschaftskonzept [AWK – Wien, 2002] sind die Baurestmassen bei der Erfassung jene Fraktion mit der geringsten Genauigkeit. Zwischen den von den Sammlern gemeldeten Mengen und den errechneten Mengen besteht teilweise noch ein erheblicher Unterschied. Grund dafür kann sein, dass Baurestmassen nicht im vollen Umfang von den Sammlern erfasst werden und dass viele Baufirmen mittels Eigentransporten die Abfälle zu Aufbereitungsanlagen oder Deponien außerhalb Wiens bringen. Da das AWG 2002 die Sammler und Behandler zu keinen Meldungen für die als „ungefährlich“ eingestuft Abfälle verpflichtet, fehlen die Differenzdaten zu den Behandlern außerhalb Wiens.

In der Studie BASS [Schachermayer et al. 2000] wird anhand des Landes Steiermark errechnet, dass zwischen den zu erwartenden jährlich anfallenden Baurestmassen und den tatsächlich jährlich anfallenden Baurestmassen eine Differenz um den Faktor sieben gibt. Die Unsicherheiten sind somit auf Basis der verfügbaren Literaturdaten hoch. Daher wird auf Basis der materiellen Zusammensetzung des analysierten Gebäudebestandes und der Verknüpfung mit Daten der Gebäudestatistik der Anfall an Bau- und Abbruchholz für das betrachtete System errechnet.

Nachfolgend werden die Prozesse des Sekundärressourcenmanagements und die dazugehörige Infrastruktur in Wien mit den für diese Arbeit wichtigsten Daten kurz beschrieben:

### Private und Öffentliche Abfallsammlung und Sortierung

Die anfallenden Baurestmassen werden im System des sekundären Ressourcenmanagement von der privaten und öffentlichen Abfallsammlung erfasst und sortiert. Die getrennten Fraktionen werden entweder der Wiederverwertung zugeführt, thermisch verwertet, zur Weiterverwertung außerhalb des Systems exportiert oder entsorgt.

Tabelle 9-17: Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung.

Herkunftsprozesse	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozesse
Rückbau/Abbruch	Baurestmassen – „alt“	Sortierte verwertbare Materialien	Stoffliche Verwertung - Tiefbau
Errichtung von Wohn- und Bürobauten	Baurestmassen und Baustellenabfälle – „neu“	Abfall	Stoffliche Verwertung - Export
Energieproduktion	Energie	Emissionen	Thermische Verwertung – Kraft - Wärmekopplung
			Thermische Verwertung Müllverbrennung
			Deponie
			Export - Umwelt

**Zusätzliche Prozessbeschreibung hinsichtlich Holzeinsatz:**

Gemäß [Baurestmassentrennverordnung 1991] muss Bau- und Abbruchholz getrennt gesammelt werden. In der Regel erfolgt die Sammlung im Holsystem und wird über eine Sortieranlage der stofflichen oder thermischen Verwertung zugeführt. In Wien wird die Sammlung von Altholz zum Teil von der Magistratsabteilung 48 durchgeführt (Sperrmüll, Mistplätze; Sortierung im Rinterzelt) und zum Teil von privaten Entsorgungs- und Verwertungsunternehmen übernommen.

Im Fall des Bauschutts erfasst die MA 48 die anfallenden Mengen aus Haushalten und gleichwertigen Einrichtungen, also lediglich die Kleinmengen. An den Mistplätzen und bei der Sperrmüllsammlung wird Altholz getrennt vom Sperrmüll erfasst. Der Abtransport und die Behandlung der rund 25.000 Tonnen Altholz pro Jahr werden im Rahmen öffentlicher Ausschreibungen vergeben. Dabei ist festgelegt, dass das Altholz vollständig zu verwerten ist. Eine Deponierung dieser Abfälle wurde vertraglich ausgeschlossen.

**Infrastruktur von Baurestmassenaufbereitungsanlagen in Wien:**

In Wien stehen laut [Umweltbundesamt, 2003], [Bundesabfallwirtschaftsplan 2001] die nachfolgend beschriebenen Anlagenkapazitäten zur Verfügung, wobei die Anlagenzahlen und Kapazitäten als Mindestwerte zu interpretieren sind.

Bei den Baurestmassenaufbereitungsanlagen handelt es sich um ein bundesweit flächendeckendes Erfassungs- und Verwertungssystem, welches aus stationären und mobilen Anlagen besteht. Da diese Anlagen laut Bundesabfallwirtschaftsplan 2001 nur zu 50 % ausgelastet sind besteht kein zusätzlicher Anlagenbedarf. Es kann somit angenommen werden, dass seitens zur Verfügung stehender Infrastruktur keine Engpässe zu erwarten sind. In Wien sind derzeit 8 Baurestmassenaufbereitungsanlagen in Betrieb [AWK-Wien 2002]:

- Ökotechna Entsorgungs- - und Umwelttechnik GesmbH. 1020 Wien, stationäre Anlage, Sortierbetrieb für Bauschutt.
- Toifelhart GesmbH. 1020 Wien, Sortieranlage für Baustellenabfälle.
- Pittel & Brausewetter GmbH. 1230 Wien, mobile Anlage für Asphaltrecycling.
- Teerag-Asdag AG. 1110 Wien, mobile Anlage für Asphalt-, Betonrecycling und mineralischen Bauschutt.
- Contracon GmbH 1230 Wien, mobile Anlage für Asphalt-, Betonrecycling und mineralischen Bauschutt
- Dipl.-Ing. Leithäusl KG für Bauwesen. 1210 Wien mobile Anlage für Asphaltrecycling.

- Günter Spindler Transporte GesmbH. 1210 Wien, Bauschuttrecycling.
- Altlastensanierung u. Abraumdeponie Langes Feld GesmbH. 1210 Wien, mobile Anlage für Asphalt-, Betonrecycling und mineralischen Bauschutt

**Zusätzliche Prozessbeschreibung hinsichtlich Holzeinsatz:**

Abbruchholz wird in verschiedene Qualitätsstufen unterteilt. Durch den Preisdruck wird jedoch eine Sortierung nach unterschiedlichen Qualitäten zumeist unterlassen. Schwer auf-trennbare Bauteile (verklebte Verbundelemente etc.) erfordern bei der Trennung einen ho-hen technischen und energetischen Aufwand, was auch mit hohen Kosten verbunden ist.

Generell wird Holz stofflich und thermisch verwertet. Aus [Piringer & Fischer, 2003] geht her-vor, dass in Österreich ca. 200.000 t/a Altholz stofflich und ca. 60.000 t/a thermisch verwertet werden. Der Großteil des stofflich verwerteten Holzes landet in der Spanplattenindustrie (ca. 140.000 t/a laut Fritz Egger GmbH).

Die Zerkleinerung des gelieferten Altholzes erfolgt meist vom verarbeitenden Werk gemäß der Erfordernisse des Plattenherstellungsprozesses. Das Haupthemnis für die stoffliche Verwertung sind die Störstoffe, die zum einen die Produktqualität mindern und zum anderen kann es zu einer Aufkonzentration von Schadstoffen im Produkt kommen. Die Störstoffe sind:

- Beton: anhaftend oder als Verunreinigung bei Sammlung / Aufbereitung
- Holzwolleleichtbauplatten, zementgebundene Spanplatten
- Steine, Sand, Betonwasser
- Teer / Teerpappe
- Bituminöse Stoffe
- PVC, Kunststoffe
- Metallische Verunreinigung
- Chemische Verunreinigungen wie Imprägniersalze, PCP, Schwermetalle als Inhaltsstoffe von Lacken

Laut AWK-Wien [2002] werden jährlich ca. 30.050 t stofflich verwertet, davon sind ca. 15.000 t Holzballagen und ca. 14.000 t Bau- und Abbruchholz. Von diesen 14.000 t wer-den ca. 1.500 t an Dippelbäumen und Deckenbalken großen Querschnitts im Sägewerk Schuh [Schuh, 2004] zu Möbelholz und Fußböden verarbeitet, die restlichen 12.500 t kom-men zur Spanplattenindustrie.

**Thermische Verwertung:**

Die sortierten Baurestmassen, welche stofflich nicht sinnvoll verwertet werden können oder die thermische Verwertung mit Energiegewinnung ökologisch und ökonomisch sinnvoller ist, werden in den Kraft – Wärme Kopplungskraftwerken oder in den Müllverbrennungsanlagen verbrannt.

*Tabelle 9-18: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses thermische Verwertung von Baurestmassen und Baustellenabfällen-*

Herkunftsprozess	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozess
Private und Öffentliche Abfallsammlung	Thermisch verwertbare Materialien	Energie	Deponie
		Schlacken und Asche	Export - Umwelt
		Emissionen	Export - Energie

**Zusätzliche Information zum Holzeinsatz:**

Die Fraktion muss hinsichtlich der Spangröße mit jeder einzelnen Feuerungsanlage abgestimmt werden. Je nach Qualität der Bau- und Abbruchhölzer müssen die Feuerungsanlagen die erforderlichen Rauchgasreinigungsaggregate dem Stand der Technik und den gesetzlichen Auflagen entsprechen. Es kommt dabei zu einer Konzentration der Schadstoffe in den Aschen und im Filterkuchen, welche dann entsprechend behandelt und entsorgt werden müssen.

In Wien werden laut AWK-Wien [2002] ca. 31.600 t an Altholz thermisch verwertet, davon sind ca. 30.000 t Bau- und Abbruchholz. Gefährliche Holzabfälle werden in Wien thermisch verwertet, für die insgesamt geringe Menge hat das Bau- und Abbruchholz keine Bedeutung.

**Anlagen zur thermischen Verwertung und Behandlung in Wien:**

In Wien stehen sieben Anlagen mit einer Gesamtkapazität von ca. 736.500 t/a zur Verfügung (Tabelle 9-19).

*Tabelle 9-19: Kapazität thermische Anlagen in Wien – („öffentliche Anlagen und ausgewählte Dritte“) [Umweltbundesamt, 2003]*

Standort, Betreiber	Kapazität [t/a]	Input übernommene Abfallart	Output: Nutzung
MVA Spittelau, 1090, Fernwärme Wien GmbH	260.000	Restmüll	Fernwärme
MVA Flötzersteig, 1160, Fernwärme Wien GmbH	200.000	Restmüll	Fernwärme
Drehrohrofen, 1110, Fernwärme Wien GmbH	k.A.	Verunreinigte Böden	
Wirbelschichtofen 1110, Fernwärme Wien GmbH	200.000	Futtermittel, Schlämme aus Abwasserreinigung, Rechengut, desinfizierte Abfälle	
Drehrohrofen, 1110, Fernwärme Wien GmbH	75.000	Gefährliche Abfälle; z.B. Holz salzimpregniert, Sägemehl, Sägespäne, Holzemballagen organisch oder anorganisch kontaminiert, Bauschutt mit schädlichen Verunreinigungen usw.	
Drehrohrofen, 1110, Fernwärme Wien GmbH	1.500	Quecksilberhaltige Abfälle, Batterien.	
1210, Österreichische Fernwärme GmbH	k.A.	Diverse Öle und Kraftstoffe	

Weiters stehen in Wien 20 innerbetriebliche Anlagen zur Verfügung, wobei die genauen Kapazitäten aus der Literatur nicht entnommen werden können. Eine zusätzliche thermische Anlage (MVA Pfaffenau) mit einer Kapazität von 250.000 t/a ist in Planung, der Baubeginn soll 2005 erfolgen, der Vollbetrieb soll im Laufe des Jahres 2008 erfolgen [Presseinformation, 2003].

Ab Mitte 2006 geht in Wien Simmering ein 62 MW – Biomassekraftwerk in Betrieb [http://www.wienstrom.at/ 2005]. Rund 625.000 Schüttraummeter Waldbiomasse werden jährlich in Strom und Wärme umgewandelt. Die technischen Eckdaten der Anlage, welche nur für Frischholz [Bachhiesl, 2005] ausgelegt ist, sind:

- Brennstoffausnutzung: 82,25 Prozent

- Elektrische Bruttoleistung: 12,36 MW
- Fernwärmeentnahme (KWK - Betrieb): 39,05 MW
- Maximale Brennstoffwärmeleistung: 62,5 MW
- Investitionssumme: 40-45 Mio. Euro

Die Holzversorgung erfolgt ausschließlich über die österreichischen Bundesforste [<http://www.bundesforste.at/dbpresscornerausgabe/detailansicht.php?ID=114>, 2005], Altholz kann in dieser Anlage nicht verfeuert werden.

Da die thermische Verwertung von Altholz aus diesen Angaben keiner Anlage zugeordnet werden kann wird für die vorliegende Fallstudie eine Schweizer Kraft – Wärme Kopplung zugrunde gelegt [Dones et al., 2004]. Da in Wien 2001 noch 11.200 t an Heizöl für die Fernwärmeerzeugung eingesetzt wurden wird angenommen, dass das thermisch verwertete Abbruchholz Erdöl substituiert. Es handelt sich hiermit um eine optimale energetische Nutzung des Bau- und Abbruchholzes, die mit der Realität nicht übereinstimmen muss.

### **Bodenaushub- und Baurestmassendeponien**

Der weder thermisch noch stofflich verwertbare Abfall aus der Sortierung von Baurestmassen und Baustellenabfällen wird, sofern die Anforderungen der Deponieverordnung 1996 [DVO 1996] eingehalten werden, auf der Baurestmassendeponie entsorgt.

*Tabelle 9-20: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses Deponie.*

Herkunftsprozess	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozess
Private und Öffentliche Abfallsammlung und Sortierung	Sortierabfälle	Emissionen	Export - Umwelt
Thermische Verwertung	Schlacken, Aschen		
Energieproduktion	Energie		

### **Deponien in Wien**

In Wien stehen folgende Anlagen zur Verfügung:

- Deponie Rautenweg: Massenabfalldeponie mit Deponiegasnutzung, freies Volumen ca. 3,7 Mio. m<sup>3</sup>
- Deponie Langes Feld bestehend aus den drei Kompartimenten Baurestmassendeponie, Reststoffdeponie und Massenabfalldeponie.
- Drei Aushubdeponien.

Die in Wien anfallenden Baurestmassen werden laut [AWK – Wien] momentan in diese Deponien verführt, das wird bei den Transportdistanzen in dieser Studie berücksichtigt. Es ist jedoch anzunehmen, dass in der Realität auch bedeutende Mengen an Bau- und Abbruchmaterialien im Hinterland, also außerhalb von Wien, entsorgt werden. Diese Möglichkeiten wurden für diese Fallstudie nicht recherchiert.

## 9.6 Datenerfassung

In diesem Kapitel werden alle für diese Arbeit relevanten statistischen Daten der Stadt Wien sowie die Materialmengen und die daraus resultierenden Güterflüsse durch das System „Wohn- und Bürobau Wien“ für den „Ist – Stand“ im Jahr 2001 (Szenario 1), die „Maximale Verwendung von Holz gemäß Wiener Bauordnung“ (Szenario 2) und „Alles aus Holz(misch)Bauweisen“ (Szenario 3) als Grundlage für die Bewertung und den Szenarienvergleich ermittelt.

### 9.6.1 Statistische Grunddaten für Wien

Nach der Volkszählung vom 15. Mai 2001 und Überprüfungen in der Statistik Austria wurde für Österreich eine Einwohnerzahl von 8.032.926 und für Wien von 1.550.123 ermittelt [<http://www.statistik.at/gz/vz.shtml>, 29.8.2003]. Tabelle 9-21 zeigt statistische Kennzahlen von Wien und Österreich. In Wien lebt knapp 20 % der Bevölkerung Österreichs auf einer Fläche von 0,5 % des gesamten Bundesgebietes. In Wien befinden sich knapp ¼ aller Haushalte Österreichs. Der Anteil der Beschäftigten und der Arbeitsstätten liegen über 20%. Je 1.000 Einwohner verfügt Wien über ca. 480 Arbeitsplätze (Gesamtösterreich ca. 360 Arbeitsplätze). Besonders ausgeprägt sind in Wien alle Dienstleistungssektoren (Verkehr; Nachrichtenübermittlung; Geld-, Kredit-, Versicherungswesen; persönliche, soziale, öffentliche Dienste). Nur im Bereich der ver- und bearbeitenden Unternehmen bestehen in Wien weniger Arbeitsplätze je 1.000 Einwohner als im Durchschnitt Österreichs. Das verdeutlicht auch, dass Wien zur Ver- und Entsorgung das Hinterland benötigt.

Seit 1954 beträgt die Gesamtfläche der Stadt Wien 41.495,01 ha, davon sind ca. 20.264 ha Grünland, ca. 13.607 ha Bauflächen (1997), 1.932 ha Gewässer und ca. 5.691 ha Verkehrsflächen [MA 66 2002a].

Tabelle 9-21: Vergleich statistischer Kennzahlen zwischen Wien und Österreich [Statistik Austria, 2003], [<http://www.statistik.at/gz/vz.shtml>, 29.8.2003], [MA66, 2002a].

Kennzahl	Wien	Anteil [%]	Österreich
Bevölkerung	1.550.123	19,30	8.032.926
Personen in Haushalten	1.527.203	19,23	7.943.705
Personen in Anstalten	22.920	25,69	89.221
Privathaushalte Anzahl	772.127	23,10	3.341.841
Wohnungen gesamt	906.756	24,04	3.772.500
Wohnungen / Hauptwohnsitz	738.962	22,34	3.312.500
Personen/Wohnung	2,07	-	2,11
Durchschnittliche Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]	68	-	-
Arbeitsstätten	74.218	21,14	351.041
Beschäftigte	674.886	23,13	2.918.226
Beschäftigte/Arbeitsstätte	9,09	-	8,31
Fläche [ha]	41.495	0,49	8.387.100
Dichte [EW/km <sup>2</sup> ]	3735,24	-	95,78
Stadtregion/Kernzone [EW]	1.825.287	22,72	8.032.926
Stadtregion/Außenzone [EW]	340.070	4,23	8.032.926
Stadtregion/Summe [EW]	2.165.357	26,96	8.032.926

Auf Basis dieses statistischen Vergleichs verschiedener Kennzahlen zwischen dem Bundesland Wien und der österreichischen nationalen Ebene wird, wenn nur Daten auf nationaler Ebene zur Verfügung stehen, der Beitrag Wiens mit einem Anteil von einem ¼ bis ⅕ von Gesamtösterreich angenommen. An dieser Stelle ist auch noch anzumerken, dass unter-



schiedliche statistische Datenquellen in den Zahlenangaben teilweise voneinander abweichen, die Größenordnung der Differenzen bewegt sich aber nur zwischen 1 und 2 %. Diese Genauigkeit ist für die Beantwortung der Fragestellungen in dieser vor allem zur Methodenerprobung dienenden Studie ausreichend. Für andere Fragestellungen muss die Untersuchungstiefe möglicherweise erhöht werden.

### Statistische Daten über den Wiener Gebäudebestand

Aus MA 66 [2002] und Statistik Austria [2004] kann der Wiener Gebäudebestand aufgegliedert nach Bauperioden für das Jahr 2001 folgend aufgegliedert werden:

Tabelle 9-22: Gebäudebestand und darin befindliche Wohnungen in Wien nach der Bauperiode [MA 66, 2002] und [Statistik Austria 2004].

Wien gesamt	Bauperiode, Fertigstellungsjahr der heute noch stehenden Gebäude									
	Gebäude	bis 1880	1880 - 1918	1919 - 1944	1945 - 1960	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001
168.177	8.677	28.160	29.457	25.022	22.654	18.035	19.630	15.697 <sup>1</sup>	845	
100 %	5,2 %	16,7 %	17,5 %	14,9 %	13,5 %	6,15 %	11,7 %	9,3 %	0,5 %	
Wohnungen	bis 1918	1919 - 1944	1945 bis 1970	1971 bis 1991	1991 - 2000	2001				
906.756	321.750	101.411	249.894	180.036	91.943 <sup>2</sup>	6.329				
100 %	35,5 %	11,2 %	27,6 %	19,9 %	10,1 %	0,7 %				

<sup>1</sup> Von 1991 bis 2000 hat sich der Gebäudebestand um 15.697 Gebäude erhöht, allerdings ist der Gebäudeabgang von 300 – 500 Gebäuden pro Jahr, welcher bei den älteren Gebäuden abgezogen werden müsste, wegen nicht verfügbarer Daten nicht berücksichtigt. Daher dürfte der wahre Gebäudezuwachs in dieser Periode zwischen 18.000 und 20.000 Gebäude liegen.

<sup>2</sup> Von 1991 – 2000 betrug der Wohnungszugang 91.943 Wohnungen, der Abgang 44.600 Wohnungen. Die sich so ergebende Differenz zwischen der Zeilensumme und der Wien gesamt Spalte müsste sich durch Abgänge in den Perioden bis 1980 wieder ausgleichen, eine exakte Allokation ist aber aus den verfügbaren Daten nicht möglich.

Unter den 168.177 Gebäuden befanden sich 2001 252 Hochhäuser (Gebäudekomplexe mit einer Summe der Geschosshöhen von über 26 m, ausgenommen Sakralbauten).

### Statistische Daten über die Wohnbautätigkeit 2001

Für die Errechnung der Baumaterialinputs in die Stadt Wien für den Wohn- und Siedlungsbau liefert der Bericht über die Wohnbautätigkeit [Statistik Austria 2003] die nötigen Informationen. Demnach betrug am Ende des Jahres 2001 der Wiener Wohnungsbestand ca. 906.756 Wohnungen.

Tabelle 9-23: Errichtung von Wohnungen in Wien von 1991 bis 2001 [Statistik Austria 2003].

Jahr	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Schnitt
Wien	6360	6911	6480	7243	9428	11928	9639	9363	12878	11713	6329	8933,82

Tabelle 9-23 zeigt, dass ab Mitte der 1990er Jahre die Wohnbautätigkeit in Wien wesentlich intensiver war als im betrachteten Jahr 2001. Der Bevölkerungszuwachs wird für die nächsten 20 Jahre mit ca. 100.000 neuen Einwohnern in Wien beziffert. Aus dem jährlichen Wohnungsabgang und des durch den Bevölkerungszuwachs erforderlichen zusätzlichen Wohnraumbedarf leitet die Stadt Wien einen jährlichen Wohnungsbedarf von ca. 5.500 Wohnungen ab [Die Presse 2004]. Daher wird in dieser Studie angenommen, dass sich die Bauaktivitäten im Wohnbau in den nächsten Jahrzehnten in der Größenordnung von 2001 bewegen werden.

Von diesen laut Tabelle 9-23 6.329 neu errichteten Wohnungen im Jahr 2001 wurden insgesamt 5.487 Wohnungen in Neubauten errichtet, davon 678 (13%) in Ein- u. Zweifamilienhäusern, 4.297 (78%) in Wohngebäuden mit 3 oder mehr Wohnungen und 512 (9%) in Sonstigen Gebäuden. Weiters kamen 580 Wohnungen durch Auf-, Zu- oder Umbau hinzu und 262

Wohnungen entstanden durch Dachgeschossausbauten. Die gesamte Nutzfläche der neu errichteten Wohnungen betrug 2001 477.694 m<sup>2</sup>. Die durchschnittliche Wohnungsgröße beträgt dabei in Wien 75 m<sup>2</sup>, der Gesamtösterreichische Schnitt ergibt 101 m<sup>2</sup>. Dafür wurden in Wien 2001 845 Gebäude errichtet und 175.310 m<sup>2</sup> Fläche verbaut. In den neu errichteten Gebäuden wurden zusätzlich zur Wohnnutzfläche noch 32.373 m<sup>2</sup> Büroräume, 2.995 m<sup>2</sup> Fabriken und Werkstätten und 2.998 m<sup>2</sup> sonstige Räume errichtet. Der Zugang an Garagen betrug 2001 24.939 m<sup>2</sup>. Der Wohnungsabgang 2001 betrug 1.135 Wohnungen, das sind bezogen auf den Wohnungsneubau knapp 18 % der neu geschaffenen Wohnfläche. Über die Baumaterialzusammensetzung der abgebrochenen Wohnungen gibt die Statistik keine Information. Es wird die Annahme getroffen, dass dieser Wohnungsabgang im Jahr 2001 hauptsächlich in Gebäuden statt gefunden hat, welche vor 1945 errichtet wurden.

Bei 77 % der in Wien errichteten Gebäude betrug die Bauzeit weniger als zwei Jahre, für ca. 1 % der Gebäude betrug die Baudauer 9 Jahre. Die durchschnittliche Baudauer war in Wien 2,04 Jahre, wobei Gebäude mit mehr als 21 Wohnungen mit durchschnittlich 1,93 Jahren Baudauer am schnellsten fertig gestellt wurden. In der Arbeit wird vereinfacht angenommen, dass die Baudauer jeweils 1 Jahr beträgt. Am Resultat ändert diese Vereinfachung nichts, da eine Überlappung in beide Zeitachsen statt findet und somit die Anzahl der fertig gestellten Wohnungen den Baumaterialinput reflektiert. Diese Wohnungen wurden in folgenden Gebäudegrößen untergebracht:

Ein- und Zweifamilienhäuser:	660 (642 Ein- und 18 Zweifamilienhäuser)
Gebäude mit 3-5 Wohnungen:	12 (17) mit 67 Wohnungen
Gebäude mit 6-10 Wohnungen:	24 (24) mit 210 Wohnungen
Gebäude mit 11-20 Wohnungen:	49 (55) mit 795 Wohnungen
Gebäude mit 21 und mehr Wohnungen:	83 (89) mit 3737 Wohnungen

Da die Gebäudebilanz in der Wohnbaustatistik [Statistik Austria 2003, Tabelle 3, Seite 46] nicht aufgeht sind in Klammer korrigierte Gebäudezahlen angegeben, mit denen die Bilanz stimmen würde. Laut Statistik Austria befinden sich die neu errichteten Wohnungen in 845 neuen Gebäuden, die Summe der oben stehenden Gebäudezahlen ergibt aber nur 828 Gebäude. Für das Ergebnis dieser Arbeit ist dieser mögliche Fehler allerdings vernachlässigbar und wird nicht weiter verfolgt.

Tabelle 9-24: 2001 errichtete Gebäude, Geschossanzahl und verbaute Fläche [Statistik Austria 2003] und daraus abgeleitete Kellergeschossflächen.

1 Geschoß		2 Geschoße		3 bis 5 Geschoße		6 bis 10 Geschoße		mehr als 10 Gescho.	
Gebäude	verbaute Fläche [m <sup>2</sup> ]	Gebäude	verbaute Fläche [m <sup>2</sup> ]	Gebäude	verbaute Fläche [m <sup>2</sup> ]	Gebäude	verbaute Fläche [m <sup>2</sup> ]	Gebäude	verbaute Fläche [m <sup>2</sup> ]
460	38.229	234	28.752	91	56.512	56	33.348	4	18.471
Anzahl KG-Ebenen	Keller Fläche [m <sup>2</sup> ]	Anzahl KG-Ebenen	Keller Fläche [m <sup>2</sup> ]	Anzahl KG-Ebenen	Keller Fläche [m <sup>2</sup> ]	Anzahl KG-Ebenen	Keller Fläche [m <sup>2</sup> ]	Anzahl KG-Ebenen	Keller Fläche [m <sup>2</sup> ]
1	38.229	1	28.752	1	56.512	1	33.648	2	36.942
Abgeschätzte errichtete Kellergeschossfläche 2001: 192.483 m <sup>2</sup>									

Die verbaute Fläche wird als Grundlage für die Berechnung der Materialmengen für den Kellerbereich herangezogen. Es erfolgt die Annahme, dass Gebäude mit weniger als 6 Geschoßen je ein Kellergeschoss aufweisen, 6-10 geschoßige Gebäude zwei Kellerebenen besitzen und Gebäude mit mehr als 10 Geschoßen mit 2 Kellerebenen errichtet wurden.

Tabelle: 9-25 2001 fertig gestellte Gebäude nach überwiegend verwendeten Materialien in den Außenmauern und Anzahl der Wohnungen [Statistik Austria 2003].

Ziegel		Leichtbausteine <sup>1</sup>		Beton- od. Ziegel- fertigteile <sup>2</sup>		Betonmauerwerk <sup>3</sup>		Holzfertigteil, Blockbau <sup>4</sup>		sonstige Bauwei- se <sup>5</sup>	
Ge- bäude	Woh- nungen	Ge- bäude	Woh- nungen	Ge- bäude	Woh- nungen	Ge- bäude	Woh- nungen	Ge- bäude	Woh- nungen	Ge- bäude	Woh- nungen
Ein- oder Zweifamilienhaus											
318	333	7	7	50	52	62	62	216	217	7	7
Wohngebäude mit 3 und mehr Wohnungen											
52	581	-	-	30	1157	84	2443	1	3	18	625

<sup>1</sup> Porenbeton, Blähton

<sup>2</sup> Großflächige Fertigteile aus mineralischen Baustoffen

<sup>3</sup> Sämtliche Ortbetonbauweisen (mit konventioneller oder verlörener Schalung aller Art, auch Holzbeton)

<sup>4</sup> Sämtliche Holzbauweisen, sowohl Blockbau als auch Holzrahmen- u. Holzskelettbau.

<sup>5</sup> Stahlbetonskelett- und Stahlbau.

Die durchschnittliche Wohnungsgröße (Nettonutzfläche) in Ein- und Zweifamilienhäusern beträgt ca. 95 m<sup>2</sup>, in sonstigen Wohnungen ca. 73 m<sup>2</sup>, die Durchschnittsgröße insgesamt 75 m<sup>2</sup>. In Tabelle 9-26 werden die 2001 in Wien errichteten Wohngebäude und deren Wohnfläche getrennt nach Ein- und Zweifamilienhäuser, Häuser mit 3 und mehr Wohnungen mit bis zu fünf Geschoßen und Gebäuden mit mehr als fünf Geschoßen aufgelistet. Die durch Holzbauweisen substituierbaren Konstruktionen sind alle Gebäude mit bis zu fünf Geschoßen, welche in Szenario 2 durch Holzbauweisen gemäß der Bauordnung ersetzt werden. Da aus der Wohnbaustatistik nicht alle benötigten Informationen direkt ablesbar sind werden basierend auf Tabelle 9-23, Tabelle 9-24 und Tabelle: 9-25 folgende Annahmen für die in Tabelle 9-26 dargestellten Ergebnisse getroffen:

- 460 Gebäude mit einem Geschoss und 200 Gebäude mit 2 Geschoßen werden den 660 Ein- und Zweifamilienhäusern mit insgesamt 678 Wohnungen zugeordnet. Das bedeutet auch, dass in knapp 80 % der Gebäude nur etwas mehr als 10 % der Wohnungen untergebracht sind.
- Damit verbleiben 34 Wohngebäude mit zwei Geschoßen, wovon 17 Gebäude 3-5 Wohnungen pro Gebäude mit insgesamt 67 Wohnungen aufweisen und weitere 17 Gebäude mit 6 – 10 Wohnungen pro Gebäude mit insgesamt 140 Wohnungen aufweisen. Von diesen Gebäuden werden 33 der Ziegel- und 1 der Holzbauweise zugeordnet.
- Den 3-5 geschoßigen Wohnbauten werden die restlichen Gebäude in Ziegelbauweise (33 Gebäude mit 254 Wohnungen) sowie 15 Gebäude in Beton- u. Ziegelfertigteilbauweise (463 Wohnungen) und 57 Gebäude in Betonbauweise (1.590 Wohnungen) zugeordnet. Das maximale Substitutionspotential dieser Massivbauweisen durch Holzbauweisen wird mit 80% angenommen, da die Wiener Bauordnung ein mineralisches Sockelgeschoss vorschreibt. 80 % Substitutionspotential stellen somit die obere Grenze dar (Szenario 2).
- Den Gebäuden mit mehr als 5 Geschoßen werden die restlichen Gebäude in Beton- u. Ziegelfertigteilbauweisen (15 Gebäude, 463 Wohnungen), Betonbauweise (27 Gebäude mit 695 Wohnungen) und sonstigen Bauweisen (18 Gebäude mit 625 Wohnungen) zugewiesen. Aufgrund der Bauordnung kann in dieser Kategorie keine Substitution durch Holzbauweisen erfolgen. Bei der Annahme für Szenario 3 müssten daher alle Gebäude mit maximal 5 Geschoßen errichtete werden, wodurch sich städtebauliche Konsequenzen ergeben würden. Diese werden in dieser Studie nicht erörtert.
- Über Wohnungen in sonstigen Gebäuden gibt es hinsichtlich der Bauweise keine Angaben. Es wird vereinfacht angenommen, dass es sich um Büro- und Verwaltungsgebäude

handelt, die in Wien hauptsächlich in Betonbauweisen errichtet werden. Für das Substitutionspotential Holz für Szenario 2 wird die Annahme getroffen, dass ca. 50 % dieser Gebäude auch für Holzbauweisen geeignet sind. Das Substitutionspotential für Szenario 2 wird somit mit 50% angenommen, für Szenario 3 mit 100 %.

Tabelle 9-26: Darstellung der 2001 in Wien errichteten Wohngebäude und deren Wohnfläche getrennt nach Ein- und Zweifamilienhäuser, Häuser mit 3 und mehr Wohnungen bis zu fünf Geschoßen (Bereich der durch Holz substituierbaren Konstruktionen) und Gebäuden mit mehr als fünf Geschoßen. Substitutionspotential für Szenario 2 wird angegeben, für Szenario 3 beträgt es 100 %.

Bauweise	Anzahl der Gebäude	Wohnungsanzahl	Durchschnitt Wohnfläche pro Wohnung [m <sup>2</sup> ]	Wohnfläche gesamt [m <sup>2</sup> ]	Substitutionspotential Szenario 2 [m <sup>2</sup> ]
Ziegelbauweise	318	333	95	31.635	31.635
Leichtbausteine	7	7	95	665	665
Beton- u. Ziegelfertigteile	50	52	95	4.940	4.940
Betonmauerwerk	62	62	95	5.890	5.890
Holzbauweisen	216	217	95	20.615	0
Sonstige Bauweisen	7	7	95	665	665
<b>Summe Ein- u. Zweifamilienhäuser</b>	<b>660</b>	<b>678</b>	<b>95</b>	<b>64.410</b>	<b>43.795</b>
Ziegelbauweise	33	204	73	14.892	14.892
Leichtbausteine	0	0	0	0	0
Beton- u. Ziegelfertigteile	0	0	0	0	0
Betonmauerwerk	0	0	0	0	0
Holzbauweisen	1	3	73	219	0
Sonstige Bauweisen	0	0	0	0	0
<b>Summe Wohngebäude mit 2 Geschoßen</b>	<b>34</b>	<b>207</b>	<b>73</b>	<b>15.111</b>	<b>14.892</b>
Ziegelbauweise	19	254	73	18.542	14.834
Leichtbausteine	0	0	0	0	0
Beton- u. Ziegelfertigteile	15	463	73	33.799	27.039
Betonmauerwerk	57	1590	73	116.070	92.856
Holzbauweisen	0	0	0	0	0
Sonstige Bauweisen	0	0	0	0	0
<b>Summe Gebäude mit 3-5 Geschoßen</b>	<b>91</b>	<b>2307</b>	<b>73</b>	<b>168.411</b>	<b>134.729</b>
Ziegelbauweise	0	0	0	0	0
Leichtbausteine	0	0	0	0	0
Beton- u. Ziegelfertigteile	15	463	73	33.799	0
Betonmauerwerk	27	695	73	50.735	0
Holzbauweisen	0	0	0	0	0
Sonstige Bauweisen	18	625	73	45.625	0
<b>Summe Gebäude mehr als 6 Geschoße</b>	<b>60</b>	<b>1783</b>	<b>73</b>	<b>130.159</b>	<b>0</b>
<b>Summe Wohngebäude neu</b>	<b>845</b>	<b>4.975</b>	<b>76</b>	<b>378.091</b>	<b>193.416</b>
Wohnungen in sonstigen Gebäuden	k. A.	512	73,5	37.632	18.816
Dachausbau	k. A.	262	73,5	19.257	19.257
Auf-, Zu- Umbau	k. A.	580	73,5	42.630	42.630
<b>Summe sonstige Wohnungen</b>	<b>k. A.</b>	<b>1.354</b>	<b>73,5</b>	<b>99.615</b>	<b>49.757</b>
<b>Summe</b>	<b>min. 845</b>	<b>6329</b>	<b>75,5</b>	<b>477.694</b>	<b>243.173</b>

- Bei Dachausbauten gibt es ebenfalls keine Information hinsichtlich der Bauweise aus der Statistik. Da leichte Holzbauweisen in den meisten Fällen dazu gut geeignet sind wird stark vereinfacht angenommen, dass das theoretische Substitutionspotential für Szenario 2 und Szenario 3 bei 100 % liegt.
- Bei Um-, Auf- und Zubauten gelten dieselben Annahmen wie für Dachgeschossausbauten. Es wird ebenfalls ein Substitutionspotential für die Szenarien 2 und 3 von 100 % angenommen.
- Dachausbauten und Um-, Auf- und Zubauten haben insgesamt einen Anteil von gut 12 % der Wohnbautätigkeit, diese Annahmen haben daher keinen großen Einfluss auf das Ergebnis.

Die Zahl der Wohnungsabgänge durch Abbrüche und Umwidmungen betrug von 1971-1981 48.500 Wohnungen, von 1981 – 1991 48.300 Wohnungen und schließlich von 1991 – 2001 44.600 Wohnungen. Der Wohnungsabgang 2001 durch Abbrüche und Zusammenlegungen (31) wird mit 1.135 Wohnungen angegeben [MA66 2002], das ergibt bei einer durchschnittlichen Wohnungsgröße von 68 m<sup>2</sup> pro Wohnung einen Wohnnutzflächenabgang von 77.180 m<sup>2</sup>.

In Wien wurden 2001 4.181 Wohnungen durch Sanierungsmaßnahmen verbessert. Dabei wurden vor allem Verbesserungen der Haustechnik und sonstige Einbauten vorgenommen. Da die tragenden Strukturen bei diesen Maßnahmen nur zu einem geringen Ausmaß betroffen sind, werden die Sanierungsmaßnahmen nicht weiter verfolgt und sind nicht im System integriert.

### Statistische Daten über die Bürobautätigkeit in Wien:

Die gesamte Bürofläche betrug in Wien am Ende des Jahres 2001 9.500.000 m<sup>2</sup>. Im Jahr 2001 wurden 409.000 m<sup>2</sup> Büroflächen in Wien neu errichtet, das bedeutet ein Wachstum von 4,3 % [<http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/buerostudie/#3>] und zeigt, dass die Büroflächen in Vergleich zu den Wohnflächen in Wien um fast eine Größenordnung schneller wachsen. Aus der Statistik konnten keine genauen Angaben hinsichtlich der Bauweisen, Anzahl der Gebäude und Anzahl der Geschoße gefunden werden. Für diese Arbeit wird daher stark vereinfachend die Annahme getroffen, dass die Baumaterialzusammensetzung jener des Wohnbaues entspricht. Somit ergibt sich folgende Aufteilung: 17 % Ziegelbauweise, 22 % Beton- und Ziegelfertigteile, 45 % Betonmauerwerk und 4 % Holzbauweise und 12 % Sonstige Bauweisen. Durch diese Annahme werden Stahl - Beton Verbundkonstruktionen, wie sie vor allem im Hochhausbau in Wien zur Anwendung kommen, nicht im vollen Ausmaß berücksichtigt. Dadurch dürfte der Stahleinsatz etwas zu niedrig ausfallen. Das Holzsubstitutionspotential wird für Bürobauten mit 25 % angenommen. Diese Annahme bedeutet, dass 25 % der 2001 neu errichteten Büroflächen in Gebäuden mit maximal 5 Geschoßen errichtet worden sind.

Tabelle 9-27: Darstellung der 2001 in Wien errichteten 409.000 m<sup>2</sup> Büroflächen getrennt nach Bauweisen und der durch Holzkonstruktionen substituierbaren Büroflächen.

Bauweise	Anzahl der Gebäude	Anteil [%]	Bürofläche [m <sup>2</sup> ]	Max. Substitutionspotential Holz [m <sup>2</sup> ]
Ziegelbauweise	k.A.	17	69.530	17.383
Leichtbausteine	k.A.	-	0	0
Beton- u. Ziegelfertigteile	k.A.	22	89.980	22.495
Betonmauerwerk	k.A.	45	184.050	46.012
Holzbauweisen	k.A.	4	16.360	0
Sonstige Bauweisen	k.A.	12	49.080	12.270
<b>Summe Bürobauten</b>	<b>k.A.</b>	<b>100</b>	<b>409.000</b>	<b>98.160</b>

Um diese getroffenen Annahmen überprüfen zu können, müsste der Bürobau in Wien detaillierter untersucht werden, was im zeitlichen Rahmen dieser Arbeit aber nicht möglich ist.

Hinsichtlich des jährlichen Abgangs von Büroflächen durch Abbruch konnten aus der Statistik keine Daten entnommen werden. Es wird die Annahme getroffen, dass der jährliche Abgang an Büroflächen durch Abbruch im gleichen Verhältnis zu neu errichteten Büroflächen steht als bei den Wohnflächen. Das bedeutet, dass der Büroflächenabgang durch Abbruch 18 % der neu errichteten Büroflächen entspricht. Das bedeutet für das Jahr 2001 einen Büro-

flächenabbruch von 73.620 m<sup>2</sup>. Es wird angenommen, dass im Jahr 2001 der Büroflächenabbruch großteils Gebäuden vor 1945 betroffen hat (80 %) und die restlichen Abgänge zu jeweils 10 % Gebäude in Ziegelbauweise und Betonbauweise betroffen hat.

## **9.6.2 Grobbilanz des gesamten Hoch- u. Tiefbaus in Wien**

Um den Stellenwert des Wohnungs- und Bürobaues im System des „Bauwesens Wien“ bestimmen zu können und um eventuell weitere für den Holzeinsatz im Bauwesen relevante Prozesse zu identifizieren, wird in einem ersten Schritt eine Grobbilanz des gesamten jährlichen Baumaterialinputs, des gesamten Lagers und des gesamten Baumaterialoutputs erstellt. Diese Bilanz dient als Referenzgröße zur Bilanz des Wohnungs- und Bürobaues. So kann einerseits die Bedeutung des Wohnungs- und Bürobaues in Wien in Relation zum gesamten Bauwesen dargestellt werden und andererseits können die weiteren Einsatzpotentiale des in dieser Arbeit speziell untersuchten Baustoffes Holz abgeschätzt werden.

### **9.6.2.1 Methodisches Vorgehen bei der Berechnung**

Der Input, das Lager und der Output an Baumaterialien in das System und die Flüsse in das Abfallwirtschaftssystem (Sekundärressourcenmanagement) wurde auf Grundlage der Erhebungen der Statistik Austria (vormals ÖSTAT) [ÖSTAT, 1992 und 1993], welche in der Studie PILOT [Daxbeck et al., 1996] ausgearbeitet wurden sowie der Studie „Bauwerk Österreich“ [GUA 2003] bestimmt. Darauf aufbauend wurde anhand der Veröffentlichungen der [Statistik Austria 2003], dem statistischen Amt der Stadt Wien [MA 66 2002a], dem Wiener Abfallwirtschaftskonzept [AWK – Wien 2002], dem Bundes-Abfallwirtschaftsplan Bundesabfallbericht [2001] sowie ergänzender Literatur und eigenen Berechnungen der Baumaterialfluss für das Jahr 2001 abgeschätzt. Es konnte kein konsistenter Datensatz bezüglich der Input- und Outputflüsse des gesamten Bauwesens Wien gefunden werden. Da die Grobabschätzung nur zu Ermittlung der Größenordnung dient, werden die Unsicherheiten durch die Verwendung unterschiedlicher Datenquellen in Kauf genommen. Das Baumateriallager, also der Bestand an Bauwerken, wurde auf Grundlage verschiedener Literaturdaten und eigenen Annahmen und Berechnungen abgeschätzt. Die Datenqualität für den Zweck als Referenzgröße ist ausreichend, da die Hauptaufgabe der Grobbilanz in erster Linie darin besteht, die Größenordnungen der einzelnen Sektoren gegenüber zu stellen.

Die Bautätigkeit wird in die Bereiche Hoch- und Tiefbau gemäß Tabelle 9-1 unterteilt. Über den Prozess „Verteilung von Baumaterialien“ gelangen die Baumaterialien von den Baustoffproduzenten im Hinterland und von den wiederverwertenden Betrieben zu den Baustellen des Hoch- und Tiefbaues. Bei der Ermittlung der gesamten Inputflüsse an Baumaterialien nach Wien werden vorerst das Hinterland und die Transportwege für die Baumaterialverteilung nicht betrachtet. Es erfolgen lediglich eine Input – Output Analyse und eine grobe Abschätzung des Gesamtlagers an Baumaterialien in Wien.

Die Datenqualität unterliegt einer relativ großen Bandbreite (siehe auch Tabelle 9-29), die Größenordnung der gesamten Bauaktivität in Wien kann aber für die Funktion dieser Daten als Referenzgröße in ausreichender Qualität abgeschätzt werden. Für eine bessere Datenqualität müsste das System der statistischen Erfassung entsprechend adaptiert werden. Die Einführung einer nationalen „Baumaterialbuchhaltung“, welche Rückschlüsse auf Regionen

zulässt, wäre als Basis einer effizienten Lagerbewirtschaftung im Sinne eines lebenszyklusorientierten Baumaterialmanagements ein wichtiger Schritt zu einer nachhaltigen Gestaltung des Bauwesens.

### 9.6.2.2 Bestimmung der Inputflüsse für den Hoch- und Tiefbau Wien

Die Daten der Studie PILOT [Daxbeck et al., 1996] werden in dieser Studie als Basis herangezogen und entsprechend der Veröffentlichungen der [Statistik Austria 2003] und dem statistischen Amt der Stadt Wien [MA 66 2002a] sowie eigenen Berechnungen auf das Jahr 2001 aktualisiert. Diese Zahlen sind als Richtwerte mit hoher Unsicherheit zu sehen.

Tabelle 9-28: Baumaterial Input aus Baugewerbe und Bauindustrie nach Wien [ÖSTAT 1992], [Daxbeck et al. 1996]

Güter	Menge [t/a]	Menge [kg/E.a]	Anteil Wert [%]	Anteil Menge [%]	Anteil Österreich [%] Menge
Sand, Kies und Schotter	7.550.561	4.870,94	8,4	42,7	20
Transportbeton (Zukauf)	5.835.331	3.764,43	22,8	33,0	31
Verbrauch von diversen Wassern	1.627.143	1.049,69	0,1	9,2	18
Bituminöses Straßenbaumischgut (Asphalt)	1.447.750	933,96	10,1	8,2	32
Zement	299.755	193,37	4,0	1,7	16
Betonsteinerzeugnisse (Betonmauer- u. Hohlsteine, Betonplatten und -fertigteile, Betonrohre)	294.734	190,14	7,7	1,7	24
Sonstige Zuschlagstoffe (Blähton, Perlit usw.)	212.513	137,09	1,3	1,2	34
Baustahl (Armierungsstahl und Zuganker)	142.247	91,76	14,6	0,8	29
Bau- und Schalungsholz (Rund- u. Schnittholz, Bauelemente aus Holz, kein Brennholz)	91.059	58,74	3,3	0,5	23
Kalk, gebrannt (Löschkalk u. Staubkalk, Verputzmasse)	47.696	30,77	0,7	0,3	13
Gips, gebrannt	31.382	20,24	0,3	0,2	24
Natursteine (Rohblöcke, Rohplatten)	30.236	19,51	1,2	0,2	23
Sonstige Stahl- und Metallmaterialien, Verbindungsmittel	23.016	14,85	3,2	0,1	36
Holzwaren (Holzfenster u. -türen usw.)	22.895	14,77	0,9	0,1	24
Leicht- und Porenbetonsteine (z.B. Ytong)	13.177	8,5	0,4	0,1	31
Faserzement- und Leichtbauplatten aller Art (Gipswände und -platten usw.)	11.999	7,74	1,3	0,1	22
Stahl- u. Metallfenster, -türen, Bauteile aus Stahl und Aluminium	7.939	5,12	1,1	0,0	23
Walzmaterial aus Stahl (Profile, Bleche, Flachstähle usw.)	4.698	3,03	0,7	0,0	17
Kunststoffprodukte (auch Styropor)	2.747	1,77	1,5	0,0	17
Keramische Produkte (gebrannte Steine, Mauer-, Hohl- u. Deckenziegel, Steinzeug, Fliesen, platten usw.)	1.871	1,21	2,3	0,0	13
Sonstige Chemikalien (Imprägnierungen, Mörtelzusätze)	1.271	0,82	1,8	0,0	33
Sprengstoffe	824	0,53	0,2	0,0	15
Schmieröle u. -fette	624	0,4	0,2	0,0	22
Sonstige Hilfsstoffe	0	0,0	5,9	0,0	37
Maschinen- und Geräteersatzteile	0	0,0	3,0	0,0	25
Büromaterial aller Art	0	0,0	1,3	0,0	40
Elektromaterial aller Art	0	0,0	0,7	0,0	28
Schutzkleidung	0	0,0	0,4	0,0	32
KFZ – Bestand und Ersatzteile	0	0,0	0,3	0,0	33
Fahrzeug- und Ladereifen	0	0,0	0,2	0,0	21
Glas- und Glaswaren (Flachglas, Glaswolle, Glasziegel)	0	0,0	0,1	0,0	39
Fassadenverkleidungen aus Stahl und NE – Metallen	0	0,0	0,0	0,0	0
<b>Insgesamt mit Wasser</b>	<b>17.701.468</b>	<b>11.419,38</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>23</b>
<b>Insgesamt ohne Wasser, nur Baumaterial</b>	<b>16.074.325</b>	<b>10.369,71</b>	<b>99,90</b>	<b>90,8</b>	<b>23%</b>

Bezüglich Errichtungsprozess können aus Tabelle 9-28 auch Größen für den Hilfsstoff- und Geräteinsatz heraus gelesen werden. In einer monetären Größe ausgedrückt haben jene Güter einen Anteil von ca. 12 % am gesamten Güterumsatz.

Zur Abschätzung und Veranschaulichung der Bandbreite werden in der Studie PILOT noch folgende Vergleiche aus der Literatur erwähnt und diskutiert:

Tabelle 9-29: Bandbreite: Baumaterialienverbrauch (ohne Wasser, Luft und Energieträger / gerundet) in kg/E.a des Bauwesens nach verschiedenen Literaturstellen, 1991 [Daxbeck et al. 1996]

Quelle 1	Quelle 2	Quelle 3	Quelle 4
[ÖSTAT 1993]	[ÖSTAT 1993]	[Herry 1994]	[Herry 1994]
kg/Wienerin u. Jahr	kg/Österreicherin u. Jahr	kg/Österreicherin u. Jahr	kg/Wienerin u. Jahr
10.500	8.700	12.500	5.000

[Herry, 1994] leitet seine Ergebnisse aus den Transportaktivitäten von mineralischen Rohstoffen und Baumaterialien ab, diese Werte ergeben die obere und die untere Grenze der Bandbreite. Dass in Wien die Baumaterialumsätze laut Statistik pro Einwohner höher ausgewiesen werden als im restlichen Österreich bestätigt einerseits den Trend der statistischen Kennzahlen in Tabelle 9-21, andererseits kann das auch darauf zurück zu führen sein, dass Baufirmen mit Sitz in Wien außerhalb Wiens mehr umsetzen als von außerhalb Wiens kommende Baufirmen in Wien.

Aus diesen Angaben können jedoch keine Zuordnungen zu den einzelnen Prozessen des Hoch- und Tiefbaues vorgenommen werden. Anhaltspunkte können die Umsätze des Hoch- und Tiefbaues laut Tabelle 9-30 als Hilfe zur Zuordnung der Baumaterialflüsse liefern. Vergleicht man in dieser Tabelle das Verhältnis der Investitionen des Wohnungs- und Siedlungsbaues zum Sonstigen Hochbau (1,17) mit dem Verhältnis der geschaffenen Wohnfläche 2001 zur geschaffenen Bürofläche 2001 (1,16), so sind diese Zahlen stimmig. Geht man von den monetären Umsatzzahlen aus und bedenkt man, dass beim Hochbau der Lohnanteil höher als beim Tiefbau ist, so gehen ca. 50 – 60 % der Baumaterialflüsse in den Hochbau und 40 – 50 % der Baumaterialflüsse in den Tiefbau.

Tabelle 9-30: Bauproduktion Hoch- und Tiefbau 2001. Österreich nach Sparten. Zahlenwerte aus Tabelle in [Fachverband der Bauindustrie, 2003] für das Jahr 2001 rückgerechnet.

Sparte		In Mio. € <sup>1</sup>	In Mio. € <sup>1</sup>	%-Anteil von Gesamt	%-Anteil innerhalb Sparte
Vorbereitende Baustellenarbeiten		397,55		4,1	100,0
Hochbau		5.855,73		60,0	100,0
	Wohnungs- und Siedlungsbau		2.139,28	21,9	36,5
	Industrie- und Ingenieurbau		783,55	8,0	13,4
	Sonstiger Hochbau		1.820,39	18,7	31,1
	Adaptierungen im Hochbau		1.112,51	11,4	19,0
Tiefbau		3.505,99		35,9	100,0
	Brücken- und Hochstraßenbau		186,59	1,9	5,3
	Tunnelbau		266,72	2,7	7,6
	Rohrleitungs- und Kanalnetzbau		1086,07	11,1	31,0
	Straßenbau		1045,32	10,7	29,8
	Eisenbahnoberbau		191,75	2,0	5,5
	Wasserbau		53,11	0,55	1,5
	Spezialbau und sonstiger Tiefbau		676,43	6,95	19,3
Gesamt		9.759,27		100,0	

<sup>1</sup> Eigenproduktion plus durchgeführte Lohnarbeit nach dem Güteransatz.

Für die Berechnung der Inputflüsse unter Berücksichtigung des Zieles der Arbeit – der Einsatzmöglichkeiten von Holz – sind vor allem die Prozesse des Hochbaues von Bedeutung. Im Tiefbau werden Holz und Holzwerkstoffe hauptsächlich als temporär eingesetzte Hilfsstoffe in Form von Schalungsholz, Pölzungen, Baustelleneinrichtungen usw. eingesetzt. Für den dauerhaften Einbau von Holz und Holzwerkstoffen im Tiefbau gibt es im Vergleich zum Hochbau wenige Anwendungsmöglichkeiten. Die Verwendung von Holz im Brückenbau ist mengenmäßig in Wien von geringer Bedeutung und wird daher vernachlässigt. Aus den



Betrachtungen ausgeklammert werden aufgrund der schlechten Datenlage der Industrie- und Ingenieurbau in Wien, wo Holz eine untergeordnete Rolle spielt. Die Bereiche Dachausbauten, Auf-, Um und Zubauten im Bereich der Wohnraumschaffung sind inkludiert. Die für das Material Holz wichtigen Prozesse, der Wohnungs- und Siedlungsbau und im Bereich des Sonstigen Hochbaus der Bürobau, sind also vollständig erfasst.

### **9.6.2.3 Abschätzung des Lagers im Hoch und Tiefbau**

Ausgangspunkt sind die Daten wurden aus der Studie PILOT [Daxbeck et al., 1996], welche überprüft und mittels weiterer Literaturquellen, vor allem [AWK – Wien 2002], [MA 66 2002a], [Merl 2004], [Scheidler, 2003], [ÖSTAT 1994] und eigenen Berechnungen ergänzt bzw. an das in dieser Studie gewählte System angepasst werden.

#### **Hochbau:**

##### **Bestimmung des Lagers im Wohnungs- und Siedlungsbau**

[Daxbeck et al. 1996] integriert in diesen Prozess auch die Adaptierungen im Hochbau (Anteil von 19 % des Hochbaues laut Tabelle 9-1) (Umbauten) unter der Annahme, dass das Gebäudevolumen und das Gewicht unverändert bleiben und Umbauten somit für die Berechnungen des bestehenden Lagers keine Bedeutung haben.

Da aus dem aus der Statistik hervor gehenden Zahlenmaterial der Bruttorauminhalt am leichtesten abzuschätzen ist, sind Informationen über die durchschnittliche Dichte des Bruttorauminhaltes erforderlich. In der Studie PILOT wird die volumsbezogene Masse von Wohnbauten in einer Bandbreite von 500 bis 1.500 kg/m<sup>3</sup> angegeben [Glenck et al., 1996]. Weiters wird Hermann (1972) zitiert, der die Dichte mit 640 kg/m<sup>3</sup> Bruttorauminhalt (Wohnungen, Stiegenhaus, Keller und Dachboden) angibt. In der Studie von [Maydl, 1994] werden 7 Gründerzeitbauten analysiert, dort ergibt sich ein Mittelwert von ca. 428 kg/m<sup>3</sup> Bruttorauminhalt. Dieser Wert kommt der in dieser Studie getätigten Analyse eines Gründerzeithauses (ca. 460 kg/m<sup>3</sup> Bruttorauminhalt) in der Größenordnung relativ nahe. Für diese Arbeit wurden verschiedene konkrete Wohnhaustypen (siehe Kapitel 7) analysiert und über die Massenermittlung die in Tabelle 9-31 dargestellten Raumgewichte ermittelt. Dabei wurden das Tragwerk (Wände, Decken, Dachkonstruktion), die Fußbodenkonstruktion bis zur Estrich- bzw. Blindbodenoberkante, fixe Zwischenwände inklusive Putz sowie die Wärmedämmung berücksichtigt. Dies entspricht den für diese Studie gewählten Systemgrenzen. Nicht berücksichtigt wurden Haustechnik und diverse Installationen, Fenster, Türen, vorgehängte Fassadensysteme (Metall, Glas, usw.), Geländer, Fußbodenbeläge, diverse Vertäfelungen und Verkleidungen, sämtliche nicht fest mit dem Gebäude verankerten Teile und dergleichen. Damit ergibt sich für die analysierten Bauweisen ein etwas geringerer Wert (ca. 20 – 30 % gegenüber [Hermann 1972]) als bei vergleichbaren Abschätzungen aus der Literatur. Details zu den Analysen können dem Anhang entnommen werden. Die Analyse ergibt unter der Berücksichtigung der unterschiedlich schweren Materialien sowie unterschiedlicher architektonischer Gestaltungsvarianten in Tabelle 9-31 folgende Bandbreiten bezüglich der Flächen- und Raumgewichte für den Wohn- und Bürobau:

Tabelle 9-31: Flächen- und Raumgewichte der untersuchten Gebäude in verschiedenen Bauweisen. Die Spalten 2 bis 8 repräsentieren die Flächen- und Raumgewichte unterschiedlich gewählter Systemgrenzen.

Systemgrenze Spalte Bauweise	G <sup>1</sup>	Masse/Nutzfläche über Niveau [kg/m <sup>2</sup> ] <sup>2</sup>	Masse/Nutzfläche gesamt [kg/m <sup>2</sup> ] <sup>3</sup>	Masse /BGF über Niveau [kg/m <sup>2</sup> ] <sup>4</sup>	Masse /BGF gesamt [kg/m <sup>2</sup> ] <sup>5</sup>	Masse/Gebäudevolumen über Niveau [kg/m <sup>3</sup> ] <sup>6</sup>	Masse/Gebäudevolumen gesamt [kg/m <sup>3</sup> ] <sup>7</sup>	Masse/Gebäudevolumen über Niveau [kg/m <sup>3</sup> ] <sup>8</sup>
	1	2	3	4	5	6	7	8
Holzskelettbauweise	3	558	1413	465	883	135	266	343
Holzrahmenbauweise	3	559	1415	466	885	136	266	344
Brettstapel/Beton (Decken) Bauweise	3	858	1735	698	1058	203	318	411
Ziegel/Beton Bauweise	3	1588	2488	1258	1479	367	445	574
Durchschnittliche Bauweise vor 1945 <sup>9</sup>	4	2022	2694	1551	1653	460	501	613
Beton System Katzenberger kl. Spannweite	5	1851	2673	1203	1390	363	426	523
Beton System Katzenberger gr. Spannweite	5	1965	2758	1325	1487	399	456 (528)	559
Holzskelett/Massivholz, Brandabsch. mineral. getr.	5	745	1496	487	783	134	240	294
Holzmassiv/Brettstapel, Brandabsch. mineral.	5	1037	1804	705	981	208	301	369

<sup>1</sup> Anzahl der Geschosse über Niveau.

<sup>2</sup> Systemgrenze Massenermittlung: Unterkante der Decke zwischen KG und EG – Masse des darüber liegenden Baukörpers; Systemgrenze Fläche: Wohnnutzfläche; Masse des Baukörpers über Niveau pro Wohnnutzfläche.

<sup>3</sup> Systemgrenze Massenermittlung: Gesamtbaukörper; Systemgrenze Fläche: Wohnnutzfläche; Masse des Gesamtbaukörpers pro Wohnnutzfläche.

<sup>4</sup> Systemgrenze Massenermittlung: Unterkante der Decke zwischen KG und EG; Systemgrenze Fläche: Bruttogeschossfläche (BGF), Masse des Baukörpers über Niveau pro BGF über Niveau.

<sup>5</sup> Systemgrenze Massenermittlung: Gesamtbaukörper; Systemgrenze Fläche: BGF des Baukörpers über Niveau; Masse des Gesamtbaukörpers pro Bruttogeschossfläche über Niveau.

<sup>6</sup> Systemgrenze Massenermittlung: Unterkante der Decke zwischen KG und EG – Masse des darüber liegenden Baukörpers, Systemgrenze Volumen: Masse des Baukörpers über Niveau pro Gebäudevolumen oberhalb der Kellerdeckenunterkante.

<sup>7</sup> Systemgrenze Massenermittlung: Gesamtbaukörper, Systemgrenze Volumen: Gesamtbaukörper; Masse des Gesamtbaukörpers pro Volumen des Gesamtbaukörpers.

<sup>8</sup> Systemgrenze Massenermittlung: Gesamtbaukörper; Systemgrenze Volumen: Gebäudevolumen oberhalb der Kellerdeckenunterkante. Masse des Gesamtbaukörpers pro Gebäudevolumen über Kellerdeckenunterkante.

<sup>9</sup> [Maydl, 1994] kommt bei der Analyse von 7 Gründerzeitbauten in Wien und Linz auf einen Mittelwert von ca. 428 kg pro m<sup>3</sup> Bruttoreauminhalt.

Tabelle 9-31 zeigt, dass die Gebäudedichten abhängig von der Material- und Tragwerkswahl und von der architektonischen Gestaltung (Grundrisseinteilung, Raumhöhen, Erschließungstypologie usw.) Schwankungen unterliegen. Auch unter Berücksichtigung unterschiedlicher Systemgrenzen bei der Berechnung der durchschnittlichen Gebäudedichten liegen die betrachteten Gebäude bei 500 kg/m<sup>3</sup> bzw. teilweise deutlich darunter. Die Massivbauweisen nach dem System Katzenberger weisen aufgrund der großzügigen Gestaltung der Erschließung mittels überdachter Laubengänge ein Raumgewicht auf, das eher am unteren Rand des Gewichtsspektrums angesiedelt ist. Aber auch der Abschluss des offenen Laubengangs mit einer vollkommen geschlossenen Wand aus Beton erhöht das Raumgewicht gemäß Tabelle 9-31 in Spalte 7 lediglich von 457 kg/m<sup>3</sup> auf 528 kg/m<sup>3</sup>, wobei durch die zusätzliche Wand wiederum dünnere Deckenplatten möglich wären, womit das Gewicht wieder reduziert werden könnte. Ein Raumgewicht von 1500 kg/m<sup>3</sup> umbauten Raum kann nur mit sehr massiven und gedrungenen Baukörpern erreicht werden, wie etwa im Schutzraumbau. Das durchschnittliche Wohnungsgewicht dürfte, unter Berücksichtigung der Dominanz von Ziegel- und Betonbauten, zwischen 400 kg/m<sup>3</sup> und 700 kg/m<sup>3</sup> liegen, womit auch die Zahlenwerte von [Hermann 1972] und [Maydl, 1994] bestätigt werden.

Da aus der Statistik nur die Anzahl der Wohnungen in Wien und deren durchschnittliche Nutzfläche herauslesbar sind wird das Lager im Wohnungsbau über das Flächengewicht pro m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche errechnet (Spalte 3, Tabelle 9-31). In der Gesamtgebäudeanzahl sind auch Betriebs- und Bürogebäude sowie sonstige Gebäude enthalten, welche in dieser Studie im „Sonstigen Hochbau“ enthalten sind. Repräsentativ für Wien sind Massivbauweisen, in Tabelle 9-31 ergeben sich daraus Flächengewichte pro m<sup>2</sup> Nutzfläche von 2.662 – 2.762 kg/m<sup>2</sup> Nutzfläche. Darin sind sämtliche öffentlichen und halböffentlichen Erschließungsflächen samt Stiegenhäusern sowie Keller- und Dachgeschoss enthalten. Die leichteren Bauweisen sind erst in den letzten Jahren bei den Ein- und Zweifamilienhäusern verstärkt eingesetzt worden und können bei der Lagerabschätzung aufgrund des geringen Anteils vernachlässigt werden. Es wird eine Bandbreite von +/- 10 % angenommen, da diese Bandbreite je nach Grundrissgestaltung in etwa der Bandbreite der Verhältniszahlen zwischen Wohnnutzfläche und Bruttogeschossfläche in den Grundrissen diverser Architektorentwürfe entspricht. Zwischen ca. 60 – 80 % beträgt der Anteil der Wohnnutzfläche an der Bruttogeschossfläche. Daraus ergibt sich die Annahme des Flächengewichts von 2.400 – 3.000 kg/m<sup>2</sup> Nutzfläche. Daraus kann das Lager für den Wiener Wohnungsbau folgend abgeschätzt werden:

Gesamtnutzfläche Ende 2001:

$$906.756 \text{ [Anzahl der Wohnungen]} * 68 \text{ m}^2 \text{ [durchschnittliche Nutzfläche pro Wohnung]} = 61.659.408 \text{ m}^2 \text{ [Wohnnutzfläche]}$$

$$\text{Lager Wohnbau untere Grenze: } 61.659.408 \text{ m}^2 * 2,4 \text{ t/m}^2 = 147.982.579 \text{ t} - \text{ca. } 148 \text{ Mio. t}$$

$$\text{Lager Wohnbau obere Grenze: } 61.659.408 \text{ m}^2 * 3,0 \text{ t/m}^2 = 184.978.224 \text{ t} - \text{ca. } 185 \text{ Mio. t}$$

Der Wohnbau ist auch für das Holzlager in Wien der bedeutendste Prozess, da laut Statistik 49,6 % der heute bestehenden Wohnungen aus der Zeit vor 1945 stammen und in diesen Gebäuden Decken- und Dachkonstruktionen hauptsächlich Holztragwerke sind. Auf Basis der Informationen von [Merl 2004], [Scheidler, 2003], [ÖSTAT 1994], [AWK – Wien 2002], [MA 66 2002a], [Daxbeck et al. 1996]. [Schuh 2004] sowie eigenen ergänzenden Berechnungen wird der Holzanteil im Lager des Gebäudebestandes folgend abgeschätzt:

Tabelle 9-32: Abgeschätztes Holzlager im Wiener Gebäudebestand auf Basis von [MA 66 2002a] und [Schuh 2004]. Es wurde eine mittlere Dichte von 470 kg/m<sup>3</sup> angenommen, es handelt sich hauptsächlich um Fichten- und Lärchenholz.

<b>Charakteristik des in den Gebäuden gelagerten Holzes, Abmessungen.</b>	<b>Masse [t]</b>
Deckenbalken, große Querschnitte, Spannweite von 4 bis 6 m (10 m), unbehandelt	1.616.800
Holz in diversen Tragwerken, kleine Querschnitte, unbehandelt	141.000
Bretter in diversen Tragwerken, unbehandelt	986.500
Balken in diversen Dachtragwerken, große Querschnitte, behandelt und unbehandelt	481.600
Kleine Querschnitte in diversen Dachtragwerken, behandelt und unbehandelt	110.600
Holz in Dachräumen, behandelt und unbehandelt, unterschiedliche Abmessungen	235.000
<b>Summe Holz in Tragwerken in Wiener Gebäuden</b>	<b>3.571.500</b>
Holz in Türen, Fenstern usw., behandelt	399.000
Innenbauteile aus Holz wie Wand- und Deckenvertäfelungen usw., behandelt	56.500
Bretter in Böden, unterschiedliche Abmessungen, behandelt	352.500
<b>Summe Holz im Ausbaubereich</b>	<b>808.000</b>
<b>Gesamtsumme behandeltes und unbehandeltes Holz in den Wiener Gebäuden</b>	<b>4.370.500</b>

Diese Holzlager bildet auch ein bedeutendes energetisch und stofflich nutzbares Ressourcenpotential. Für die stoffliche Nutzung sind vor allem die unbehandelten Hölzer mit großen Querschnitten interessant, welche vor allem in den Deckenkonstruktionen gespeichert sind.

### **Bestimmung des Lagers im Industrie- und Ingenieurbau und beim Sonstigen Hochbau**

Aus der Gebäudestatistik geht hervor, dass in Wien insgesamt rund 168.000 Gebäude stehen. Davon sind ca. 6.500 Fabrik- und Lagerhallen, 26.000 sonstige Gebäude wie Bürohäuser und etwa 135.500 Gebäude mit hauptsächlichlicher oder ausschließlicher Wohnnutzung (sind bereits im Lager Wohnbau erfasst). Bei den Fabrik- und Lagerhallen sowie den sonstigen Gebäuden wird folgend vorgegangen:

**Fabrik- und Lagerhallen:** Rund 6.500 Gebäude dieser Art befinden sich in Wien. Da diese Gebäudetypen für die Verwendung von Holz keine wesentliche Rolle spielen werden die Annahmen von Daxbeck et al. [1996] übernommen. Das bedeutet, dass eine mittlere Grundfläche von 900 m<sup>2</sup> und eine mittlere Höhe von 6 m angenommen werden. Das ergibt einen Bruttorauminhalt von 35.100.000 m<sup>3</sup>. Es wird die Annahme getroffen, dass die Materialmenge pro m<sup>3</sup> umbauten Raums jener des Wohnbaues in Massivbauweise entspricht (ca. 500 kg/m<sup>3</sup>). Damit ergibt sich ein Gesamtgewicht von ca. 17,5 Mio. t. In diesem Prozess dominieren der Massiv- und der Stahlbau, Holz spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

### **Sonstige Gebäude**

Da die Statistik nur hinsichtlich Büroflächen und Parkgaragen Informationen enthält wird Basis der Annahmen von Daxbeck et al. [1996] eine Gesamtabstschätzung vorgenommen. Damit ergibt sich für die ca. 26.000 sonstigen Gebäude bei einer angenommenen Grundrissfläche von 900 m<sup>2</sup> pro Gebäude und 15 m durchschnittlicher Gebäudehöhe ein Volumen von 351 Mio. m<sup>3</sup>. Bei einem Raumgewicht von durchschnittlich 500 kg/m<sup>3</sup> umbauten Raum ergibt sich ein Lager von 175,5 Mio. t an verbauten Baumaterialien. In dieser Gruppe von Gebäuden befinden sich alle Sakralbauten, diverse historische Bauten, Sportanlagen, Verwaltungs- und Bürogebäude, Parkgaragen, Parkhäuser usw. Die Datenunsicherheit ist bei dieser Abschätzung sehr hoch, die Größenordnung kann aber abgebildet werden. Bekannt sind die in diesen sonstigen Gebäuden befindlichen Büroflächen sowie die Anzahl der Stellplätze in Parkgaragen:

**Bürohäuser:** Die gesamte Bürofläche betrug in Wien Ende 2001 9.500.000 m<sup>2</sup> [<http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/buerostudie/#3>]. Da Bürobauten von der Tragstruktur und der verwendeten Materialien vergleichbar sind, wird mit denselben Zahlen wie beim Wohnbau gerechnet. Damit ergibt das Gewicht bei einer Berücksichtigung von 40 % zusätzlicher Erschließungsflächen folgend:

Untere Grenze:  $(9.500.000 \text{ m}^2 + 9.500.000 \text{ m}^2 \cdot 0,4) \cdot 2,4 \text{ t/m}^2 = 31.920.000 \text{ t}$

Obere Grenze:  $9.500.000 + 9.500.000 \text{ m}^2 \cdot 0,4 \text{ m}^2 \cdot 3,0 \text{ t/m}^2 = 39.900.000 \text{ t}$

Bürohäuser werden momentan meist in Massiv- oder Stahlbauweisen hergestellt, für den Einsatz des Baustoffes Holz ist aber Potential vorhanden.

**Parkhäuser und Parkgaragen:** 2001 standen in Wien 51.720 Stellplätze [MA 66 2002] in Parkhäusern und Parkgaragen zur Verfügung. Für die Stellplätze sind damit ca.  $2,5 \text{ m} \cdot 5 \text{ m} \cdot 51.720 = 646.500 \text{ m}^2$  Fläche erforderlich, werden die Erschließungsflächen von

ca. 50 % der Stellfläche noch hinzu gerechnet ergibt das einen Flächenbedarf von knapp 1.000.000 m<sup>2</sup>. Das Gewicht wird mit ca.  $1.000.000 \text{ m}^2 \cdot 3 \text{ t/m}^2 = 3 \text{ Mio. t}$  abgeschätzt. Da diese Bauwerke für die Holzverwendung keine Rolle spielen ist diese Genauigkeit der Betrachtung ausreichend.

Das Gesamtlager wird somit mit ca. 193 Mio. t abgeschätzt, davon sind ca. 40 Mio. t an Baumaterialien in Bürobauten gespeichert.

### **Bestimmung des Lagers bei den Adaptierungen im Hochbau**

Dieser Prozess spielt nur bei der jährlichen Lagerveränderung eine Rolle und daher wird aufgrund der Charakteristik diesem Prozess kein bestehendes Lager zugeteilt. Die Lagerveränderung wird in den Bereichen Wohnungs- und Siedlungsbau sowie sonstiger Hochbau erfasst und berücksichtigt. Die Adaptierungen (Auf-, Um-, Zubau und Dachgeschossausbauten) machten 2001 knapp  $\frac{1}{5}$  des Umsatzes der Hochbauaktivitäten aus und damit wurden 13,3 % der Wohnungen geschaffen, welche beim Wohnbau berücksichtigt wurden.

### **TIEFBAU:**

Da das Holz im Lager des Tiefbaues unbedeutend ist werden nur die Daten aus [Daxbeck et al. 1996] übernommen. Zum Tiefbau zählen:

#### **Bestimmung des Lagers im Brücken- und Hochstraßenbau**

Brückenbau: 5 Mio. t.

#### **Bestimmung des Lagers im Tunnelbau**

Betonlager im U-Bahnbau: 5,7 Mio. t.

#### **Bestimmung des Lagers im Rohrleitungs- und Kanalnetzbau**

Für diesen Prozess sind keine Daten vorhanden und da dieser Prozess für die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit nicht von Bedeutung ist werden sie auch nicht ermittelt.

#### **Bestimmung des Lagers im Straßenbau**

Es werden die Werte von [Daxbeck et al. 1996] übernommen, wobei auch der Anteil der privaten befestigten Verkehrsflächen diesem Prozess zugeordnet wird. Das Lager beträgt ca. 67 Mio. t.

#### **Bestimmung des Lagers im Eisenbahnoberbau**

Für diesen Prozess sind keine Daten vorhanden und da dieser Prozess für die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit nicht von Bedeutung ist werden sie auch nicht ermittelt.

#### **Bestimmung des Lagers im Wasserbau**

Für diesen Prozess sind keine Daten vorhanden und da dieser Prozess für die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit nicht von Bedeutung ist werden sie auch nicht ermittelt.

#### **Bestimmung des Lagers im Spezialbau und sonstiger Tiefbau**

Für diesen Prozess sind keine Daten vorhanden und da dieser Prozess für die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit nicht von Bedeutung ist werden sie auch nicht ermittelt.

Es wird die Abschätzung von [Daxbeck et al. 1996] mit 77 Mio. t übernommen, wobei der tatsächliche Wert aufgrund der nicht vollständigen Datenerfassung höher sein dürfte.

Das Lager im Hoch- und Tiefbau wird damit zusammenfassend in Tabelle 9-33 folgend abgeschätzt:

Tabelle 9-33: Grobabschätzung des Lagers der Stadt Wien, Bestimmung des Stellenwertes des Wohn- und Bürobaues im Vergleich zum Gesamtlager des Hoch und Tiefbaues.

<b>Sparte</b>	<b>Bandbreite [Mio. t]</b>	<b>Mittelwert [Mio. t]</b>
<b>Wohnbau</b>	<b>148 - 185</b>	<b>166,5</b>
Fabrik- und Lagerhallen	15 - 20	17,5
<b>Bürobau</b>	<b>32 - 40</b>	<b>36</b>
Parkgaragen	2 - 4	3
Sonstige Hochbauten	100 - 170	135
<b>Summe Hochbau</b>	<b>267 - 419</b>	<b>358</b>
Brücken und Hochstraßen	n.b.	5
U-Bahn	n.b.	5,7
Straßenbau und Verkehrsflächen	n.b.	67
Eisenbahnoberbau	n.b.	n.b.
Wasserbau	n.b.	n.b.
Spezialbau und sonstiger Tiefbau	n.b.	n.b.
<b>Summe Tiefbau</b>	<b>n.b.</b>	<b>min. 77</b>
<b>Summe des betrachteten Lagers Hoch- und Tiefbau</b>	<b>min. 344,7 - 496</b>	<b>435</b>

Tabelle 9-33 zeigt, dass Wohn- und Bürobau eine wichtige Rolle im Gesamtlager der Stadt spielen und knapp 50 % des gesamten Lagers ausmachen. Hinsichtlich sonstiger Hochbauten besteht eine große Datenunsicherheit, da aus der Statistik nur die Anzahl der sonstigen Gebäude ohne jegliche weitere Information herauslesbar ist. Eine tiefer gehende Recherche ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich, in diesem Bereich könnte aber zusätzliches Holzpotential stecken. Der Wohn- und Bürobau sind aber datenmäßig gut erfasst und werden in weiterer Folge detailliert untersucht.

#### **9.6.2.4 Bestimmung der Outputflüsse Hoch- und Tiefbau Wien**

Das Wiener Abfallwirtschaftskonzept [AWK – Wien 2002], der Bundes-Abfallwirtschaftsplan Bundesabfallbericht [2001] sowie ergänzende Literatur und eigenen Berechnungen bilden die Basis für die Ermittlung der Flüsse in das Abfallwirtschaftssystem und die Exporte aus dem System hinaus. Da genaue Zahlen aus den genannten Quellen nur für das Jahr 2000 vorhanden sind wurden die Zahlen mittels aktueller Informationen der Stadt Wien [<http://www.wien.gv.at/ma22/abfall/abfallstatistik.htm>, 2005] so gut als möglich angepasst. Für den Wohn- und Bürobau erfolgt eine eigene Betrachtung in Kapitel 9.6.4. Die Basis für Tabelle 9-34 bildet das Wiener Abfallwirtschaftskonzept 2002 [AWK-Wien 2002], wobei die Trennung zwischen Bauwesen und anderen Abfallquellen nicht immer eindeutig ist. Die Größenordnung kann aber dargestellt werden.

Tabelle 9-34: Abschätzung des Abfallaufkommens in Wien aus dem Bauwesen auf Basis des Abfallwirtschaftskonzepts Wien 2002 [AWK - Wien 2002].

Schl.Nr.	Aufkommen an Abfällen in Wien, Bezeichnung gemäß ÖNORM S 2100	Wien 2000 [t]	Wien 2001 [t]	Stoffliche Verwertung 2001	Thermische Behandlung 2001	Deponie 2001
17202	Bau- und Abbruchholz	43.888	44.000	15.000	29.000	0
31409	Bauschutt (keine Baustellenabfälle)	603.245	700.000	105.000	0	595.000
31410	Straßenaufbruch	190.927	250.000	225.000	0	25.000
31411	Bodenaushub	2.284.273	2.030.000	650.000	0	1.380.000
31412	Asbestabfälle, Asbeststäube	75	75	0	0	75 <sup>1</sup>
31423 (G)	Ölverunreinigte Böden	70.865	70.000	0	0	70.000 <sup>2</sup>
31424 (G)	Sonstige verunreinigte Böden	30.736	30.000	0	0	30.000 <sup>2</sup>
31_(G)	Chemisch verunreinigter Bauschutt	5.061	5.000	500	0	4.500 <sup>1</sup>
31427	Betonabbruch	182.570	130.000	117.000	0	13.000
31601	Schlamm aus der Betonherstellung	955	950	0	0	950
351	Eisen- und Stahlabfälle (auch andere Quellen)	67.868	68.000	68.000	0	0
353	NE-Metallabfälle (auch andere Quellen)	15.409	15.000	0	0	15.000
35302	Blei	214	210	210	0	0
35304	Aluminium, Aluminiumfolien	1.688	1.700	1.700	0	0
35309	Zink, Zinkplatten	438	440	440	0	0
35310	Kupfer	692	700	700	0	0
54912	Bitumen, Asphalt	87.671	87.500	78.500	0	9.000
57108	Polystyrol, Polystyrolschaum	233	240	0	240	0
57119	Kunststofffolien	2.723	2.700	0	2.700	0
91206	Baustellenabfälle (kein Bauschutt)	169.532	135.000	27.000	27.000 <sup>3</sup>	81.000 <sup>3</sup>
	Summe	3.759.063	3.571.515	1.289.050	58.940	2.223.525

<sup>1</sup> Deponierung in geeigneten Deponien.

<sup>2</sup> Nach entsprechender Vorbehandlung in geeigneten Deponien.

<sup>3</sup> Annahme, da keine Angaben vorhanden waren.

Der Verwertungsgrad der Baurestmassen wird aus dem AWK-Wien [2002] übernommen. Demnach wurden 36 % (1,27 Mio. t) verwertet. Im Einzelnen wurden rund 32 % Bodenaushub, jeweils 90 % an Straßenaufbruch, Bitumen und Asphalt, Betonabbruch, 20 % Baustellenabfälle und 15 % Bauschutt stofflich verwertet. Von den 44.000 t Bau- und Abbruchholz werden ca. 15.000 t stofflich und ca. 29.000 t thermisch verwertet [MA 66 2002] Grubenverfüllung wurde nicht als stoffliche Verwertung gewertet. Die nicht verwertbaren Restmengen werden deponiert.

Eine Zuordnung der Abfallfraktionen zu speziellen Bauprozessen des Hoch- oder Tiefbaues ist auf Basis der verfügbaren Informationen nicht möglich, eine genauere Recherche würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Die Größenordnung der Gesamtabfallflüsse kann aber gezeigt werden.

Die nachfolgende Grafik fasst bildet das Ergebnis der Grobbilanz des Hoch- und Tiefbaues in Wien ab. Dabei sollen lediglich die Größenordnungen dargestellt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Datenquellen können daraus keine direkten Rückschlüsse gezogen werden. Genauere Aufschlüsse beispielsweise bezüglich des Verhältnisses des Inputs zum Output können erst der detaillierten Betrachtung des Wohn- und Bürobaues entnommen werden.

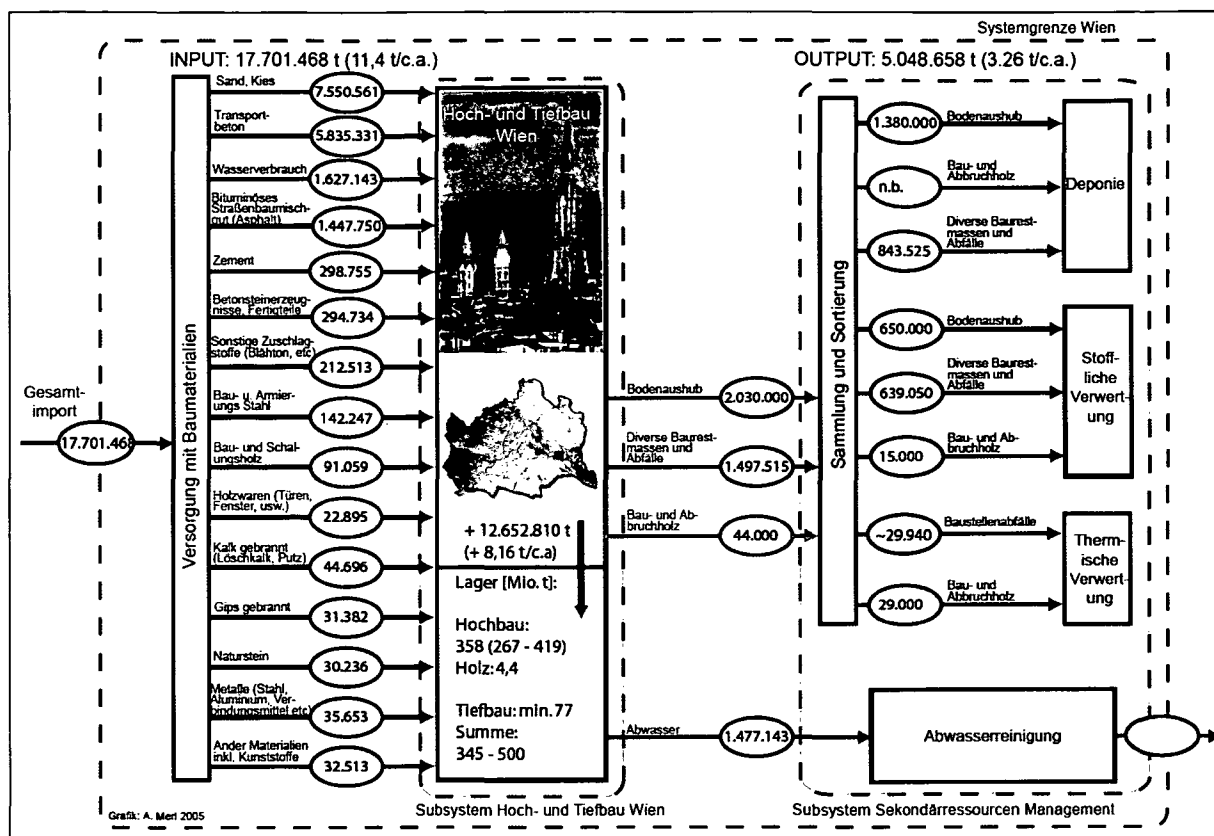


Abbildung 9-4: Grobbilanz des Hoch- und Tiefbaues in Wien. Datenquellen: [Daxbeck et al., 1996], [GUA 2003], [Statistik Austria 2003], [MA 66 2002a], [AWK – Wien 2002], [Bundes-Abfallwirtschaftsplan Bundesabfallbericht 2001] und eigene Berechnungen.

### 9.6.3 Baumaterialinput für den Wohnungs- und Bürobau, Szenarios

Auf Basis der Grobbilanz des gesamten Bauwesens in Wien und der damit verbundenen Analyse, für welche Prozesse das Material Holz geeignet ist, können folgende Prozesse identifiziert werden:

- Wohnbau
- Büroflächen in Gebäuden mit Wohnnutzung und umgekehrt
- Bürohausbau

In weiterer Folge werden nur mehr diese Prozesse näher untersucht und es kann bei der Bewertung ein Bezug zu den Gesamtflüssen hergestellt werden, um einen Vergleich bezüglich der Bedeutung der ausgewählten Prozesse mit dem Gesamtsystem zu haben und die Ergebnisse entsprechend interpretieren zu können.

Für den Holzeinsatz sind bei Wohn- und Bürogebäuden je nach Gebäudegröße und in Übereinstimmung mit der Wiener Bauordnung (Details in Kapitel 6.1) die Bereiche oberhalb der Kellergeschossdecke bzw. oberhalb der Decke des Erdgeschoss von Relevanz. Daher werden die Daten einerseits für die holzrelevanten Bereiche getrennt von den Bereichen unterhalb des Niveaus angegeben. Parallel zur Ermittlung des Baumaterialinputs für den Ist-Stand 2001 (Szenario 1) werden auch die Vergleichsszenarios 2 und 3 entwickelt und beschrieben.



### Baumaterialinput Wohn- und Bürobau 2001

Auf Basis der Bauweisenanalysen in Kapitel 7 und der in diesen Bauweisen hauptsächlich eingesetzten Materialien und in Kombination mit den statistischen Daten der Stadt Wien gemäß Tabelle 9-26 und Tabelle 9-27 wird der Baumaterialinput 2001 hochgerechnet. Diese Daten bilden dann die Ausgangslage für die zu produzierenden und zu transportierenden Baumaterialmengen und die bei der Errichtung anfallenden Baustellenabfälle sowie in weiterer Folge die nach der Nutzungsdauer der 2001 errichteten Gebäude anfallenden Baurestmassen in der Zukunft. Die im Jahr 2001 anfallenden Baurestmassen werden aus dem Wohnungsabgang 2001, der Analyse der abzubrechenden Gebäude (Kapitel 7) in Kombination mit Literaturdaten errechnet.

Auf Basis der Materialmengen des Ist-Standes werden die Materialmengen für die beiden Szenarien „Maximale Verwendung von Holz gemäß Bauordnung“ (Szenario 2) und „Alles aus Holz(misch)Bauweisen“ (Szenario 3) errechnet. Für Szenario 2 werden die Materialmengen zusammen mit dem Ist – Stand ermittelt, für Szenario 3 werden die Materialmengen im Anschluss daran separat eruiert.

### Kellergeschoße und Parkgaragenflächen Wien gesamt:

Unter der Annahme, dass Kellergeschoße in der Regel in Betonmassivbauweise errichtet werden, beträgt die 2001 gebaute Kellergeschossfläche laut Tabelle 9-24 192.483 m<sup>2</sup>. Dazu werden noch die 24.939 m<sup>2</sup> neu geschaffenen Parkgaragenflächen hinzugezählt. Für die Berechnung wird angenommen, dass diese wie Kellergeschoße in Betonbauweise konstruiert sind. Für Bürogebäude wird, da aus der Statistik keine Zahlenangaben gefunden werden konnten, angenommen, dass Bürohäuser einen Anteil von 10 % der Büronutzfläche an Kellergeschoßfläche aufweisen. Das ergibt laut den Angaben in Kapitel 9.6.1 eine Kellergeschossfläche von 40.000 m<sup>2</sup> in Betonbauweise. Es wird kein Substitutionspotential für Holz angenommen, die Materialmengen sind für alle drei Szenarien identisch, die Kellergeschoße haben somit auf den Szenarienvergleich keinen Einfluss. Die dazugehörigen Baumaterialmengen werden gemäß Tabelle 9-35 folgend abgeschätzt:

Tabelle 9-35: 2001 in Wien errichtete Kellergeschossflächen und dabei eingesetzte Materialmenge für den Ist – Stand, Szenario 2 und Szenario 3.

Bauweise	Gebäuden mit KG	Anzahl Wohnungen	KG-Fläche/ Gebäude [m <sup>2</sup> ]	KG - Fläche gesamt [m <sup>2</sup> ]	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Summe Material [t]
Wohnbau - Betonbau	845	-	289,46	192.483	7.8	406.631
Parkgaragen - Betonbau	k.A.	-	k. A.	24.939	7.8	52.685
Bürohäuser - Betonbau	k.A.	-	k-A.	40.000	7.8	84.502
<b>Summe</b>	<b>845</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>257.422</b>		<b>543.818</b>

Der damit verbundene Bodenaushub errechnet sich bei einer angenommenen durchschnittlichen Kellergeschoßhöhe von 3 m folgend:

$$257.422 \text{ m}^2 \cdot 3\text{m} = 772.266 \text{ m}^3 \cdot 1,6 \text{ t/m}^3 = 1.235.625,6 \text{ t, also rund 1,24 Mio. t.}$$

Der umbaute Raum wird gemäß den Grundrissanalysen in Kapitel 7 folgend berechnet:

- Kellergeschoß: Kellerfläche multipliziert mit 3 m Geschoßhöhe.
- Ein- und Zweifamilienhäuser: Wohnnutzfläche multipliziert mit 3 m Geschoßhöhe und dem Faktor 1,15 (Umrechnung von der Wohnnutzfläche auf die Bruttogeschoßfläche: berücksichtigend die Treppenhäuser)

sichtigt die Tarafläche und die nicht zur Wohnnutzfläche zählenden Bereiche für die Erschließung usw.)

- Mehrgeschoßige Wohnhäuser: Wohnnutzfläche multipliziert mit 3 m Geschoßhöhe und dem Faktor 1,30, welcher die Umrechnung von der Wohnnutzfläche auf die Bruttogeschosßfläche auf Basis der Analyse verschiedener 2001 errichteter bzw. geplanter Wohnbauten (Kapitel 7) darstellt. Damit werden die Tarafläche und die nicht zur Wohnnutzfläche zählenden Bereiche für Erschließung usw. in die Berechnung integriert.

Der gesamte umbaute Kellerraum beträgt somit ca.  $257.422 \text{ m}^2 \cdot 3 \text{ m} = 772.266 \text{ m}^3$ , das ergibt mit der errechneten Materialmenge in Tabelle 9-35 ein durchschnittliches Raumgewicht von ca.  $706 \text{ kg/m}^3$  für den Kellerbereich.

#### Ein- und Zweifamilienhäuser:

Ein- und Zweifamilienhäusern haben einen Anteil von ca. 13,5 % am Wohnbau in Wien 2001. Dabei dominiert die Ziegelbauweise (48 %), die Baumaterialflüsse werden mittels der „Massivbauweise Ziegel und Beton“ abgeschätzt. Die Holzbauweise kommt auf einen Anteil von knapp 33 %, die Materialflüsse werden mittels der „Holzrahmenbauweise“ hochgerechnet. Gebäude aus Leichtbausteinen (ca. 1 %) werden aufgrund des geringen Anteils wie Gebäude aus Ziegel behandelt. Da Ziegel und Leichtbausteine ein ähnliches Volumen und Gewicht aufweisen [Riccabona 1981] und Leichtbausteine im Vergleich zu Ziegeln bei den Wirkungsbilanzen geringfügig höhere Werte durchwegs in derselben Größenordnung aufweisen [Kohler & Klingele 1996], ist die Abweichung bei den Materialflüssen und der Bewertung derselben klein. Für Beton- und Fertigteilm Bauweisen (knapp 17 %) sowie für Sonstige Bauweisen (ca. 1 %) werden die Materialmengen mittels der „Massivbauweise Beton“ abgeschätzt. Diese Vereinfachungen sind einerseits erforderlich, da eine exaktere Datenerhebung aus den zugänglichen Quellen nicht möglich ist und eine mehr ins Detail gehende Bestandsaufnahme im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich ist.

Tabelle 9-36: Gesamter Baumaterialinput für den Ist - Stand in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Ein- und Zweifamilienhäuser 2001 – Szenario 1.

Bauweise	Anzahl der Gebäude bzw. Anzahl KG	Anzahl Wohnungen	Wohnfläche pro Wohnung [m <sup>2</sup> ]	Wohnfläche gesamt [m <sup>2</sup> ]	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Summe Material [t]
Ziegelbauweise	318	333	95	31.635	7.5	50.245
Leichtbausteine	7	7	95	665	7.5	1.056
Beton- u. Ziegelfertigteile	50	52	95	4.940	7.6 Bsp. 1	9.145
Betonmauerwerk	62	62	95	5.890	7.6 Bsp. 1	10.903
Holzbauweisen	216	217	95	20.615	7.2	11.534
Sonstige Bauweisen	7	7	95	665	7.6 Bsp2	1306
<b>Summe</b>	<b>660</b>	<b>678</b>	<b>95</b>	<b>64.410</b>		<b>84.189</b>

Der umbaute Raum ab EG – Deckenoberkante beträgt laut Tabelle 9-36 ca.  $64.410 \text{ m}^2 \cdot 3 \text{ m} \cdot 1,15 = 222.215 \text{ m}^3$ , daraus ergibt sich ein durchschnittliches Raumgewicht von ca.  $379 \text{ kg/m}^3$ .

Für Szenario 2 werden alle Gebäude jeweils durch die Holzmassivbauweise (siehe Kapitel 7.4) substituiert. Da ein möglichst hoher Holzeinsatz simuliert werden soll wird diese materialintensive Bauweise gewählt.

Tabelle 9-37: Gesamter simulierter Baumaterialinput für Szenario 1 in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Ein- und Zweifamilienhäuser 200 Szenario 21.

Bauweise und Substitution	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Wohnfläche	Summe Material [t]
Ziegelbauweise => 100 % Holz	7.4 Bsp. 1	31.635	27.145
Leichtbausteine => 100 % Holz	7.4 Bsp. 1	665	571
Beton- u. Ziegelfertigteile => 100 % Holz	7.4 Bsp. 1	4.940	4.239
Betonmauerwerk => 100 % Holz	7.4 Bsp. 1	5.890	5.054
Holzbauweisen=> 100 % Holz unverändert	7.2	20.615	11.534
Sonstige Bauweisen => 100 % Holz	7.4 Bsp. 1	665	571
<b>Summe</b>		<b>64.410</b>	<b>49.114</b>

Der umbaute Raum ab EG – Deckenoberkante beträgt laut Tabelle 9-37 ca.  $64.410 \text{ m}^2 \cdot 3 \text{ m} \cdot 1,15 = 222.215 \text{ m}^3$ , daraus ergibt sich ein durchschnittliches Raumgewicht von ca.  $221 \text{ kg/m}^3$ .

### Wohngebäude mit 2 Geschoßen

Die Anzahl der 2001 gebauten Wohngebäude mit 2 Geschoßen ist mit 34 Gebäuden relativ klein, diese Gebäude haben einen Anteil von etwas mehr als 3 % der im Jahr 2001 errichteten Wohnfläche. Davon sind mehr als 98,5 % der Gebäude in Ziegelbauweise und knapp 1,5 % der Gebäude (1 Gebäude) in Holzbauweise errichtet. Dabei handelt es sich um das größte bis 2001 in Holzbauweise errichtete Wohngebäude, welches drei Wohnungen beinhaltet.

Tabelle 9-38: Gesamter Baumaterialinput für den Ist - Stand in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Zweigeschoßige Wohnhäuser 2001 Szenario 1.

Bauweise	Anzahl der Gebäude	Anzahl Wohnungen	Wohnfläche pro Wohnung [m²]	Wohnfläche gesamt [m²]	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Summe Material [t]
Ziegelbauweise	33	204	73	14.892	7.5	23.653
Leichtbausteine	0	0	0	0	-	0
Beton- u. Ziegelfertigteile	0	0	0	0	-	0
Betonmauerwerk	0	0	0	0	-	0
Holzbauweisen	1	3	73	219	7.1	122
Sonstige Bauweisen	0	0	0	0	-	0
<b>Summe</b>	<b>34</b>	<b>207</b>	<b>73</b>	<b>15.111</b>		<b>23.775</b>

Der umbaute Raum ab EG – Deckenoberkante beträgt laut Tabelle 9-38 ca.  $15.111 \text{ m}^2 \cdot 3 \text{ m} \cdot 1,3 = 58.933 \text{ m}^3$ , daraus ergibt sich ein durchschnittliches Raumgewicht von ca.  $403 \text{ kg/m}^3$ .

Für Szenario 2 wird jeweils die Ziegelbauweise durch eine Holzskelettbauweise kombiniert mit Massivholzwandelementen ersetzt (Siehe Kapitel 7.3).

Tabelle 9-39: Gesamter simulierter Baumaterialinput für den Ist - Stand in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien - Zweigeschoßige Wohnhäuser 2001.

Bauweise und Substitution	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Wohnfläche	Summe Material [t]
Ziegelbauweise => 100 % Holz	7.3	14.892	11.090
Holzbauweisen=> 100 % Holz unverändert	7.1	219	122
<b>Summe</b>		<b>15.111</b>	<b>11.212</b>

Der umbaute Raum ab EG – Deckenoberkante beträgt somit laut Tabelle 9-39 ca.  $15.111 \text{ m}^2 \cdot 3 \text{ m} \cdot 1,3 = 58.933 \text{ m}^3$ , damit ergibt sich ein durchschnittliches Raumgewicht von ca.  $190 \text{ kg/m}^3$ .

### Wohngebäude mit 3 – 5 Geschoßen

Die 2001 errichteten Wohngebäude mit 3-5 Geschoßen haben einen Anteil von über 35 % der im Jahr 2001 insgesamt bereitgestellten Wohnfläche. Davon sind laut Statistik Austria [2003] ca. 11 % in Ziegelbauweise und ca. 89 % in Betonbauweise hergestellt.

Tabelle 9-40: Gesamter Baumaterialinput für den Ist - Stand in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – 3 – 5-geschoßige Wohnhäuser 2001.

Bauweise	Anzahl der Gebäude	Anzahl Wohnungen	Wohnfläche pro Wohnung [m²]	Wohnfläche gesamt [m²]	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Summe Material [t]
Ziegelbauweise	19	254	73	18.542	7.5	29.450
Leichtbausteine	0	0	0	0	-	0
Beton- u. Ziegelfertigteile	15	463	73	33.799	7.6 Bsp. 2	66.403
Betonmauerwerk	57	1590	73	116.070	7.6 Bsp. 1	214.868
Holzbauweisen	0	0	0	0	-	0
Sonstige Bauweisen	0	0	0	0	-	0
<b>Summe</b>	<b>91</b>	<b>2307</b>	<b>73</b>	<b>168.411</b>		<b>310.721</b>

Der umbaute Raum ab EG – Deckenoberkante beträgt somit laut Tabelle 9-40 ca.  $168.411 \text{ m}^2 * 3 \text{ m} * 1,3 = 656.413 \text{ m}^3$ , das durchschnittliche Raumgewicht beträgt somit ca.  $473 \text{ kg/m}^3$ .

Für die Gebäude mit 3 – 5 Geschoßen wird für Szenario 2 ein Substitutionspotential von 80 % für Holzbauweisen angenommen. Diese Annahme wird auf Basis der Wiener Bauordnung getroffen, welche bei fünf Vollgeschoßen ein mineralisches Grundgeschoß fordert. Als Bauweise wird eine Mischbauweise aus Holz und Holz-Betonverbundelementen gewählt, welche den Brandschutzbestimmungen der Wiener Bauordnung entspricht. Außerdem ist bei dieser Bauweise ein hoher Vorfertigungsgrad bei den Decken- und Wandelementen gegeben. Ferner wurde für die Massenermittlung eine Grundrissgestaltung zugrunde gelegt, welche Brandabschnitte durch Betonwände trennt und die Stiegenerschließungen in massiver Betonbauweise ausgebildet sind (siehe Kapitel 7.4)

Tabelle 9-41: Gesamter simulierter Baumaterialinput für Szenario 2 in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – 3 – 5-geschoßige Wohnhäuser 2001.

Bauweise und Substitution	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Wohnfläche	Summe Material [t]
Ziegelbauweise => 80 % Holzsubstitution	7.4 Bsp. 2	14.834	15.256
Ziegelbauweise Rest (Erdgeschoße)	7.5	3.708	5.889
Beton- u. Ziegelfertigteile => 80 % Holzsubstitution	7.4 Bsp. 2	27.039	27.792
Beton- u. Ziegelfertigteile Rest (Erdgeschoße)	7.6 Bsp. 2	6.760	13.281
Betonmauerwerk => 80 % Holzsubstitution	7.4 Bsp. 2	92.856	95.441
Betonmauerwerk Rest (Erdgeschoße)	7.6 Bsp. 1	23.214	42.974
<b>Summe</b>		<b>168.411</b>	<b>200.633</b>

Der umbaute Raum ab EG – Deckenoberkante beträgt somit laut Tabelle 9-41 ca.  $168.411 \text{ m}^2 * 3 \text{ m} * 1,3 = 656.413 \text{ m}^3$ , das entspricht einem durchschnittlichen Raumgewicht von ca.  $306 \text{ kg/m}^3$ .

### Wohngebäude mit 6 und mehr Geschoßen

Die 2001 errichteten Wohngebäude mit mehr als 6 Geschoßen haben einen Anteil von über 27 % an den im Jahr 2001 gebauten Wohnungen. Dabei handelt es sich einerseits um Beton- und Betonfertigteiltbauweisen, wie sie auch in Kapitel 7.6 analysiert wurden und welche einen Anteil von knapp 65 % an den Wohnbauten mit mehr als 6 Geschoßen haben. Bei den

Sonstigen Bauweisen mit einem Anteil von ca. 35 % handelt es sich um Stahlbetonskelett-, Stahlbetonverbund- und Stahlbauweisen. Diese werden als Vereinfachung wie Betonbauweisen, allerdings mit einem größeren Rastermaß von 7,50 m, behandelt. Dadurch kommt es zu Abweichungen von der Realität bei der Errechnung an Betonmassen und Stahl. Dabei handelt es sich um einen Anteil von 9,5 % an der Gesamtwohnfläche, die Wirkungsbilanz wird dadurch etwas geringere Gesamtwerte aufweisen, die Aussagekraft des Endergebnisses wird dadurch aber kaum beeinträchtigt und diese Gebäudekategorie kann in Szenario 2 auch nicht durch Holzbauweisen substituiert werden. Für etwaige praktische Umsetzungen eines Ressourcenmanagementsystems müsste aber diese Gebäudekategorie hinsichtlich der Baumaterialzusammensetzung genauer untersucht werden.

Tabelle 9-42: Gesamter Baumaterialinput für den Ist – Stand (Szenario 1) und für Szenario 2 in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Wohngebäude mit 6 und mehr Geschossen 2001.

Bauweise	Anzahl der Gebäude	Anzahl Wohnungen	Wohnfläche pro Wohnung [m <sup>2</sup> ]	Wohnfläche gesamt [m <sup>2</sup> ]	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Summe Material [t]
Ziegelbauweise	0	0	0	0	-	0
Leichtbausteine	0	0	0	0	-	0
Beton- u. Ziegelfertigteile	15	463	73	33.799	7.6 Bsp. 2	66.403
Betonmauerwerk	27	695	73	50.735	7.6 Bsp. 1	93.920
Holzbauweisen	0	0	0	0		0
Sonstige Bauweisen	18	625	73	45.625	7.6 Bsp. 2	89.637
<b>Summe</b>	<b>60</b>	<b>1783</b>	<b>73</b>	<b>130.159</b>		<b>249.960</b>

Der umbaute Raum ab EG – Deckenoberkante beträgt somit laut Tabelle 9-42 ca.  $130.159 \text{ m}^2 \cdot 3 \text{ m} \cdot 1,3 = 507.620 \text{ m}^3$ , dadurch ergibt sich ein durchschnittliches Raumgewicht von ca.  $492 \text{ kg/m}^3$ .

#### Wohnungen in sonstigen Gebäuden, Auf-, Zu- und Umbauten, Dachausbauten:

Für diese Wohnungstypen kann aus der Statistik keine Information hinsichtlich Bauweise entnommen werden. Es werden daher folgende Annahmen getroffen:

Die 512 Wohnungen in sonstigen Gebäuden, 580 Wohnungen in Auf-, Zu- und Umbauten und 262 Wohnungen in Dachgeschossausbauten werden unter den einzelnen Bauweisen anteilmäßig wie die Wohnungen in Neubauten aufgeteilt. Da bei Dachgeschossausbauten und auch bei Auf- und Zubauten der Holzanteil als höher angenommen werden kann als bei Neubauten wird zum sich aus dem Neubauanteil ergebenden vierprozentigen Anteil der Holzbauten auch der zwölfprozentige Anteil der „Sonstigen Bauweisen“ als Holzbauweise gerechnet. Somit ergibt sich folgende Zuordnung der einzelnen Bauweisen: 17 % Ziegelbauweise, 22 % Beton- und Ziegelfertigteile, 45 % Betonmauerwerk und 16 % Holzbauweise (4 % Holzbauweise und 12 % Sonstige Bauweisen).

Tabelle 9-43: Gesamter Baumaterialinput für den Ist - Stand in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Wohnungen in sonstigen Gebäuden, Dachgeschosausbauten und Auf-, Zu- und Umbauten 2001, Szenario 1.

Bauweise	Anzahl der Gebäude	Anzahl Wohnungen	Wohnfläche pro Wohnung [m <sup>2</sup> ]	Wohnfläche gesamt [m <sup>2</sup> ]	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Summe Material [t]
Ziegelbauweise	k.A.	230	73,5	16.905	7.5	26.850
Leichtbausteine	k.A.	0	0	0	-	0
Beton- u. Ziegelfertigteile	k.A.	298	73,5	21.903	7.6 Bsp. 2	43.032
Betonmauerwerk	k.A.	609	73,5	44.761,5	7.6 Bsp. 1	82.862
Holzbauweisen	k.A.	217	73,5	15.949,5	7.4 Bsp.1	13.686
Sonstige Bauweisen	k.A.	0	73,5	0		0
<b>Summe</b>	<b>-</b>	<b>1354</b>	<b>73,5</b>	<b>99.519</b>	<b>-</b>	<b>166.430</b>

Der umbaute Raum ab EG – Deckenoberkante beträgt laut Tabelle 9-43 ca.  $99.519 \text{ m}^2 * 3 \text{ m} * 1,3 = 388.124 \text{ m}^3$ , daraus errechnet sich ein durchschnittliches Raumgewicht von ca.  $429 \text{ kg/m}^3$ .

Für das Substitutionspotential mit Holz wird angenommen, dass alle Dachgeschoßausbauten sowie Auf- Um- und Zubauten durch eine Holzbauweise ersetzt werden können ( $61.887 \text{ m}^2$ ) und die Wohnungen in sonstigen Gebäuden zu 50 % in einer Holzbauweise errichtet werden können ( $18.816 \text{ m}^2$ ).

Tabelle 9-44: Gesamter simulierter Baumaterialinput für Szenario 2 in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Wohnungen in sonstigen Gebäuden, Dachgeschoßausbauten und Auf-, Zu- und Umbauten 2001.

Bauweise und Substitution	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Wohnfläche	Summe Material [t]
Wohnungen in sonstigen Gebäuden => 50 % Holz	7.4 Bsp. 1	18.816	16.146
W. i. sonst. Gebäuden=> 50 % Beton- u. Ziegelfertigteile	7.6 Bsp. 2	18.816	36.967
Dachausbau => 100 % Holz	7.3	19.257	14.340
Um-, Auf- und Zubau => 100 % Holz	7.3	42.630	31.746
<b>Summe</b>		<b>99.519</b>	<b>99.199</b>

Der umbaute Raum ab EG – Deckenoberkante beträgt laut Tabelle 9-44 ca.  $99.519 \text{ m}^2 * 3 \text{ m} * 1,3 = 388.124 \text{ m}^3$ , daraus errechnet sich ein durchschnittliches Raumgewicht von ca.  $256 \text{ kg/m}^3$ .

#### Sonstige Nutzflächen in Wohngebäuden:

Folgende sonstige Nutzungen in 2001 errichteten Gebäuden für Wohnzwecke gehen aus der Statistik [MA 66, 2002] noch hervor:  $32.373 \text{ m}^2$  Büroflächen,  $2.995 \text{ m}^2$  Fabriken und Werkstätten und  $2.998 \text{ m}^2$  sonstige Räume. Da aus der Statistik die Bauweisen für diese Flächen ( $38.366 \text{ m}^2$ ) nicht herauslesbar sind wird die Annahme getroffen, dass diese Flächen anteilmäßig auf die Bauweisen der Neubauten aufgeteilt werden können. Der Aufteilungsschlüssel ist: 17 % Ziegelbauweise, 22 % Beton- und Ziegelfertigteile, 45 % Betonmauerwerk, 4 % Holzbauweise und 12 % Sonstige Bauweisen.

Tabelle 9-45: Gesamter Baumaterialinput für den Ist – Stand (Szenario 1) in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Büroflächen und sonstige Raumnutzungen in Wohnbauten 2001.

Bauweise	Anzahl der Gebäude	Anzahl Wohnungen	Wohnfläche pro Wohnung [m <sup>2</sup> ]	Nutzfläche gesamt [m <sup>2</sup> ]	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Summe Material [t]
Ziegelbauweise	k.A.	-	-	6.522	7.5	10.359
Beton- u. Ziegelfertigteile	k.A.	-	-	8.440	7.6 Bsp. 2	16.582
Betonmauerwerk	k.A.	-	-	17.265	7.6 Bsp. 1	31.961
Holzbauweisen	k.A.	-	-	1.535	7.4 Bsp.1	1.317
Sonstige Bauweisen	k.A.	-	-	4.604	7.6 Bsp. 2	9.045
<b>Summe</b>	-	-	-	<b>38.366</b>	-	<b>69.264</b>

Der umbaute Raum beträgt laut Tabelle 9-45 ca.  $38.366 \text{ m}^2 * 3 \text{ m} * 1,3 = 149.627 \text{ m}^3$ , daraus errechnet sich ein durchschnittliches Raumgewicht von ca.  $463 \text{ kg/m}^3$ .

Für das Holzsubstitutionspotential für Szenario 2 wird angenommen, dass 50 % der gebauten Fläche in einer Holzbauweise errichtet werden können, welche wieder je zur Hälfte in einer Holzmassivbauweise (siehe Kapitel 7.4) und einer Holzskelettbauweise (siehe Kapitel 7.3) errichtet werden.

Tabelle 9-46: Gesamter simulierter Baumaterialinput für Szenario 2 in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Büroflächen und sonstige Raumnutzungen in Wohnbauten 2001.

Bauweise und Substitution	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Wohnfläche	Summe Material [t]
Ziegelbauweise (50 % vom Ist – Stand)	7.5	3.261	5.179
Beton- u. Ziegelfertigteile (50 % vom Ist – Stand)	7.6 Bsp. 2	4.220	8.291
Betonmauerwerk (50 % vom Ist – Stand)	7.6 Bsp. 1	8.633	15.981
Holzbauweise (25 % vom Ist – Stand)	7.4 Bsp. 1	9.975	8.559
Holzbauweise (25 % vom Ist – Stand)	7.3	9.975	7.428
Sonstige Bauweisen (50 % vom Ist – Stand)	7.6 Bsp. 2	2.302	4.522
<b>Summe</b>		<b>38.366</b>	<b>49.960</b>

Der umbaute Raum beträgt laut Tabelle 9-46 ca.  $38.366 \text{ m}^2 \cdot 3 \text{ m} \cdot 1,3 = 149.627 \text{ m}^3$ , das durchschnittliche Raumgewicht ergibt somit  $334 \text{ kg/m}^3$ .

### Bürobauten:

Im Jahr 2001 wurden  $409.000 \text{ m}^2$  Büroflächen in Wien neu errichtet [<http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/buerostudie/#3>]. Da aus der Statistik die Bauweisen nicht entnommen werden können, wird für diese Arbeit die Annahme getroffen, dass die Bauweisen des Bürobaus jenen des Wohnbaus entsprechen. Somit ergibt sich folgende Aufteilung: 17 % Ziegelbauweise, 22 % Beton- und Ziegelfertigteile, 45 % Betonmauerwerk und 4 % Holzbauweise und 12 % Sonstige Bauweisen.

Tabelle 9-47: Gesamter Baumaterialinput für den Ist – Stand (Szenario 1) der 2001 in Wien errichteten  $409.000 \text{ m}^2$  Büroflächen.

Bauweise	Anzahl der Gebäude	Anteil an Gesamtfläche [%]	Bürofläche [ $\text{m}^2$ ]	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Summe Material [t]
Ziegelbauweise	k.A.	17	69.530	7.5	110.433
Leichtbausteine	k.A.	-	0	-	0
Beton- u. Ziegelfertigteile	k.A.	22	89.980	7.6 Bsp. 2	176.780
Betonmauerwerk	k.A.	45	184.050	7.6 Bsp. 1	340.713
Holzbauweisen	k.A.	4	16.360	7.1 Bsp.1	9.124
Sonstige Bauweisen	k.A.	12	49.080	7.6 Bsp. 2	96.425
<b>Summe</b>	<b>k.A.</b>	<b>100</b>	<b>409.000</b>		<b>733.475</b>

Der umbaute Raum ab EG – Deckenoberkante beträgt nach Tabelle 9-47 ca.  $409.000 \text{ m}^2 \cdot 3 \text{ m} \cdot 1,3 = 1.595.100 \text{ m}^3$ , daraus errechnet sich ein durchschnittliches Raumgewicht von ca.  $460 \text{ kg/m}^3$ .

Für das Holzsubstitutionspotential für Szenario 2 wird angenommen, dass 25 % der 2001 gebauten Bürofläche in einer Holzbauweise errichtet werden könnten, welche wieder je zur Hälfte in einer Holzmassivbauweise (siehe Kapitel 7.4) und einer Holzskelettbauweise (siehe Kapitel 7.3) errichtet werden.

Tabelle 9-48: Gesamter simulierter Baumaterialinput für Szenario 2 der 2001 in Wien errichteten  $409.000 \text{ m}^2$  Büroflächen.

Bauweise und Substitution	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Bürofläche [ $\text{m}^2$ ]	Summe Material [t]
Ziegelbauweise (75 % vom Ist – Stand)	7.5	52.147,5	82.825
Beton- u. Ziegelfertigteile (75 % vom Ist – Stand)	7.6 Bsp. 2	67.485	132.585
Betonmauerwerk (75 % vom Ist – Stand)	7.6 Bsp. 1	138.037,5	255.535
Holzbauweise (12,5 % der Gesamtfläche Ist – Stand)	7.4 Bsp. 2	57.260	58.849
Holzbauweise (12,5 % der Gesamtfläche Ist – Stand)	7.3	57.260	42.640
Sonstige Bauweisen (75 % vom Ist – Stand)	7.6 Bsp. 2	36.810	72.319
<b>Summe</b>		<b>409.000</b>	<b>644.753</b>

Der umbaute Raum ab EG – Deckenoberkante beträgt somit nach Tabelle 9-48 ca.  $409.000 \text{ m}^2 * 3 \text{ m} * 1,3 = 1.595.100 \text{ m}^3$ , daraus errechnet sich ein durchschnittliches Raumgewicht von  $404 \text{ kg/m}^3$ .

**Szenario 3: „Alles in Holzbauweise“**

Um einen Extremwert zu erhalten wird das theoretische Szenario 3 für das Jahr 2001 simuliert, welches die Menge an erforderlichen Holz für den Fall zeigt, wenn alle über dem Erdniveau befindlichen Bauwerke und die damit verbundenen  $924.917 \text{ m}^2$  Nutzfläche in Holzbauweisen errichtet werden würden. Es wird angenommen, dass dafür 50 % der Flächen in einer Holzskelettbauweise und 50 % der Flächen in einer Holzmassivbauweise errichtet werden. Szenario 3 könnte mit den gewählten Bauweisen bauordnungskonform umgesetzt werden, allerdings müssten dann die Nutzflächen in Gebäuden mit maximal 5 Geschossen untergebracht werden, was jedoch gravierende städtebauliche Konsequenzen nach sich ziehen würde. Diese Aspekte werden in dieser Studie nicht diskutiert, Ziel von Szenario 3 ist das Aufzeigen der oberen Grenze des Holzeinsatzes im Wohn- und Bürobau.

Tabelle 9-49: Gesamter simulierter Baumaterialinput für Szenario 2 der 2001 in Wien errichteten  $924.917 \text{ m}^2$  Wohn- und Büroflächen.

Bauweise und Substitution	Input berechnet mit Bauweise [Kapitelnummer]	Wohn, Büro u. sonstige Fläche [m <sup>2</sup> ]	Summe Material [t]
Holzskellettbauweise	7.3	462.459	344.319
Holzmassivbauweise	7.4 Bsp. 1	462.458	396.824
<b>Summe</b>		<b>924.917</b>	<b>741.143</b>

Der umbaute Raum ab EG – Deckenoberkante beträgt somit nach Tabelle 9-49 ca.  $924.917 \text{ m}^2 * 3 \text{ m} * 1,3 = 3.607.176 \text{ m}^3$ , daraus errechnet sich ein durchschnittliches Raumgewicht von  $205 \text{ kg/m}^3$ .

**Verbaute Baumaterialmenge 2001:**

Zusammenfassend werden in Tabelle 9-50 die eingebauten Baumaterialmengen für den Ist – Stand 2001 und für die beiden alternativen Szenarien dargestellt. Diese Mengen stellen gleichzeitig den Input in das Baumateriallager des Wohn- und Bürobaues 2001 dar.

Tabelle 9-50: Eingebaute Baumaterialmengen für den Ist – Stand, Szenario 1 und Szenario 2 für das Jahr 2001.

Bauweise	Ist – Stand 2001			Szenario 1 „Holzeinsatz unter Ausnützung der Bauordnung“ 2001			Szenario 2 „Alles in Holzbauweise“ 2001		
	Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]	Summe Material [t]	[kg/m <sup>2</sup> ]	Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]	Summe Material [t]	[kg/m <sup>2</sup> ]	Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]	Summe Material [t]	[kg/m <sup>2</sup> ]
Betonbau Keller	257.422	543.818	2.113	257.422	543.818	2.113	257.422	543.818	2.113
Summe unter Erdniveau	<b>257.422</b>	<b>543.818</b>	<b>2.113</b>	<b>257.422</b>	<b>543.818</b>	<b>2.113</b>	<b>257.422</b>	<b>543.818</b>	<b>2.113</b>
Ziegelbauweise	158.691	252.046	1.588	59.117	93.894	1.588	0	0	-
Beton-, Ziegel-Fertigteile	287.835	565.614	1.965	215.817	424.006	1.965	0	0	-
Betonmauerwerk	423.712	784.373	1.851	220.620	408.410	1851	0	0	-
Holzbauweisen	54.678,5	35.783	654	429.363	397.539	926	924.917	741.143	801
Summe über Erdniveau	<b>924.917</b>	<b>1.637.816</b>	<b>1.771</b>	<b>924.917</b>	<b>1.323.849</b>	<b>1.391</b>	<b>924.917</b>	<b>741.143</b>	<b>801</b>
<b>Summe</b>	<b>1.182.339</b>	<b>2.181.635</b>	<b>1.844</b>	<b>1.182.339</b>	<b>1.867.667</b>	<b>1.578</b>	<b>1.182.339</b>	<b>1.284.961</b>	<b>1.087</b>



Diese Materialmengen bilden die Basis für die Mengenermittlung der vor und nach gelagerten Prozessketten und der damit verbundenen Erstellung der Güterbilanz für den Wohnungs- und Bürobau der Stadt Wien.

Für die Ermittlung der Baustellenabfälle werden Kennzahlen aus der Literatur [Haeberlin 1997] entnommen. Diese Kennzahlen basieren auf dem in Tabelle 9-51 abgebildeten umbauten Raum.

Tabelle 9-51: 2001 in Wien umbauter Raum im Hochbau, gegliedert nach Gebäudearten.

Gebäudeart	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Faktor	Geschoßhöhe [m]	Umbauter Raum [m <sup>3</sup> ]
Kellergeschoße Wohnbau	192.483	1	3	577.449
Kellergeschoße Bürobau	40.000	1	3	120.000
Parkgaragen	24.939	1	3	74.817
Ein- und Zweifamilienhäuser	64.410	1,15	3	222.215
Wohngebäude mit 2 Geschoßen	15.111	1,3	3	58.933
Wohngebäude mit 3-5 Geschoßen	168.411	1,3	3	656.803
Wohngebäude mit 6 und mehr Geschoßen	130.159	1,3	3	507.620
Sonstige Gebäude, Dachgeschoße, Um-, Auf- u. Zubauten	99.519	1,3	3	388.124
Sonstige Nutzflächen in Wohngebäuden	38.366	1,3	3	149.627
Bürobauten	409.000	1,3	3	1.595.100
<b>Summe</b>	<b>1.182.398</b>			<b>4.350.688</b>

Bei der Errichtung eines Hochbaues ist laut [Haeberlin 1997] mit einem Aufkommen von Baustellenabfällen in der Größenordnung von 0,02 – 0,04 m<sup>3</sup> Baustellenabfall pro m<sup>3</sup> umbauten Raum zu rechnen. Dabei fallen ca. 25 % in der Rohbauphase und 75 % in der Ausbauphase an. Bei einem umbauten Raum von 4.350.688 m<sup>3</sup> fallen somit in der Rohbauphase bei einer durchschnittlichen Dichte von 1200 kg/m<sup>3</sup> zwischen 26.000 t und 52.000 t an Baustellenabfällen an. Bei der Datenerfassung wird mit dem Mittelwert von 39.150 t/a für die Errichtung von Wohn- und Bürobauten gerechnet. Dazu kommen noch Verluste und Verschnitte während der Produktions- und Vorfertigungsprozesse, welche ebenfalls für jedes Szenario anhand von Literatur, hauptsächlich aus Kalkulationsgrundlagen für den Hochbau, eingerechnet werden.

Die exakte Darstellung der Daten wird im Rahmen der Datenerfassung nachvollziehbar dargestellt bzw. im Anhang dokumentiert.

Zusätzlich wurden im Jahr 2001 in Wien 4.184 Wohnungen saniert, das entspricht einer Nutzfläche von ca. 285.000 m<sup>2</sup>. Aus der Literatur [Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau 2003] kann die Kennzahl entnommen werden, dass 2 % der sanierten Gebäudesubstanz als Bauschutt anfallen. Bei einem durchschnittlichen Gewicht von 2 t/m<sup>2</sup> fällt somit eine Menge von ca. 569.000 t an Bauschutt an. Der Baumaterialinput in die Sanierungsprozesse dürfte sich in der gleichen Größenordnung bewegen. Das heißt, dass ca. 570.000 t an Baumaterialien in den Prozess Sanierung wandern, das sind ca. 26 % des Baumaterialinputs des Büro- und Wohnbaues. Tabelle 9-1 zeigt, dass die aufgewendete Summe für Adaptierungen ca. 28 % der aufgewendeten Summe für den Büro- und Wohnbau entspricht. Daher kann daraus geschlossen werden, dass die Größenordnung dieser Annahme richtig ist. Die Materialflüsse für Sanierungen werden im System jedoch nicht inkludiert, die Erwähnung dient lediglich als Orientierungswert der Größenordnung.

## 9.6.4 Datenerfassung für die einzelnen Prozesse - Güterbilanz

Für die gesamte Prozesskette werden auf Basis der ermittelten eingebauten Baumaterialmengen die Güterflüsse ermittelt. Die ermittelten Baumaterialmengen ergeben sich aus den Bauweisenanalysen mit den dazugehörigen Materialmengen pro m<sup>2</sup> Nutzfläche (Kapitel 7) und der Verknüpfung mit den statistischen Daten (Kapitel 9.6.1 und 9.6.3).

### 9.6.4.1 Prozess Rohstoffgewinnung und Veredelung

Die Bewertung der Prozesse Rohstoffgewinnung und Veredelung erfolgt mittels der Datenbank Ecoinvent 2000 [Frischknecht & Jungbluth 2004]. Da eine Inventarisierung aller für den Wohn- und Bürobau relevanten Massenflüsse im Rahmen dieser Studie nicht machbar ist wird die Bewertung anhand der Datenbank durchgeführt. Für jedes Material können aber die erforderlichen Datensätze bei Bedarf eingearbeitet werden. Die Eingangsparameter in die Datenbank sind die im Zuge der Massenermittlung errechneten Baustoffverbräuche. Die Darstellung erfolgt im Prozess „Baumaterialproduktion und Vorfertigung“ in Tabelle 9-55.

### Prozess Forstwirtschaft

Da das Material Holz im Zentrum der Untersuchung steht, wird der Prozess Forstwirtschaft und die damit in Verbindung stehenden Massenflüsse angeführt. Ausgangspunkt sind die in Kapitel 6.2.1 erarbeiteten Daten bezüglich des Ressourcenpotentials von Holz. Das zusätzliche für die Stadt Wien jährlich zur Verfügung stehende Ressourcenpotential an für das Bauen geeignetem Holz sind 1,55 Mio. Vfm (=m<sup>3</sup>), welches sich aus ca. 0,62 Mio. m<sup>3</sup> Waldrestholz (verbleibt im Wald oder ist geeignet für Biomassekraftwerke usw.) und 0,93 Mio. m<sup>3</sup> Rundholz entrichtet zusammensetzt. Die 0,93 Mio. m<sup>3</sup> Rundholz stellen somit das Potential für die Schnittholzproduktion dar.

Zur Ermittlung der potentiellen Versorgungsgebiete für Wien werden die Waldflächenanteile der einzelnen Bundesländer laut Tabelle 9-52 benötigt. Es wird vereinfacht angenommen, dass gleichmäßig in Österreich 40 % der Waldfläche nicht abgeerntet werden und davon wiederum 60 % der Fläche von Fichte, Tanne und Lärche bewachsen werden.

Tabelle 9-52: Österreichische Waldinventur 2000/02 – Waldflächen und Holzvorräte der einzelnen Bundesländer.

Österreichische Waldinventur	Gesamtwald <sup>1</sup> in [1.000 ha]	Waldflächenanteil [%]	Ertragswald in [1.000 ha]	Reserve ungenutzt [1.000 ha]	Vorrat <sup>2</sup> in 1.000 Vfm
Burgenland	133	34	129	30,96	32.544
Kärnten	578	61	507	121,68	164.368
Niederösterreich	764	40	728	174,72	216.795
Oberösterreich	494	41	443	106,32	157.486
Salzburg	371	52	280	67,2	94.436
Steiermark	1.002	62	869	208,56	293.708
Tirol	515	41	346	83,04	109.420
Vorarlberg	97	37	62	14,88	23.729
Wien	9	22	9	2,16	2.693
<b>Österreich</b>	<b>3.960</b>	<b>47</b>	<b>3.371</b>	<b>809,52</b>	<b>1.094.731</b>

1) inkl. Schutzwald außer Ertrag und Holzbodenfläche außer Ertrag

2) Im Ertragswald, Quelle: Bundesamt und Forschungszentrum für Wald 2004/Österreichische Waldinventur 2000/02

Zur Ermittlung der zusätzlichen Versorgungsregionen für Wien für die Szenarios 2 und 3 werden die Reserveflächen herangezogen.

### Output an Rundholz aus dem Prozess Forstwirtschaft für die 3 Szenarien

Der für Szenario 1 ermittelte Holzverbrauch stellt die Basis dar. Der für die Szenarien 2 und 3 erforderliche Mehrverbrauch muss durch das zusätzliche Rundholzpotential abgedeckt werden. Aus der Massenermittlung ergeben sich die folgenden Mengen an Rohstoffen:

Tabelle 9-53: Rundholzoutput 2001 für die drei Szenarien sowie Mehrverbrauch an Holzbiomasse für die Szenarien 2 und 3.

Rohstoff für	Output Rundholz [m³]	Rinde, Äste etc. [m³]	Biomasse gesamt [m³]	Flächenbedarf [ha]
<b>Szenario 1</b>				
Massivholz	84.200	50.520	134.720	
BSH	1.964	1.178	3.143	
FSH	3.969	2.381	6.350	
Spanplatten	3.537	2.122	5.660	
OSB	3.483	2.090	5.574	
<b>Summe Szenario 1</b>	<b>97.154</b>	<b>58.292</b>	<b>155.447</b>	<b>19.677</b>
<b>Szenario 2</b>				
Massivholz	277.605	166.563	444.169	
BSH	29.306	17.584	46.889	
FSH	28.539	17.123	45.662	
Spanplatten	5.345	3.207	8.552	
OSB	11.235	6.741	17.975	
<b>Summe Szenario 2</b>	<b>352.030</b>	<b>211.218</b>	<b>563.248</b>	<b>71.297</b>
<b>Differenz zu Szenario 1</b>	<b>254.876</b>	<b>152.926</b>	<b>407.802</b>	<b>51.620</b>
<b>Szenario 3</b>				
Massivholz	530.710	318.426	849.136	
BSH	64.229	38.537	102.767	
FSH	50.776	30.465	81.241	
Spanplatten	12.854	7.712	20.566	
OSB	31.944	19.167	51.111	
<b>Summe Szenario 3</b>	<b>690.513</b>	<b>414.308</b>	<b>1.104.821</b>	<b>139.851</b>
<b>Differenz zu Szenario 1</b>	<b>593.359</b>	<b>356.015</b>	<b>949.374</b>	<b>120.174</b>

Im Vergleich zu Szenario 1 beträgt für Szenario 2 der Mehrverbrauch an Biomasse knapp 408.000 m³, das sind ca. 31 % der für Wien potentiell nutzbaren Reserven. Für Szenario 3 beträgt der Mehrverbrauch knapp 950.000 m³, das sind ca. 62 % der für Wien potentiell nutzbaren Reserven.

Die Zielprozesse des Prozesses Forstwirtschaft sind die Prozesse „Schnittholzherstellung“ und die Prozesse zur Herstellung der einzelnen Holzwerkstoffe (Spanplatten, OSB, Furnierschichtholz, Brettschichtholz).

#### 9.6.4.2 Prozess Baumaterialproduktion und Vorfertigung

Die Herkunftsprozesse für die einzelnen Baumaterialien sind die jeweiligen Prozesse der „Rohstoffgewinnung und Veredelung“. Da die Einzelerfassung für die große Anzahl an Rohstoffen den Rahmen dieser Studie sprengen würde wird die Bewertung der Prozesse Rohstoffgewinnung und Veredelung erfolgt mittels der Datenbank Ecoinvent 2000 [Frischknecht & Jungbluth 2004], es werden daher nur die Outputgüter aus diesem Prozess angeführt, welche mit Ecoinvent 2000 bilanziert werden und die gesamte Prozesskette von der Rohstoffgewinnung bis Auslieferung ab Werkstor inkludieren. Für die Holzprodukte werden aber zwecks Abschätzung des Ressourcenpotentials auch die dazugehörigen Inputflüsse betrach-

tet, die Bewertung erfolgt mittels der Datenbank Ecoinvent 2000. Basierend auf der Massenermittlung können den Szenarien für Wien folgende Mengen zugeordnet werden:

**Input an Rundholz in die Produktion von Schnittholz und Holzwerkstoffen:**

Die Massenflüsse basieren auf den Angaben der Studie „Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material“ [Werner et al. 2003]. Jeweils ausgehend vom ermittelten Bedarf an Holz- und Holzwerkstoffen wird auf den Rohstoffbedarf in Form von Rundholz (Massivholz, BSH und FSH) und Industrierestholz bzw. Holzresten aus anderen Quellen (Spanplatten, OSB) zurückgerechnet. Die in Tabelle 9-54 dargestellten Differenzen zwischen Rohstoffinput und Produktoutput (BSH, FSH) sind darauf zurück zu führen, dass bei der Produktion anfallende Reststoffe werksintern thermisch genutzt werden. Etwaige zur Energiegewinnung zusätzlich eingesetzte Mengen an Holzschnitzeln werden nicht ausgewiesen.

*Tabelle 9-54: Bedarf an Rohstoff (Rundholz für Massivholz, BSH, FSH; Industrierestholz und andere Holzreste für Spanplatten und OSB) für die einzelnen Szenarien, berechnet über den Bedarf der Endprodukte, welche gleichzeitig der Prozessoutput sind.*

Produkt	Dichte [t/m³ atro]	Szenario 1 [t]	Szenario 1 [m³]	Bedarf [m³/m³]	Koppelprodukt [m³/m³]	Rohstoff [m³]	Davon Koppelprodukt [m³]
<b>Szenario 1</b>							
Massivholz	0,43	21.298	49.530	1,70	0,70	84.200	34.671
BSH	0,43	363	843	2,33	0,75	1.964	634
FSH	0,60	882	1.470	2,70	1,32	3.969	1.940
Spanplatten	0,64	1.642	2.558	1,38	-	3.537	0
OSB	0,61	1.642	2.692	1,29	-	3.483	0
Summe						97.153	37.245
<b>Szenario 2</b>							
Massivholz	0,43	70.218	163.297	1,70	0,70	277.605	114.308
BSH	0,43	5.411	12.583	2,33	0,75	29.306	9.465
FSH	0,60	6.342	10.570	2,70	1,32	28.539	13.952
Spanplatten	0,64	2.481	3.865	1,38	-	5.345	0
OSB	0,61	5.296	8.682	1,29	-	11.235	0
Summe						352.030	137.725
Mehrverbrauch zu S1						254.877	100.480
<b>Szenario 3</b>							
Massivholz	0,43	134.238	312.182	1,70	0,70	530.710	218.528
BSH	0,43	11.859	27.578	2,33	0,75	64.229	20.744
FSH	0,60	11.284	18.806	2,70	1,32	50.776	24.824
Spanplatten	0,64	5.967	9.294	1,38	-	12.854	0
OSB	0,61	15.059	24.686	1,29	-	31.944	0
Summe						690.513	264.096
Mehrverbrauch zu S1						593.360	226.851

Der zusätzliche Rohstoffbedarf an Holzbiomasse gegenüber Szenario 1 beträgt somit für Szenario 2 ca. 255.000 m³ pro Jahr, davon sind 100.480 m³ Koppelprodukte (Seitenware, Sägereste usw.) welche im System nicht genutzt werden und daher für stoffliche Verwertung (Spanplatten, Holzwohleplatten usw.) oder thermische Verwertung in Biomassekraftwerken zur Verfügung stehen. Unter der Annahme, dass in Österreich durchschnittlich 8 m³ Biomasse pro ha nachwachsen (Errechnet aus jährlichem Zuwachs von 31,28 m³ [BFW, 2004] geteilt durch die 39.000 km² Waldfläche), und davon ca. 60 % Rundholz [Millonig, 2004] sind, ergibt sich eine für die erforderliche Rundholzgewinnung ein Flächenbedarf von zusätzlich  $255.000\text{m}^3 / (8\text{m}^3/\text{ha} \cdot 0,6) = 53.125$  ha forstlich genutzter Waldfläche im Hinterland von Wien.

Der zusätzliche Rohstoffbedarf an Holzbiomasse gegenüber Szenario 1 beträgt für Szenario 3 ca. 593.000 m³ pro Jahr, davon sind 226.851 m³ Koppelprodukte (Seitenware, Sägereste usw.) welche im System nicht genutzt werden und daher für stoffliche Verwertung oder thermische Verwertung zur Verfügung stehen. Daraus ergibt sich für die erforderliche Rundholz-

gewinnung ein Flächenbedarf von zusätzlich  $593.000\text{m}^3 / (8\text{m}^3/\text{ha} \cdot 0,6) = 123.541$  ha forstlich genutzter Waldfläche im Hinterland von Wien.

### Gesamtoutput aus der Baustoffproduktion:

Aus der Massenermittlung für die einzelnen Szenarien ergeben sich folgende Baumaterialmengen für den Verbrauch im Wohn- und Bürobau in Wien (Tabelle 9-55):

Tabelle 9-55: Im Hinterland Wiens produzierte Baumaterialien für den Verbrauch im Wiener Wohn- und Bürobau 2001 für die 3 Szenarien. Output des Prozesses Baumaterialproduktion.

Material	Szenario 1 Output [t]	Szenario 2 Output [t]	Szenario 3 Output [t]
Massivholz			
Massivholz große Querschnitte	7.007	26.266	49.507
Massivholz kleine Querschnitte	5.079	7.848	17.671
Massivholz Schalung	7.152	7.538	12.558
Brettstapel Decken, Wände	2.061	28.565	54.502
Holzwerkstoffe			
BSH Brettschichtholz Primärstruktur	363	5.411	11.859
FSH Furnierschichtholz Primärstruktur	882	6.342	11.284
Spanplatten	1.642	2.481	5.967
OSB-Platten	1.642	5.296	15.059
Beton Primärstruktur			
Stahlbeton B300	1.250.262	1.057.818	610.167
Stahlbeton Fertigteile	356.605	228.195	19.171
Magerbeton	91.899	86.085	82.633
Estrich			
Zementestrich	157.224	171.705	187.344
Stahl Primärstruktur			
Baustahl, Verbindungsmittel	2.630	3.825	5.012
Stahl, Armierung	50.851	40.999	22.848
Ziegel			
Porotherm	41.155	15.331	-
Düwaziegel	26.841	14.209	-
Schallsch.zieg	16.464	6.133	-
Dachziegel	6.141	4.390	13.311
Sonstige mineralische Baustoffe			
Gipskarton	18.270	27.485	56.271
Gipsspachtel	5.126	3.632	1.070
Grundputz	15.315	8.943	-
Mauermörtel	3.567	1.329	-
Haftmörtel	2.360	2.365	1.297
Armiermörtel	6.378	6.263	3.323
Armiergewebe	72	72	39
Silikatgrund	68	68	37
Silikatputz	2.400	1.732	680
Leichtputz	3.574	1.331	-
Zementputz	2.194	817	-
Sandschüttung	39.137	47.479	66.772
Kiesschüttung	115.422	100.538	77.131
Dämmstoffe und Kunststoffe			
MW Klemmfilz, Mineralwolle	2.201	3.363	6.937
MW – F Fassade	-	821	1.384
Heraklith BM Baumeisterplatte	-	2.396	4.039
TDP Mineralwolle Trittschalldämmung	207	1.842	3.935
EPS – F Fassade	899	606	7
XPS extrudiert Perimeter, Dach	2.498	1.720	497
EPS TDP Trittschalldämmung	1.163	667	152
PE-Folien	480	542	613
PU-Dämmmatte	-	36	84
Pappe bituminert	2.020	1.841	2.070
Diverse, nicht zuordenbare Materialien (Verpackungen, diverse Hilfsstoffe etc. – Materialmix laut [Haeberlin 1997])			
Materialmix Summe	7.440	7.440	7.440
<b>Gesamtsumme</b>	<b>2.256.718</b>	<b>1.941.778</b>	<b>1.352.670</b>

Diese Baumaterialmengen stellen die Eingangswerte für die Berechnung der Umweltwirkungen mit der Datenbank Ecoinvent 2000 dar. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden nur

die Ergebnisse angeben, nähere Informationen bezüglich der Berechnung sowie einzelne Detailergebnisse können dem Anhang entnommen werden. Die wichtigsten Wirkungsbilanzdaten für den Prozess Baumaterialproduktion sind in Tabelle 9-56 und Tabelle 9-57 dargestellt.

Tabelle 9-56: Wirkungsbilanzdaten des Kumulierten Energieaufwands erneuerbarer (KEA e) und nicht erneuerbarer (KEA ne) Energieträger, Treibhauseffekt (GWP 100) und Landverbrauch.

Produktion Szenario 1			
KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
404.422.113	4.108.690.840	336.747.152	173.547.736
[MJ/m <sup>2</sup> ]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
342	3.475	285	147
Produktion Szenario 2			
KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
714.689.661	3.860.117.091	164.781.740	648.840.709
KEA e [MJ/m <sup>2</sup> ]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
604	3.265	139	549
Produktion Szenario 3			
KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
1.111.235.175	3.472.268.518	- 83.443.326	1.214.107.724
KEA e [MJ/m <sup>2</sup> ]	KEA ne [MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
940	2.937	-71	1.027

Tabelle 9-57: Wirkungsbilanzdaten des Ozonerstörungspotentials (ODP), des Photooxidantienbildungspotentials (POCP), des Versauerungspotentials (AP) und des Überdüngungspotentials (NP).

Produktion Szenario 1			
ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
72,4	291.153	1.443.689	190.890
ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
0,0001	0,25	1,22	0,16
Produktion Szenario 2			
ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
54	219.860	1.409.423	200.294
ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
0,00005	0,19	1,19	0,17
Produktion Szenario 3			
ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
27	123.974	1.352.474	201.640
ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
0,00002	0,10	1,14	0,17

Tabelle 9-58: Wirkungsbilanzdaten des Prozesses Produktion aufgeteilt auf die einzelnen Materialgruppen für Szenario 1.

Materialgruppe	Menge [t]	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Holz u. Holzwerkstoffe	25.827	124.513.658	150.265.576	-41.207.070	144.515.104
Beton, Estrich	1.855.991	171.557.751	1.663.870.464	250.639.574	21.509.590
Stahl	53.481	53.739.273	1.088.706.650	58.990.855	1.781.478
Ziegel	90.601	15.846.842	249.984.064	26.573.939	1.523.762
Sonstige mineralisch	213.913	30.200.257	282.510.347	17.998.381	3.945.545
Dämm- u. Kunststoffe	9.467	8.564.332	673.353.739	23.751.473	272.256
Materialgruppe	Menge [t]	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Holz u. Holzwerkstoffe	25.827	0,56	4.308	73.228	11.830
Beton, Estrich	1.855.991	7,22	122.903	617.147	77.250
Stahl	53.481	3,64	44.344	349.997	71.177
Ziegel	90.601	1,29	30.538	158.967	9.403
Sonstige mineralisch	213.913	1,56	13.992	76.054	9.363
Dämm- u. Kunststoffe	9.467	58,17	75.067	168.297	11.866

Tabelle 9-59: Wirkungsbilanzdaten des Prozesses Produktion aufgeteilt auf die einzelnen Materialgruppen für Szenario 2.

Materialgruppe	Menge [t]	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Holz u. Holzwerkstoffe	89.748	460.020.567	639.706.264	-137.145.880	616.443.108
Beton, Estrich	1.543.804	166.194.967	1.296.133.743	200.285.120	21.858.875
Stahl	44.824	46.103.528	919.958.199	49.902.372	1.582.149
Ziegel	40.064	7.322.708	112.563.707	11.546.159	620.847
Sonstige mineralisch	202.065	24.250.113	288.021.898	16.739.462	2.880.499
Dämm- u. Kunststoffe	13.833	10.797.778	603.733.280	23.454.507	5.455.231
	Menge [t]	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Holz u. Holzwerkstoffe	89.748	2,60	18.723	311.862	50.866
Beton, Estrich	1.543.804	6,07	81.838	500.357	64.949
Stahl	44.824	3,07	37.288	297.463	60.112
Ziegel	40.064	0,60	11.698	64.953	4.153
Sonstige mineralisch	202.065	1,66	12.045	72.231	9.510
Dämm- u. Kunststoffe	13.833	40,20	58.268	162.557	10.704

Tabelle 9-60: Wirkungsbilanzdaten des Prozesses Produktion aufgeteilt auf die einzelnen Materialgruppen für Szenario 3.

Materialgruppe	Menge [t]	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Holz u. Holzwerkstoffe	178.406	895.331.302	1.305.208.437	-269.863.580	1.180.476.428
Beton, Estrich	899.316	146.713.227	616.496.191	102.719.419	21.203.190
Stahl	27.859	30.379.704	583.899.523	31.761.818	1.127.914
Ziegel	13.311	1.552.969	52.237.353	4.649.721	89.636
Sonstige mineralisch	206.621	23.982.646	382.401.380	21.959.531	2.160.633
Dämm- u. Kunststoffe	19.717	13.275.328	532.025.635	25.329.765	9.049.923
	Menge [t]	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Holz u. Holzwerkstoffe	178406	5,09	37.759	614.905	99.883
Beton, Estrich	899316	3,69	13.931	272.675	39.430
Stahl	27859	1,95	23.373	191.563	38.100
Ziegel	13311	0,31	849	15.471	1.595
Sonstige mineralisch	206621	2,42	7.742	90.451	13.056
Dämm- u. Kunststoffe	19717	13,79	40.320	167.409	9.575

Die produzierten Baumaterialien gelangen zum Zielprozess „Verteilung der Baumaterialien“.

#### 9.6.4.3 Prozess Verteilung der Baumaterialien

Die zu transportierenden Materialmengen entsprechen den Materialgewichten der Outputgüter aus Tabelle 9-55. Es werden für alle Szenarien dieselben Transportdistanzen angenommen. Auf den Umstand, dass vermehrter Materialbedarf die Transportdistanzen erhöhen kann wird so eingegangen, dass der Einfluss des Transportes zum Gesamtergebnis überprüft wird und die Sensitivität des Prozesses hinsichtlich Verdoppelung und Halbierung der Transportwege analysiert wird. Für eine Umsetzung im Rahmen eines Ressourcen Management Systems in der Praxis wäre es auch noch zusätzlich notwendig, die tatsächlich eingesetzten Transportmittel (LKW, Schiene, Schiff) zu recherchieren, um so zusätzliche Verbesserungspotentiale zu identifizieren. Das würde allerdings den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Für die Transportdistanzen werden auf Basis der Produktionsstandorte der Hersteller [<http://www.bau-info.at> 2005] bis „Wien innere Stadt“ folgende Transportdistanzen [<http://www.falk.de/routenplaner> 2005], welche durchwegs mit im Verhältnis zum zu transportierenden Volumen abgestimmten LKWs erfolgt, berechnet:

Tabelle 9-61: Transportdistanzen Produktion - Wien

Transportgut nach Wien	Typ	Ort Produktion	Distanz [km]	Szenario 1 [tkm]	Szenario 2 [tkm]	Szenario 3 [tkm]
Brettschichtholz BSH	LKW 28 t	Randegg	129	49.586	739.861	1.621.536
Furnierschichtholz FSH	LKW 28 t	Katsch/Mur	243	227.175	1.633.566	2.906.407
Spanplatten	LKW 28 t	Unterradlberg	73	130.064	196.534	472.595
Schnittholz	LKW 28 t	Rastenfeld	114	2.792.130	9.205.559	17.598.660
OSB	LKW 28 t	Salzburg	300	532.048	1.715.933	4.879.032
Beton Fertigteile und Beton	LKW 32 t	Wien Umgebung	25	42.469.164	34.302.473	17.799.295
Zementestrich	LKW 28 t	Mannersdorf / Waldegg	50	7.861.206	8.585.261	9.367.224
Bau- und Armierungsstahl:	LKW 40 t	Donawitz	168	8.984.732	7.530.492	4.680.358
Ziegel	LKW 28 t	Hennersdorf	20	1.812.015	801.272	266.216
Gipskarton	LKW 28 t	Weißbach	189	3.453.019	5.194.592	10.635.159
Gipsputz u. Spachtelmasse	LKW 28 t	Puchberg	82	1.676.150	1.031.098	87.770
Mauermörtel	LKW 28 t	Ernstbrunn	45	160.503	59.791	0
Haftmörtel	LKW 28 t	Perg	173	408.199	409.151	224.459
Armiermörtel	LKW 28 t	Perg	173	1.103.312	1.083.476	574.942
Armiergewebe	LKW 28 t	Perg	173	12.528	12.433	6.715
Silikatgrund	LKW 28 t	Perg	173	11.775	11.840	6.476
Silikatputz	LKW 28 t	Perg	173	415.223	299.601	117.694
Leichtputz	LKW 28 t	Ernstbrunn	45	160.829	59.913	0
Zementputz	LKW 28 t	Ernstbrunn	45	98.742	36.784	0
Sandschüttung	LKW 32 t	Wiener Becken	50	1.956.871	2.373.965	3.338.618
Kiesschüttung	LKW 32 t	Wiener Becken	50	5.771.083	5.026.914	3.856.830
Mineralwolle MW	LKW 16 t	Stockerau	28	0	20.155	28.344
MW Klemmfalz	LKW 16 t	Stockerau	28	61.619	73.992	165.893
MW – Fassade	LKW 16 t	Stockerau	28	0	22.978	38.745
Herakliith BM	LKW 16 t	Ferndorf	390	0	934.509	1.575.021
TDP Mineralwolle	LKW 16 t	Stockerau	28	5.802	51.573	110.175
EPS – Fassade	LKW 16 t	Purbach	64	57.515	39.767	437
XPS	LKW 16 t	Pinkafeld	117	292.237	201.259	58.173
EPS TDP	LKW 16 t	Purbach	64	74.452	42.683	9.712
PE-Folien	LKW 16 t	Fürnitz	370	177.594	200.433	226.704
PU-Dämmmatte: – Wien	LKW 16 t	Völs	484	0	17.286	40.696
Pappe	LKW 16 t	Fürnitz	370	747.343	681.224	766.007
Gesamtsumme [tkm]				81.502.916	82.596.368	81.459.893

Für diesen Prozess entspricht der Input gleich dem Output, es findet keine Lagerbildung statt.

Für die drei Szenarien ergeben sich aus dem Transport folgende Wirkungsbilanzdaten:

Tabelle 9-62: Wirkungsbilanzdaten des Kumulierten Energieaufwands erneuerbarer (KEA e) und nicht erneuerbarer (KEA ne) Energieträger, Treibhauseffekt (GWP 100) und Landverbrauch.

Transport Szenario 1			
KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
4.268.975	259.064.645	15.445.513	257.648
KEA e [MJ/m <sup>2</sup> ]	KEA ne [MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
3,61	219	13,06	0,22
Transport Szenario 2			
KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
4.531.449	273.830.784	16.358.541	274.553
KEA e [MJ/m <sup>2</sup> ]	KEA ne [MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
3,83	232	13,84	0,23
Transport Szenario 3			
KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
4.805.272	289.058.480	17.320.791	292.643
KEA e [MJ/m <sup>2</sup> ]	KEA ne [MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
4,06	244	14,65	0,25



Tabelle 9-63: Wirkungsbilanzdaten des Ozonzerstörungspotentials (ODP), des Photooxidantienbildungspotentials (POCP), des Versauerungspotentials (AP) und des Überdüngungspotentials (NP).

Transport Szenario 1			
ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO2 equ.]	NP [kgPO4 equ.]
2,29	3.564	118.950	19.921
ODP [kgR-11equ./m²]	POCP [kg Ethylen equ./m²]	AP [kg SO2 equ./m²]	NP [kgPO4 equ./m²]
0,000002	0,0030	0,10	0,02
Transport Szenario 2			
ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO2 equ.]	NP [kgPO4 equ.]
2,47	3.698	125.448	21.067
ODP [kgR-11equ./m²]	POCP [kg Ethylen equ./m²]	AP [kg SO2 equ./m²]	NP [kgPO4 equ./m²]
0,000002	0,0031	0,11	0,02
Transport Szenario 3			
ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO2 equ.]	NP [kgPO4 equ.]
3	3.771	132.011	22.275
ODP [kgR-11equ./m²]	POCP [kg Ethylen equ./m²]	AP [kg SO2 equ./m²]	NP [kgPO4 equ./m²]
0,000002	0,0032	0,11	0,02

Der Zielprozess ist der Prozess „Errichtung von Wohn- und Bürobauten“.

#### 9.6.4.4 Prozess Errichtung von Wohn- und Bürobauten

Der Herkunftsprozess ist der Prozess „Verteilung von Baumaterialien“. Es gelten die in Kapitel 9.5.4.4 beschriebenen Voraussetzungen. Über die Massenermittlung wird auf Basis der Verknüpfung der Wohnbaustatistik mit typischen Beispielen verschiedener Bauweisen der Materialbedarf für alle drei Szenarien errechnet.

Input und Output (in die Zielprozesse Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung sowie in das Lager) für Szenario 1 2001:

Tabelle 9-64: Eingebaute Baumaterialien und Bauweisen für Szenario 1 in Tonnen.

Material	Holzskelett bau	Holzrahmen bau	Holzmassiv bau	Ziegel bau	Betonmauerwerk	Beton/Ziegel Fertigteile	Keller	Hilfs material
BSH	162	64	103	-	-	-	-	-
FSH	-	268	-	-	-	-	-	587
Massivholz	1.266	1.367	797	1.915	3.280	2.149	-	7.635
Brettstapel	-	-	1.962	-	-	-	-	-
Spanplatten	243	361	87	-	-	-	-	881
OSB-Platten	243	361	87	-	-	-	-	881
Beton	2.864	3.561	7.517	139.095	632.007	461.867	415.153	-
Zementestrich	2.155	2.644	2.354	19.243	58.984	39.674	27.591	-
Stahl	147	161	306	5.543	17.641	15.219	12.528	-
Ziegel	472	587	498	67.967	9.905	6.493	-	-
Gipskarton	1.445	1.828	1.044	2.410	5.474	4.408	-	-
Gipsspachtel	-	-	-	-	2.716	1.793	492	-
Gipsma.putz	-	-	-	4.874	6.824	2.548	-	-
Mauermörtel	-	-	-	3.397	-	-	-	-
Haftmörtel kg	-	-	-	-	1.391	911	-	-
Armiemörtel	-	-	-	-	3.670	2.404	-	-
Armiergewebe	-	-	-	-	42	27	-	-
Silikatgrund kg	-	-	-	-	39	26	-	-
Silikatputz	-	-	-	855	832	545	-	-
Kalkputz	-	-	-	-	-	-	-	-
Leichtputz	-	-	-	3.325	-	-	-	-
Zementputz	-	-	-	1.995	-	-	-	-
Sandschüttung	-	-	-	-	16.099	10.821	11.262	-
Kiesschüttung	-	-	-	-	22.570	14.787	75.249	-
MW Klemmfalz	156	211	143	733	435	322	-	-
TDP Mineralwolle	55	72	61	-	-	-	-	-
EPS - Iso	-	-	-	-	494	323	-	-
XPS	-	-	-	-	1.099	720	452	-
EPS TDP	-	-	-	525	236	159	138	-
PE-Folien	9	11	10	52	157	104	94	-
Pappe	30	36	32	88	479	314	858	-
Diverse (Verp. usw.)	-	-	-	-	-	-	-	7.440
Summe	9.246	11.534	15.003	252.046	784.373	565.614	543.818	17.425

Die eingebauten Baumaterialien müssen noch um den Verschnitt, angelieferten Überschussmengen usw. erweitert werden. Dies geschieht mit folgenden Faktoren:

Tabelle 9-65: Ermittlung des Verschnitts, der In- und Outputmengen und des Lagers in [t] – Szenario 1.

Material	Information	Massenermittlung	Faktor <sup>1</sup> Verschnitt	Verschnitt	Input inkl. Hilfsmaterial	Output Samm- lung&Sort.	Output Lager
B300		330	0,100	33	363	33	330
FSH		268	0,100	27	882	614	268
Massivholz	große QS	3.513	0,075	263	7.007	3.494	3.513
Massivholz	kleine QS	2.687	0,125	336	5.079	2.392	2.687
Massivholz	Schalung	4.574	0,050	229	7.152	2.578	4.574
Brettstapel	Summe	1.962	0,050	98	2.061	98	1.962
Spanplatten		692	0,100	69	1.642	950	692
OSB-Platten		692	0,100	69	1.642	950	692
B300	Decken, Träge	897.904	0,025	22.448	920.352	22.448	897.904
B300	Wände	321.864	0,025	8.047	329.910	8.047	321.864
Fertigteile	Decke	151.024	0,010	1.510	152.534	1.510	151.024
Fertigteile	Wand	202.050	0,010	2.021	204.071	2.021	202.050
Magerbeton		89.223	0,030	2.677	91.899	2.677	89.223
Zementestrich		152.645	0,030	4.579	157.224	4.579	152.645
Stahl	Verbindungsm.	127	0,010	1	129	1,27	127
Stahl	Armierung	49.611	0,025	1.240	50.851	1.240	49.611
Metallständer	Baustahl	1.663	0,025	42	2.356	693,5	1.663
Zinkblech		143	0,010	1	145	1,43	143
Porotherm	Außenwand	39.195	0,050	1.960	41.155	1.960	39.195
Düwaziegel	Schächte 10	24.968	0,075	1.873	26.841	1.873	24.968
Schallsch. zieg	Trennwand	15.680	0,050	784	16.464	784	15.680
Dachziegel		6.081	0,010	61	6.141	61	6.081
Gipskarton		16.609	0,100	1.661	18.270	1.661	16.609
Gipsspachtel		5.001	0,025	125	5.126	125	5.001
Gipsma.putz		14.246	0,075	1.068	15.315	1.068	14.246
Mauermörtel	Perlite	3.397	0,050	170	3.567	170	3.397
Haftmörtel kg		2.302	0,025	58	2.360	58	2.302
Armiermörtel		6.074	0,050	304	6.378	304	6.074
Armiergewebe		69	0,050	3	72	3	69
Silikatgrund kg		65	0,050	3	68	3	65
Silikatputz		2.233	0,075	167	2.400	167	2.233
Leichtputz		3.325	0,075	249	3.574	249	3.325
Zementputz	Vorspritzer	1.995	0,100	199	2.194	199	1.995
Sandschüttung	0/4	38.183	0,025	955	39.137	955	38.183
Kiesschüttung	16/32	112.607	0,025	2.815	115.422	2.815	112.607
MW Klemmfilz		2.001	0,100	200	2.201	200	2.001
TDP Mineralw.		188	0,100	19	207	19	188
EPS - Iso		817	0,100	82	899	82	817
XPS	Dach	2.271	0,100	227	2.498	227	2.271
EPS TDP		1.058	0,100	106	1.163	106	1.058
PE-Folien		436	0,100	44	480	44	436
Pappe		1.836	0,100	184	2.020	184	1.836
Sonstige		7.440			7.440	7.440	
Summe	Gesamt	2.181.635	0,043	57.007	2.256.718	75.084	2.181.635

<sup>1</sup>) Die Verschnittfaktoren wurden im Rahmen der Diplomarbeit [Nölte, 2002] erarbeitet und durch Werte aus [Auer, 2004] ergänzt.

Bei den eingesetzten Hilfsmitteln werden jene bilanziert, die in Form von Abfällen die Baustelle wieder verlassen. Die Ermittlung erfolgt gemäß den Angaben von [Haerberlin 1997], welche jedem Kubikmeter umbauten Raum eine bestimmte Materialmatrix an Baustellenabfällen zuordnet. Bei der Errichtung eines Hochbaues ist demnach mit einem Aufkommen von Baustellenabfällen in der Größenordnung von 0,02 – 0,04 m<sup>3</sup> Baustellenabfällen pro m<sup>3</sup> umbauten Raum zu rechnen. Dabei fallen ca. 25 % in der Rohbauphase und 75 % in der Ausbauphase an. Bei einem umbauten Raum von 4.350.688 m<sup>3</sup> können somit folgende Mittelwerte aus Tabelle 9-66 für die Berechnungen heran gezogen werden. Es werden für alle drei Szenarien dieselben Mengen angenommen, da detaillierte Untersuchungen dazu fehlen und dies den Rahmen der Arbeit sprengen würde. Der Verschnitt wird aber für jedes Szenario einzeln behandelt. Die Mengen sind in Tabelle 9-64 und Tabelle 9-65 enthalten. Dabei ist noch anzumerken, dass mit der durchschnittlichen Dichte von 1.200 kg/m<sup>3</sup> (Tabelle 9-66) der gesamte, aus allen Fraktionen bestehende Baustellenabfall gemeint ist. Es handelt sich also um eine durchschnittliche Baurestmassendichte.

Tabelle 9-66: Anfallende Baustellenabfälle und deren durchschnittliche Zusammensetzung pro m<sup>3</sup> umbauten Raum auf Basis von Tabelle 9-65.

Abfall Rohbau	Durchschnittliche Bau- restmassendichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [m%]	Abfälle min. [t]	Abfälle mittel [t]	Abfälle maximal [t]
Bauschutt	1200	35	9136	13705	18273
Bau- und Abbruchholz		30	7831	11747	15662
Bauschrott		5	1305	1958	2610
Sonst. Baureststoffe		8	2088	3132	4177
Grünabfälle		4	1044	1566	2088
Sonderabfälle		1	261	392	522
Hausmüllähn. Abfälle		5	1305	1958	2610
Baustellenabfälle		12	3132	4699	6265
Summe		100	26104	39156	52208

Input und Output (in die Zielprozesse Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung sowie in das Lager) für Szenario 2 2001:

Tabelle 9-67: Eingebrachte Baumaterialien und Bauweisen für Szenario 2 in Tonnen.

Material	Holzskelett bau	Holzrahmen bau	Holzmassiv bau	Ziegel bau	Betonmauer werk	Beton/Ziegel Fertigteile	Keller	Hilfs material
BSH	2.508	64	2.347	-	-	-	-	-
FSH	3.028	268	1.936	-	-	-	-	587
Massivholz	14.209	1.367	11.911	714	1.708	1.611	-	7.635
Brettstapel	-	-	27.205	-	-	-	-	-
Spanplatten	6	723	726	-	-	-	-	881
OSB-Platten	4.014	-	-	-	-	-	-	881
Beton	25.109	3.561	170.584	51.817	329.075	346.233	415.153	-
Zementestrich	27.612	2.644	38.060	7.168	30.712	29.741	27.591	-
Stahl	1.865	161	5.909	2.065	9.186	11.409	12.528	-
Ziegel	6	587	2.069	25.319	5.157	4.868	-	-
Gipskarton	7.353	1.828	8.753	898	2.850	3.304	-	-
Gipsspachtel	172	-	121	-	1.414	1.344	492	-
Gipsma.putz	-	-	1.040	1.816	3.553	1.910	-	-
Mauermörtel	-	-	-	1.265	-	-	-	-
Haftmörtel kg	394	-	506	-	724	683	-	-
Armiemörtel	986	-	1.266	-	1.911	1.802	-	-
Armiergewebe	12	-	15	-	22	20	-	-
Silikatgrund kg	11	-	14	-	20	19	-	-
Silikatputz	197	-	253	318	433	409	-	-
Leichtputz	-	-	-	1.239	-	-	-	-
Zementputz	-	-	-	743	-	-	-	-
Sandschüttung	16.779	-	1.785	-	8.383	8.112	11.262	-
Kiesschüttung	-	-	-	-	11.752	11.085	75.249	-
Mineralwolle	300	-	385	-	-	-	-	-
MW Klemmfalz	498	211	952	273	227	241	-	-
MW - F	392	-	354	-	-	-	-	-
Heraklioth BM	1.143	-	1.035	-	-	-	-	-
TDP Mineralw.	609	72	994	-	-	-	-	-
EPS - Iso	2	-	49	-	257	242	-	-
XPS	-	-	-	-	572	540	452	-
EPS TDP	-	-	31	196	123	119	138	-
PE-Folien	61	11	148	19	82	78	94	-
PU-Dämmmatte	24	-	9	-	-	-	-	-
Pappe	57	36	205	33	249	235	858	-
Materialmix	-	-	-	-	-	-	-	7.440
Summe	107.346	11.534	278.659	93.894	408.410	424.006	543.818	17.425

In Tabelle 9-68 werden der Verschnitt sowie die Hilfsstoffe und sonstige anfallende Materialien (Verpackungen, Behältnisse, Schalungsreste, Pölzungen usw.) zugeordnet und so die gesamten In- und Outputs berechnet.

Tabelle 9-68: Ermittlung des Verschnitts, der In- und Outputmengen und des Lagers in [t] – Szenario 2.

Material	Information	Massenermittlung	Faktor Verschnitt	Verschnitt	Input inkl. Hilfsmaterial	Output Sammlung & Sort.	Output Lager
BSH		4.919	0,100	492	5.411	492	4.919
FSH		5.231	0,100	523	6.342	1.110	5.231
Massivholz	große QS	21.429	0,075	1.607	26.266	4.838	21.429
Massivholz	kleine QS	5.149	0,125	644	7.848	2.699	5.149
Massivholz	Schalung	4.942	0,050	247	7.538	2.596	4.942
Brettstapel	Decken, Wände	27.205	0,050	1.360	28.565	1.360	27.205
Spanplatten		1.455	0,100	145	2.481	1.026	1.455
OSB-Platten		4.014	0,100	401	5.296	1.282	4.014
B300	Decken, Träge	755.678	0,025	18.892	774.569	18.892	755.678
B300	Wände	276.341	0,025	6.909	283.249	6.909	276.341
Fertigteile	Decke	106.296	0,010	1.063	107.359	1.063	106.296
Fertigteile	Wand	119.640	0,010	1.196	120.836	1.196	119.640
Magerbeton		83.578	0,030	2.507	86.085	2.507	83.578
Zementestrich		163.529	0,050	8.176	171.705	8.176	163.529
Stahl	Verbindungsm.	1.114	0,010	11	1.125	11,14	1.114
Stahl	Armierung	39.999	0,025	1.000	40.999	1.000	39.999
Metallständer	Baustahl	1.350	0,025	34	2.036	685,7	1.350
Zinkblech		658	0,010	7	664	6,58	658
Porotherm	Außenwand	14.601	0,050	730	15.331	730	14.601
Düwaziegel	Schächte 10	13.217	0,075	991	14.209	991	13.217
Schallsch.zieg	Trennwand	5.841	0,050	292	6.133	292	5.841
Dachziegel		4.347	0,010	43	4.390	43	4.347
Gipskarton		24.986	0,100	2.499	27.485	2.499	24.986
Gipsspachtel		3.543	0,025	89	3.632	89	3.543
Gipsma.putz		8.319	0,075	624	8.943	624	8.319
Mauermörtel	Perlite	1.265	0,050	63	1.329	63	1.265
Haftmörtel kg		2.307	0,025	58	2.365	58	2.307
Armiermörtel		5.965	0,050	298	6.263	298	5.965
Armiergewebe		68	0,050	3	72	3	68
Silikatgrund kg		65	0,050	3	68	3	65
Silikatputz		1.611	0,075	121	1.732	121	1.611
Leichtputz		1.239	0,075	93	1.331	93	1.239
Zementputz	Vorspritzer	743	0,100	74	817	74	743
Sandschüttung	0/4	46.321	0,025	1.158	47.479	1.158	46.321
Kiesschüttung	16/32	98.086	0,025	2.452	100.538	2.452	98.086
Mineralwolle	Dach	686	0,050	34	720	34	686
MW Klemmfiz		2.402	0,100	240	2.643	240	2.402
MW - F	Dämmplatte	746	0,100	75	821	75	746
Heraklith BM		2.178	0,100	218	2.396	218	2.178
TDP Mineralw.		1.674	0,100	167	1.842	167	1.674
EPS - Iso		551	0,100	55	606	55	551
XPS	Dach	1.564	0,100	156	1.720	156	1.564
EPS TDP		606	0,100	61	667	61	606
PE-Folien		492	0,100	49	542	49	492
PU-Dämmmatte	Sylomer	32	0,100	3	36	3	32
Pappe		1.674	0,100	167	1.841	167	1.674
Diverse	Verpackungen	7.440			7.440	7.440	-
Summe	Gesamt	1.867.667	0,046	56.034	1.941.778	74.110	1.867.667

Input und Output (in die Zielprozesse Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung sowie in das Lager) für Szenario 3 2001:

## Anwendung der Methode - Fallstudie Wien

Tabelle 9-69: Eingebaute Baumaterialien und Bauweisen für Szenario 3 in Tonnen.

Material	Holzskelettbau	Holz- rahmenbau	Holzmassivbau	Ziegel- bau	Beton- Mauerwerk	Beton/Ziegel Fertigteile	Keller	Hilfsmaterial
BSH	8.046	-	2.735	-	-	-	-	-
FSH	9.724	-	-	-	-	-	-	587
Massivholz	45.576	-	21.076	-	-	-	-	7.635
Brettstapel	-	-	51.906	-	-	-	-	-
Spanplatten	-	-	4.623	-	-	-	-	881
OSB-Platten	12.889	-	-	-	-	-	-	881
Beton	80.507	-	198.833	-	-	-	415.153	-
Zementestrich	88.576	-	62.256	-	-	-	27.591	-
Stahl	5.982	-	8.084	-	-	-	12.528	-
Ziegel	-	-	13.179	-	-	-	-	-
Gipskarton	23.550	-	27.606	-	-	-	-	-
Gipsspachtel	552	-	-	-	-	-	492	-
Haftmörtel kg	1.266	-	-	-	-	-	-	-
Armiemörtel	3.165	-	-	-	-	-	-	-
Armiergewebe	37	-	-	-	-	-	-	-
Silikatgrund kg	36	-	-	-	-	-	-	-
Silikatputz	633	-	-	-	-	-	-	-
Sandschüttung	53.881	-	-	-	-	-	11.262	-
Kiesschüttung	-	-	-	-	-	-	75.249	-
Mineralwolle	964	-	-	-	-	-	-	-
MW Klemmfilz	1.594	-	3.793	-	-	-	-	-
MW - F	1.258	-	-	-	-	-	-	-
Herakliith BM	3.671	-	-	-	-	-	-	-
TDP Mineralw.	1.952	-	1.625	-	-	-	-	-
EPS - Iso	6	-	-	-	-	-	-	-
XPS	-	-	-	-	-	-	452	-
EPS TDP	-	-	-	-	-	-	138	-
PE-Folien	195	-	267	-	-	-	94	-
PU-Dämmmatte	76	-	-	-	-	-	-	-
Pappe	183	-	841	-	-	-	858	-
Diverse	-	-	-	-	-	-	-	7.440
Summe	344.319	-	396.824	-	-	-	543.818	17.425

Tabelle 9-70: Ermittlung des Verschnitts, der In- und Outputmengen und des Lagers in [t] – Szenario 3.

Material	Information	Massenermittlung	Faktor Verschnitt	Verschnitt	Input	Output Sammlung & Sort.	Output Lager
BSH		10.780	0,100	1.078	11.859	1.078	10.780
FSH		9.724	0,100	972	11.284	1.560	9.724
Massivholz	große QS	43.048	0,075	3.229	49.507	6.459	43.048
Massivholz	kleine QS	13.880	0,125	1.735	17.671	3.791	13.880
Massivholz	Schalung	9.723	0,050	486	12.558	2.836	9.723
Brettstapel	Decken, Wände	51.906	0,050	2.595	54.502	2.595	51.906
Spanplatten		4.623	0,100	462	5.967	1.343	4.623
OSB-Platten		12.889	0,100	1.289	15.059	2.170	12.889
B300	Decken, Träge	445.226	0,025	11.131	456.356	11.131	445.226
B300	Wände	150.060	0,025	3.751	153.811	3.751	150.060
Fertigteile	Decke	18.982	0,010	190	19.171	190	18.982
Fertigteile	Wand	-	0,010	-	-	-	-
Magerbeton		80.226	0,030	2.407	82.633	2.407	80.226
Zementestrich		178.423	0,050	8.921	187.344	8.921	178.423
Stahl	Verbindungsm.	2.641	0,010	26	2.668	26,41	2.641
Stahl	Armierung	22.290	0,025	557	22.848	557	22.290
Metallständer	Baustahl	861	0,025	22	1.534	673,5	861
Zinkblech		802	0,010	8	810	8,02	802
Ziegel		13.179	0,010	132	13.311	132	13.179
Gipskarton		51.155	0,100	5.116	56.271	5.116	51.155
Gipsspachtel		1.044	0,025	26	1.070	26	1.044
Haftmörtel kg		1.266	0,025	32	1.297	32	1.266
Armiemörtel		3.165	0,050	158	3.323	158	3.165
Armiergewebe		37	0,050	2	39	2	37
Silikatgrund kg		36	0,050	2	37	2	36
Silikatputz		633	0,075	47	680	47	633
Sandschüttung	0/4	65.144	0,025	1.629	66.772	1.629	65.144
Kiesschüttung	16/32	75.249	0,025	1.881	77.131	1.881	75.249
Mineralwolle	Dach	964	0,050	48	1.012	48	964
MW Klemmfilz		5.386	0,100	539	5.925	539	5.386
MW - F	Dämmplatte	1.258	0,100	126	1.384	126	1.258
Herakliith BM		3.671	0,100	367	4.039	367	3.671
TDP Mineralw.		3.577	0,100	358	3.935	358	3.577
EPS - Iso		6	0,100	1	7	1	6
XPS	Dach	452	0,100	45	497	45	452
EPS TDP		138	0,100	14	152	14	138
PE-Folien		557	0,100	56	613	56	557
PU-Dämmmatte	Sylomer	76	0,100	8	84	8	76
Pappe		1.882	0,100	188	2.070	188	1.882
Diverse		-	-	-	7.440	7.440	-
Summe	Gesamt	1.284.961		49.633	1.352.670	67.709	1.284.961

Als zusätzlicher Output fällt für alle drei Szenarien Bodenaushub in einer Menge von 1.390.079 t an.

Gemäß Kennzahlen kann der Materialinput für Sanierungen mit weiteren 570.000 t abgeschätzt werden, der Output an bei Sanierung anfallenden Baurestmassen dürfte sich in derselben Größenordnung bewegen. Sanierungen werden in dieser Arbeit allerdings nicht betrachtet.

Für die Berechnung der Umweltwirkungen durch den Errichtungsprozess gelten die in Kapitel 9.5.4.4 angegebenen Randbedingungen und Annahmen. Für den Errichtungsprozess wird der Energiebedarf (Diesel, Strom) berücksichtigt, wobei für alle Szenarien gleich vorgegangen wird. Es wird die Bandbreite der in der Prozessbeschreibung zitierten verschiedenen Literaturquellen angegeben, wobei die Transporte und der Bodenaushub in der Tabelle 9-71 nicht berücksichtigt sind, da diese Prozesse separat betrachtet werden.

Tabelle 9-71: Kennzahlen bezüglich Diesel und Stromeinsatz für den Errichtungsprozess exklusive Transporte und Bodenaushub. Die Basis für die hier angegebenen Kennzahlen liefern [Pohlmann 2002], [Schüchtermann & Wagner 1996], [Krotschek 1997] und [Eyerer & Reinhardt 2000]

Energieeinsatz	Kennzahl MJ Äqu./m <sup>2</sup>	Wohnfläche [m <sup>2</sup> ]	Verbrauch [MJ Äqu.]
Strom	20	1.182.339	23.646.780
Diesel niedrig	40	1.182.339	47.293.560
Diesel hoch	112	1.182.339	132.421.968

Somit ergeben sich die Umweltwirkungsdaten für den Errichtungsprozess mit den entsprechenden Bandbreiten. Ob für die leichteren Bauweisen im Vergleich zu den schweren Bauweisen weniger Energieeinsatz für die Errichtung erforderlich ist wurde nicht untersucht.

Tabelle 9-72: Umweltwirkungen bei der Errichtung von Büro- und Wohnbauten 2001 bewirkt durch den Strom- und Dieserverbrauch, für alle Szenarien gleich angenommen.

	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Bodenaushub	41.628	6.175.850	418.460	1.500
Summe Strom Diesel UG	19.903.273	95.760.820	6.314.281	47.037
Summe Strom Diesel OG	20.488.332	212.959.994	14.116.300	70.311
Summe UG	19.944.901	101.936.670	6.732.741	48.537
Summe OG	20.529.961	219.135.844	14.534.760	71.811
	KEA e [MJ/m <sup>2</sup> ]	KEA ne [MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
Summe UG	17	86	6	0,041
Summe OG	17	185	12	0,061
	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Bodenaushub	0,050	163	11.650	2.095
Summe Strom Diesel UG	0,652	1.879	130.959	23.130
Summe Strom Diesel OG	1,620	4.892	358.533	64.072
Summe UG	0,702	2.042	142.609	25.225
Summe OG	1,670	5.055	370.183	66.167
	ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
Summe UG	0,000	0,002	0,121	0,021
Summe OG	0,000	0,004	0,313	0,056

Die Zielprozesse sind für die beim Errichtungsprozess anfallenden Baurestmassen und Abfälle sowie für den Bodenaushub die „Private und öffentliche Abfallsammlung“ und für die errichteten Gebäude mit den darin enthaltenen Baumaterialien das „Lager Wohn- und Bürobauten“.

#### **9.6.4.5 Prozess Lager Wohn- und Bürobauten**

Die Inputgüter in diesen Prozess sind die während der Errichtung in die Bauwerke eingebauten Baumaterialien. Für die Lagerentwicklung für die nächsten 100 Jahre werden folgende Annahmen getroffen:

Für das Ausgangsjahr 2001 wird angenommen, dass 10 % der Nutzflächenabgänge in Ziegel- und Betonbauweise, welche nach 1950 gebaut wurden, und 90 % der Nutzflächenabgänge Gründerzeitgebäuden entsprechen. Dazu kommen noch die Abbrüche für Aufbauten auf den Bestand (Siehe auch Kapitel 9.6.4.6). Für den abzubrechenden Bestand werden typische hölzerne Dachkonstruktionen mit Ziegeldeckung angenommen. In dieser Zeit notwendige Renovierungen werden nicht berücksichtigt, da dabei lediglich ein Materialtausch statt findet und die tragende Struktur kaum angegriffen wird. D.h. dass kurzlebige Teile wie z.B. Erneuerung des Wärmedämmverbundsystems nach 25 - 30 Jahren [Maydl, 2005] ausgewechselt werden und durch neue, heute schwer abschätzbare Materialien ersetzt werden.

Das bestehende Lager 2001 wurde in Kapitel 9.6.2.3 abgeschätzt. Für den Wohn- und Bürobau wurde eine Bandbreite von 180 – 225 Mio. Tonnen errechnet, der Holzanteil beträgt ca. 4,4 Mio. Tonnen wovon sich wiederum ca. 3,6 Mio. Tonnen in den tragenden Strukturen befinden [Merl 2004].

#### **Ist – Stand – Szenario 1:**

Es wird angenommen, dass beim Flächenabgang (Siehe auch Kapitel Rückbau 9.6.4.5) der Anteil von Bauweisen, die der Materialzusammensetzung des Jahres 2001 entsprechen, jährlich um 0,75 % zunimmt und im Gegenzug bei den Gründerzeithäusern im gleichen Maß abnimmt. Diese Annahmen beruhen auf der Annahme, dass einerseits die Gebäudezusammensetzung der letzten 50 Jahre ähnlich der heutigen Zusammensetzung ist und andererseits auf einer Lebensdauer von 80 – 120 Jahren. Nach 100 Jahren bedeutet das, dass 85 % des Flächenabganges die Materialzusammensetzung 2001 repräsentieren und 15 % die Materialzusammensetzung von Gründerzeithäusern. Dazu kommen noch die Abbrüche für Aufbauten auf den Bestand, welche als konstant angenommen werden. Die Entwicklung kann durch heute nicht vorhersehbare vermehrte Abbruchtätigkeiten und Wiederbebauung dieser Flächen, Maßnahmen im Bestand, Etablierung neuer Bauweisen und Materialien beeinflusst werden.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden hier nur die wichtigsten Ergebnisse der Lagerberechnung angegeben. Die Ergebnisse für Holz werden gemäß der Zielsetzung der Studie etwas detaillierter angegeben. Details können dem Anhang entnommen werden.

Tabelle 9-73: Berechnete Lagerentwicklung von 2001 – 2101 für Szenario 1

	Lager 2001	Lager 2026	Lager 2051	Lager 2076	Lager 2101
<b>Material</b>	<b>Input [t]</b>	<b>Summe Input [t]</b>	<b>Summe Input [t]</b>	<b>Summe Input [t]</b>	<b>Summe Input [t]</b>
BSH	330	8.242	16.483	24.725	32.966
FSH	268	6.696	13.392	20.087	26.783
Massivholz	10.774	269.340	538.681	808.021	1.077.361
Brettstapel	1.962	49.062	98.123	147.185	196.246
Holzwerkstoffe	1.384	34.596	69.192	103.788	138.383
Beton	1.662.065	41.551.624	83.103.247	124.654.871	166.206.495
Zementestrich	152.645	3.816.119	7.632.238	11.448.358	15.264.477
Stahl	51.544	1.288.601	2.577.203	3.865.804	5.154.405
Ziegel	85.924	2.148.089	4.296.178	6.444.267	8.592.357
Sonstige mineralisch	206.133	5.153.326	10.306.653	15.459.979	20.613.306
Dämm- u. Kunststoffe	8.607	215.170	430.339	645.509	860.678
<b>Summe Input</b>	<b>2.181.635</b>	<b>54.540.864</b>	<b>109.081.729</b>	<b>163.622.593</b>	<b>218.163.458</b>
<b>Materialsummen</b>	<b>Output [t]</b>	<b>Output 2026 [t]</b>	<b>Output 2051 [t]</b>	<b>Output 2076 [t]</b>	<b>Output 2101 [t]</b>
BSH	-	399	970	1.819	2.947
FSH	-	324	788	1.478	2.394
Massivholz	16.516	525.743	796.371	999.188	1.134.305
Brettstapel	-	2.375	5.774	10.829	17.540
Holzwerkstoffe	-	1.675	4.071	7.636	12.369
Beton	32.564	2.542.425	5.674.435	10.131.526	15.914.552
Zementestrich	8.332	392.878	758.745	1.222.434	1.784.058
Stahl	2.320	119.477	236.574	388.671	575.802
Ziegel	237.638	7.455.850	11.217.305	13.948.671	15.651.515
Sonstige mineralisch	123.264	4.054.634	6.281.365	8.111.383	9.545.571
Dämm- u. Kunststoffe	700	29.215	53.314	81.869	114.889
<b>Summe Output</b>	<b>421.333</b>	<b>15.124.994</b>	<b>25.029.712</b>	<b>34.905.504</b>	<b>44.755.941</b>
<b>Lagerveränderung</b>	<b>1.760.302</b>	<b>39.415.871</b>	<b>84.052.017</b>	<b>128.717.089</b>	<b>173.407.517</b>

### Szenario 2 und Szenario 3

Für Szenario 2 ergibt das folgende Daten:

Tabelle 9-74: Berechnete Lagerentwicklung von 2001 – 2101 für Szenario 2

	Lager 2001	Lager 2026	Lager 2051	Lager 2076	Lager 2101
<b>Materialinput</b>	<b>Input [t]</b>	<b>Summe Input [t]</b>	<b>Summe Input [t]</b>	<b>Summe Input [t]</b>	<b>Summe Input [t]</b>
BSH	4.919	122.971	245.941	368.912	491.883
FSH	5.231	130.787	261.574	392.361	523.149
Massivholz	31.520	787.992	1.575.983	2.363.975	3.151.967
Brettstapel	27.205	680.115	1.360.231	2.040.346	2.720.461
Summe Holzwerkstoffe	5.469	136.713	273.427	410.140	546.854
Beton	1.341.532	33.538.295	67.076.590	100.614.884	134.153.179
Zementestrich	163.529	4.088.219	8.176.439	12.264.658	16.352.878
Stahl	43.121	1.078.024	2.156.048	3.234.072	4.312.096
Ziegel	38.007	950.168	1.900.336	2.850.503	3.800.671
Sonstige mineralisch	194.530	4.863.241	9.726.482	14.589.723	19.452.963
Dämm- u. Kunststoffe	12.606	315.154	630.309	945.463	1.260.618
<b>Summe Input</b>	<b>1.867.667</b>	<b>46.691.680</b>	<b>93.383.360</b>	<b>140.075.039</b>	<b>186.766.719</b>
<b>Material</b>	<b>Summe Output [t]</b>	<b>Output 2026 [t]</b>	<b>Output 2051 [t]</b>	<b>Output 2076 [t]</b>	<b>Output 2101 [t]</b>
BSH	-	399	970	2.410	5.107
FSH	-	324	788	2.117	4.731
Massivholz	16.516	525.743	796.371	1.001.860	1.144.072
Brettstapel	-	2.375	5.774	14.080	29.424
Summe Holzwerkstoffe	-	1.675	4.071	8.162	14.292
Beton	32.564	2.542.425	5.674.435	10.090.244	15.763.648
Zementestrich	8.332	392.878	758.745	1.223.836	1.789.182
Stahl	2.320	119.477	236.574	387.586	571.836
Ziegel	237.638	7.455.850	11.217.305	13.942.500	15.628.956
Sonstige mineralisch	123.264	4.054.634	6.281.365	8.109.889	9.540.109
Dämm- und Kunststoffe	700	29.215	53.314	82.384	116.772
<b>Summe Output</b>	<b>421.333</b>	<b>15.124.994</b>	<b>25.029.712</b>	<b>34.865.068</b>	<b>44.608.129</b>
<b>Lagerveränderung 2001</b>	<b>1.446.335</b>	<b>31.566.686</b>	<b>68.353.647</b>	<b>105.209.971</b>	<b>142.158.590</b>



Für Szenario 2 und Szenario 3 wird angenommen, dass die Materialzusammensetzung der Nutzflächenabgänge in den ersten 50 Jahren beide Szenarien identisch mit Szenario 1 ist. In den darauf folgenden Perioden kommen mit einer Steigerungsrate von 5 % pro Berechnungsperiode (12 Jahre) Bauwerke mit dem Mix des jeweils untersuchten Szenarios dazu bei Abnahme des Anteiles der ursprünglichen Materialzusammensetzung.

Für Szenario 3 ergibt sich somit folgende Lagerentwicklung:

Tabelle 9-75: Berechnete Lagerentwicklung von 2001 – 2101 für Szenario 3

	Lager 2001	Lager 2026	Lager 2051	Lager 2076	Lager 2101
<b>Materialinput</b>	<b>Input [t]</b>	<b>Summe Input [t]</b>	<b>Summe Input [t]</b>	<b>Summe Input [t]</b>	<b>Summe Input [t]</b>
BSH	10.780	269.512	539.024	808.536	1.078.048
FSH	9.724	243.095	486.189	729.284	972.379
Massivholz	66.651	1.666.285	3.332.569	4.998.854	6.665.139
Brettstapel	51.906	1.297.662	2.595.324	3.892.985	5.190.647
Holzwerkstoffe	17.512	437.805	875.611	1.313.416	1.751.222
Beton	694.493	17.362.327	34.724.654	52.086.981	69.449.308
Zementestrich	178.423	4.460.583	8.921.165	13.381.748	17.842.331
Stahl	26.594	664.853	1.329.706	1.994.559	2.659.412
Ziegel	13.179	329.475	658.949	988.424	1.317.899
Sonstige mineralisch	197.729	4.943.223	9.886.447	14.829.670	19.772.894
Dämm- und Kunststoffe	17.968	449.209	898.418	1.347.627	1.796.836
<b>Summe</b>	<b>2.181.635</b>	<b>32.124.028</b>	<b>64.248.057</b>	<b>96.372.085</b>	<b>128.496.114</b>
<b>Materialoutput</b>	<b>Summe Output [t]</b>	<b>Output 2026 [t]</b>	<b>Output 2051 [t]</b>	<b>Output 2076 [t]</b>	<b>Output 2101 [t]</b>
BSH	-	399	970	3.165	7.867
FSH	-	324	788	2.696	6.846
Massivholz	16.516	525.743	796.371	1.006.384	1.160.612
Brettstapel	-	2.375	5.774	17.261	41.053
Summe Holzwerkstoffe	-	1.675	4.071	9.713	19.962
Beton	32.564	2.542.425	5.674.435	10.006.912	15.459.029
Zementestrich	8.332	392.878	758.745	1.225.754	1.796.194
Stahl	2.320	119.477	236.574	385.457	564.056
Ziegel	237.638	7.455.850	11.217.305	13.939.303	15.617.267
Sonstige mineralisch	123.264	4.054.634	6.281.365	8.110.301	9.541.615
Dämm- u. Kunststoffe	700	29.215	53.314	83.075	119.297
<b>Summe</b>	<b>421.333</b>	<b>15.124.994</b>	<b>25.029.712</b>	<b>34.790.022</b>	<b>44.333.796</b>
<b>Lagerveränderung 2001</b>	<b>1.760.302</b>	<b>16.999.035</b>	<b>39.218.345</b>	<b>61.582.063</b>	<b>84.162.317</b>

Nach einer Verweilzeit von wenigen Jahren bis zu mehreren Jahrhunderten gelangen die Bauwerke und damit die darin eingebauten Materialien in den Zielprozess „Rückbau und Abbruch“.

#### 9.6.4.6 Prozess Rückbau und Abbruch

Der Herkunftsprozess ist der Prozess „Lager“. Der Input 2001 aus dem Lager in den Rückbau ist gleich der Output 2001, es gibt keine Lagerbildung in diesem Prozess. Die Inputflüsse sind ein fiktiver Güterfluss aus dem Gebäudelager in den Rückbauprozess. Da aus der Statistik keine detaillierten Informationen hinsichtlich Alter und Bauweise der abgebrochenen Objekte entnommen werden konnten werden die Annahmen aus Kapitel 9.6.1 übernommen. Es wird angenommen, dass 10 % der Nutzflächenabgänge in Ziegel- und Betonbauweise, welche nach 1950 gebaut wurden, und 90 % der Nutzflächenabgänge Gründerzeitgebäuden entsprechen. In der Wohnbaustatistik wird der Wohnungsabgang 2001 mit ca. 1.135 Wohnungen (18 % des Neubaus bzw. ca. 77.000 m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche) angegeben. Da für Bürobauten keine Zahlen verfügbar waren wird der Abgang in der gleichen Relation wie der Wohnbau angenommen (18 % der Neuerrichtungsfläche bzw. ca. 73.600 m<sup>2</sup> Büronutzfläche). Es wird angenommen, dass 80 % der Büroflächenabgänge Gebäuden der Gründerzeit

entstammen und jeweils 10 % in ihrer Zusammensetzung der Betonbauweise und der Ziegelbauweise entsprechen.

Um die 262 Wohnungen in Dachausbauten und die 580 Wohnungen durch Auf-, Um- oder Zubauten errichten zu können müssen vorher Rückbau- und Abbrucharbeiten getätigt werden. Es wird die Annahme getroffen, dass für alle zu tätigen Dachausbauten und für 50 % der Auf-, Um- oder Zubauten bestehende Dachkonstruktionen abgebrochen werden müssen. Das sind 552 Wohnungen mit einer durchschnittlichen Wohnnutzfläche von 75 m<sup>2</sup>, damit ergibt sich eine Gesamtfläche von 41.400 m<sup>2</sup>. Es wird angenommen, dass die betroffenen Gebäude hauptsächlich vor 1945 errichtet worden sind und dass die Decken zum Dachgeschoß Dippelbaumdecken sind, von denen 50 % belassen werden und 50 % abgebrochen werden.

Der Rückbauprozess 2001 ist für alle Szenarien gleich gestaltet, mögliche zukünftige Auswirkungen können aus der Lagerentwicklung herausgelesen werden bzw. würde sich die Materialzusammensetzung aus dem Rückbau stammender Baurestmassen mit entsprechender zeitlicher Verzögerung in der Zusammensetzung zukünftig dem Input des Jahres 2001 anpassen.

Tabelle 9-76: Materialflüsse aus dem Prozess Rückbau des Wiener Büro- und Wohnbaues im Jahr 2001 für alle 3 Szenarien.

Bauweise		Gründerzeit	Ziegelbau	Betonmauerwerk	Input = Output
	Information	[t]	[t]	[t]	[t]
Massivholz	große QS	10.287	-	27	10.314
Massivholz	kleine QS	1.593	40	0	1.633
Massivholz	Schalung	4.509	30	30	4.569
Beton		16.470	5.112	10.981	32.564
Zementestrich		6.600	707	1.025	8.332
Stahl		1.809	204	307	2.320
Ziegel	AÖF	226.949			226.949
Ziegel		7.749	2.498	172	10.419
Sonstige mineralisch		121.606	621	1.037	123.264
Dämmstoffe		598	51	50	700
Summe 2001	Gesamt	398.440	9.264	13.629	421.333

Der Zielprozess ist der Prozess „Private und öffentliche Sammlung und Sortierung“ von Baurestmassen und Baustellenabfällen.

Die zukünftige Zusammensetzung der Baurestmassen nach Ende des Lebenszyklus der 2001 errichteten Büro- und Wohnbauten könnte für die einzelnen Szenarien, unter der Voraussetzung dass die Szenarien entsprechend umgesetzt wurden und der jährliche Wohnungsabgang in der Größenordnung des Jahres 2001 bleibt, folgend aussehen:

Tabelle 9-77 Materialien aus dem Jahr 2001 im Vergleich zur möglichen zukünftigen Zusammensetzung in mehr als 100 Jahren, Abschätzung für die drei Szenarien.

Materialien	2001 Ist [t]	Szenario 1 Zukunft [t]	Szenario 2 Zukunft [t]	Szenario 3 Zukunft [t]
Massivholz große QS	10.314	3.960	7.185	11.076
Massivholz kleine QS	1.633	599	1.042	2.613
Massivholz Schalung	4.569	1.219	1.286	2.146
Brettstapel	-	353	4.897	9.343
Holzwerkstoffe	-	357	2.811	6.843
Beton	32.564	299.172	241.476	125.009
Zementestrich	8.332	27.476	29.435	32.116
Stahl	2.320	9.278	7.762	4.787
Ziegel	237.638	22.144	13.519	9.050
Sonstige mineralisch	123.264	42.580	40.492	41.068
Dämmstoffe	700	1.549	2.269	3.234
Summe	421.333	408.687	352.173	247.286

**9.6.4.7 Prozess Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung:**

Die Herkunftsprozesse sind der Prozess „Errichtung von Wohn- und Bürobauten“ („neue“ Materialien aus dem Errichtungsjahr, alle im Zuge des Errichtungsprozesses anfallenden Baustellenabfälle und Baurestmassen aus Verschnitt usw.) und der Prozess „Rückbau und Abbruch“ („alte“ Materialien, waren für eine Gebäudelebensdauer gespeichert). Die Inputgüter werden in den folgenden Tabellen aufgelistet. Für Szenario 1 zeigt Tabelle 9-78:

Tabelle 9-78: Inputgüter in den Prozess Sammlung und Sortierung aus dem Prozess „Errichtung von Büro- und Wohnbauten“ – neu und dem Prozess „Rückbau und Abbruch“ - alt für Szenario 1.

Material	Output „neu“ Errichtung [t]	Output „alt“ Rückbau [t]	Zielprozess Bezeichnung	Input Sammlung & Sortierung [t]
BSH, FSH	647		Bau- und Abbruchholz	
Holz unbehandelt	8.562	16.516	Bau- und Abbruchholz „alt“	16.516
Holzwerkstoffe	1.900		Bau- und Abbruchholz „neu“	11.109
Stahlbeton	30.494	25.602	Betonabbruch	
Betonfertigteile	3.531	3.976	Betonabbruch	
Magerbeton	2.677	2.986	Betonabbruch „alt“	40.896
Estrichbeton	4.579	8.332	Betonabbruch „neu“	41.281
Armierung	1.240	479	Eisen- und Stahl „alt“	2.320
Baustahl	696	1.841	Eisen- und Stahl „neu“	1.936
Porenziegel	1.960	2.855	Bauschutt	
Ziegel schwer	2.717	234.783	Bauschutt	
Kies, Sand, Beschüttung	3.770	58.877	Bauschutt	
Naturstein		6.530	Bauschutt „alt“	359.914
mineral. Ziel Bauschutt	538	56.870	Bauschutt „neu“	8.985
mineral. Ziel Baustellenabf.	3.472	988	Baustellenabfälle	
Dämm- u. Kunststoffe	861	700	Baustellenabfälle „alt“	1.687
Sonstige	7.440		Baustellenabfälle „neu“	11.772
<b>Summe</b>	<b>75.084</b>	<b>421.333</b>	<b>Baurestmassen „alt“ + „neu“</b>	<b>496.417</b>
Bodenaushub	1.390.079			1.390.079

**Szenario 2 gemäß Tabelle 9-79:**

Tabelle 9-79: Inputgüter in den Prozess Sammlung und Sortierung aus dem Prozess „Errichtung von Büro- und Wohnbauten“ – neu und dem Prozess „Rückbau und Abbruch“ - alt für Szenario 2.

Material	Output „neu“ Errichtung [t]	Output „alt“ Rückbau [t]	Zielprozess Bezeichnung	Input Sammlung & Sortierung [t]
BSH, FSH	1.602		Bau- und Abbruchholz	
Holz unbehandelt	11.494	16.516	Bau- und Abbruchholz „alt“	16.516
Holzwerkstoffe	2.309		Bau- und Abbruchholz „neu“	15.405
Stahlbeton	25.800	25.602	Betonabbruch	
Betonfertigteile	2.259	3.976	Betonabbruch	
Magerbeton	2.507	2.986	Betonabbruch „alt“	40.896
Estrichbeton	8.176	8.332	Betonabbruch „neu“	38.744
Armierung	1.000	479	Eisen- und Stahl „alt“	2.320
Baustahl	703	1.841	Eisen- und Stahl „neu“	1.703
Porenziegel	730	2.855	Bauschutt	
Ziegel schwer	1.327	234.783	Bauschutt	
Kies, Sand	3.610	58.877	Bauschutt	
Naturstein		6.530	Bauschutt „alt“	359.914
mineral. Ziel Bauschutt	259	56.870	Bauschutt „neu“	5.926
mineral. Ziel Baustellenabf.	3.667	988	Baustellenabfälle	
Dämm- u. Kunststoffe	1.226	700	Baustellenabfälle „alt“	1.687
Sonstige	7.440		Baustellenabfälle „neu“	12.333
<b>Summe</b>	<b>74.110</b>	<b>421.333</b>	<b>„alt“ + „neu“</b>	<b>495.443</b>
Bodenaushub	1.390.079			1.390.079

Szenario 3 gemäß Tabelle 9-80:

Tabelle 9-80: Inputgüter in den Prozess Sammlung und Sortierung aus dem Prozess „Errichtung von Büro- und Wohnbauten“ – neu und dem Prozess „Rückbau und Abbruch“ - alt für Szenario 3.

Material	Output „neu“ Errichtung [t]	Output „alt“ Rückbau [t]	Zielprozess Bezeichnung	Input Sammlung & Sortierung [t]
BSH, FSH	2.638		Bau- und Abbruchholz	
Holz unbehandelt	15.681	16.516	Bau- und Abbruchholz „alt“	16.516
Holzwerkstoffe	3.513		Bau- und Abbruchholz „neu“	21.832
Stahlbeton	14.882	25.602	Betonabbruch	
Betonfertigteile	190	3.976	Betonabbruch	
Magerbeton	2.407	2.986	Betonabbruch „alt“	40.896
Estrichbeton	8.921	8.332	Betonabbruch „neu“	26.400
Armierung	557	479	Eisen- und Stahl „alt“	2.320
Baustahl	708	1.841	Eisen- und Stahl „neu“	1.265
Porenziegel	-	2.855	Bauschutt	
Ziegel schwer	132	234.783	Bauschutt	
Kies, Sand	3.510	58.877	Bauschutt	
Naturstein		6.530	Bauschutt „alt“	359.914
mineral. Ziel Bauschutt	47	56.870	Bauschutt „neu“	3.689
mineral. Ziel Baustellenabf.	5.335	988	Baustellenabfälle	
Dämm- u. Kunststoffe	1.749	700	Baustellenabfälle „alt“	1.687
Sonstige	7.440		Baustellenabfälle „neu“	14.523
<b>Summe</b>	<b>67.709</b>	<b>421.333</b>	<b>„alt“ + „neu“</b>	<b>489.042</b>
Bodenaushub	1.390.079			1.390.079

Für diesen Prozess werden die Transporte bilanziert. Dabei werden folgende Distanzen angenommen:

Durchschnittlicher Transportweg von der Baustelle zur Sortieranlage in Wien: 7 km. Bei thermischer Verwertung oder Deponierung wird ein durchschnittlicher Weitertransport von 8 km berücksichtigt. Bei stofflicher Verwertung wird kein weiterer Transport von der Sortieranlage zum Ort der Verwertung dem Produkt angelastet, es erfolgt ein Export dieser Güter aus dem System und alle weiteren Umweltwirkungen werden dem aufnehmenden System zugeteilt. Der Transport des Bodenaushubs wird generell mit durchschnittlich 15 km angenommen.

Im Zuge der Sortierung werden die Baurestmassen in verwertbare und zu entsorgende Fraktionen getrennt und auf Basis einer Literaturrecherche folgenden Zielprozessen in den folgenden Tabellen (Tabelle 9-81, Tabelle 9-82 und Tabelle 9-83) zugewiesen. Die Verwertungs- und Entsorgungsschienen wurden nach besten Wissen und Gewissen recherchiert, in der Praxis könnten einzelne Fraktionen aber in andere Verwertungs- oder Entsorgungsprozesse gelangen.

Tabelle 9-81 Zielprozesse der sortierten Baurestmassen und Baustellenabfälle für Szenario 1.

Bezeichnung AWK	Output 2001 [t]	Koeffi- zient <sup>1</sup>	Koeffi- zient <sup>2</sup>	Koeffi- zient <sup>3</sup>	Stoffliche Ver- wertung [t]	Ziel Thermische Verwertung [t]	Ziel Depo- nie [t]
Bau- und Abbruchholz	27.625	0,34	0,66	0,00	9.417	18.207	-
Bauschutt	368.899	0,15	0	0,85	55.335	-	313.564
Betonabbruch	82.177	0,90	0,00	0,10	73.959	-	8.218
Eisen- und Stahl	4.256	1,00	0,00	0,00	4.256	-	-
Baustellenabfälle	13.459	0,20	0,20	0,60	2.692	2.692	8.076
<b>Summe</b>	<b>496.416</b>				<b>145.660</b>	<b>20.899</b>	<b>329.858</b>
Bodenaushub	1.390.079	0,32		0,68	444.825		945.254

<sup>1</sup> Koeffizient stoffliche Verwertung

<sup>2</sup> Koeffizient thermische Verwertung

<sup>3</sup> Koeffizient Deponie

Laut Tabelle 9-81 werden auf Basis des [AWK – Wien 2002] in Szenario 1 vom stofflich verwerteten Abbruchholz 8.005 t in der Spanplattenindustrie und ca. 1.400 t in einem Wiener Altholzsägewerk verwertet. Die stoffliche Verwertung des Bauschutts findet hauptsächlich im Tiefbau statt. Vom Betonabbruch werden ca. 90 % im Tiefbau (66.563 t) und ca. 10 % wieder zur Herstellung von Beton in der Baustoffproduktion (7.396 t) verwertet. Stahl wird in der Regel zu 100 % verwertet. Die Baustellenabfälle werden zu je 20 % in der Müllverbrennung thermisch und im Tiefbau stofflich verwertet (je 2.692 t), 60 % gehen in die Deponie (8.076 t).

Für die Szenarien 2 und 3 werden die gleichen Transferkoeffizienten laut [AWK – Wien 2002] wie für den Ist-Stand verwendet, um die Vergleichbarkeit zu bewahren. Für das Beispiel Holz wird später noch beispielhaft vorgeführt, wie sich verschiedene Verwertungswege auswirken.

Tabelle 9-82: Zielprozesse der sortierten Baurestmassen und Baustellenabfälle für Szenario 2.

Bezeichnung AWK	Output 2001 [t]	Koeffizient <sup>1</sup>	Koeffizient <sup>2</sup>	Koeffizient <sup>3</sup>	Ziel Stoffliche Verwertung [t]	Ziel Thermische Verwertung [t]	Ziel Deponie [t]
Bau- und Abbruchholz	31.920	0,34	0,66	0,00	10.882	21.038	-
Bauschutt	365.840	0,15	0	0,85	54.876	-	310.964
Betonabbruch	79.640	0,90	0,00	0,10	71.676	-	7.964
Eisen- und Stahl	4.023	1,00	0,00	0,00	4.023	-	-
Baustellenabfälle	14.020	0,20	0,20	0,60	2.804	2.804	8.412
<b>Summe</b>	<b>495.443</b>				<b>144.261</b>	<b>23.842</b>	<b>327.340</b>
Bodenaushub	1.390.079	0,32		0,68	444.825		945.254

<sup>1</sup> Koeffizient stoffliche Verwertung

<sup>2</sup> Koeffizient thermische Verwertung

<sup>3</sup> Koeffizient Deponie

Laut Tabelle 9-82 werden in Szenario 2 vom stofflich verwerteten Abbruchholz 9.382 t in der Spanplattenindustrie und ca. 1.500 t in einem Wiener Altholzsägewerk verwertet. Die stoffliche Verwertung des Bauschutts findet hauptsächlich im Tiefbau statt, der Großteil landet aber auf der Deponie. Vom Betonabbruch werden ca. 90 % im Tiefbau (64.508 t) und ca. 10 % wieder zur Herstellung von Beton in der Baustoffproduktion (7.168 t) verwertet. Stahl wird in der Regel zu 100 % verwertet. Die Baustellenabfälle werden zu je 20 % in der Müllverbrennung thermisch und im Tiefbau stofflich verwertet (je 2.804 t), 60 % gehen in die Deponie (8.412 t).

Tabelle 9-83: Zielprozesse der sortierten Baurestmassen und Baustellenabfälle für Szenario 3.

Bezeichnung AWK	Output 2001 [t]	Koeffizient <sup>1</sup>	Koeffizient <sup>2</sup>	Koeffizient <sup>3</sup>	Ziel Stoffliche Verwertung [t]	Ziel Thermische Verwertung [t]	Ziel Deponie [t]
Bau- und Abbruchholz	38.347	0,34	0,66	0,00	13.073	25.274	-
Bauschutt	363.603	0,15	0	0,85	54.540	-	309.063
Betonabbruch	67.296	0,90	0,00	0,10	60.566	-	6.730
Eisen- und Stahl	3.585	1,00	0,00	0,00	3.585	-	-
Baustellenabfälle	16.211	0,20	0,20	0,60	3.242	3.242	9.726
<b>Summe</b>	<b>489.042</b>				<b>135.007</b>	<b>28.516</b>	<b>325.519</b>
Bodenaushub	1.390.079	0,32		0,68	444.825		945.254

<sup>1</sup> Koeffizient stoffliche Verwertung

<sup>2</sup> Koeffizient thermische Verwertung

<sup>3</sup> Koeffizient Deponie

Laut Tabelle 9-83 werden in Szenario 3 vom stofflich verwerteten Abbruchholz 11.573 t in der Spanplattenindustrie und ca. 1.500 t in einem Wiener Altholzsägewerk verwertet. Die stoffliche Verwertung des Bauschutts findet hauptsächlich im Tiefbau statt, der Großteil landet aber auf der Deponie. Vom Betonabbruch werden ca. 90 % im Tiefbau (60.566 t) und ca. 10 % wieder zur Herstellung von Beton in der Baustoffproduktion (6.730 t) verwertet. Stahl wird in der Regel zu 100 % verwertet. Die Baustellenabfälle werden zu je 20 % in der Müll-

verbrennung thermisch und im Tiefbau stofflich verwertet (je 3.242 t), 60 % gehen in die Deponie (9.726 t).

Dadurch ergeben sich folgende Umweltwirkungen:

Tabelle 9-84: Umweltwirkungen des Prozesses Sammlung und Sortierung, Szenario 1.

Szenario 1	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Transport Bodenaushub	1.261.248	77.480.490	4.651.899	76.380
Sammlung & Sortierung	417.066	24.823.929	1.493.615	25.615
	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
Transport Bodenaushub	1	66	3,93	0,06
Sammlung & Sortierung	0,35	21	1,26	0,02
	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Transport Bodenaushub	0,75	918	35.482	6.042
Sammlung & Sortierung	0,24	313	11.282	1.913
	ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
Transport Bodenaushub	0,00	0,00	0,03	0,01
Sammlung & Sortierung	0,00	0,00	0,01	0,00

Tabelle 9-85: Umweltwirkungen des Prozesses Sammlung und Sortierung, Szenario 2.

Szenario 2	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Transport Bodenaushub	1.261.248	77.480.490	4.651.899	76.380
Sammlung & Sortierung	421.491	25.000.171	1.504.596	25.927
	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
Transport Bodenaushub	1	66	3,93	0,06
Sammlung & Sortierung	0,36	21	1,27	0,02
	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Transport Bodenaushub	0,75	918	35.482	6.042
Sammlung & Sortierung	0	317	11.352	1.925
	ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
Transport Bodenaushub	0,00	0,00	0,03	0,01
Sammlung & Sortierung	0,00	0,00	0,01	0,00

Tabelle 9-86: Umweltwirkungen des Prozesses Sammlung und Sortierung, Szenario 2.

Szenario 3	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Transport Bodenaushub	1.261.248	77.480.490	4.651.899	76.380
Sammlung & Sortierung	428.195	25.243.690	1.519.922	26.409
	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
Transport Bodenaushub	1	66	3,93	0,06
Sammlung & Sortierung	0,36	21	1,29	0,02
	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Transport Bodenaushub	0,75	918	35.482	6.042
Sammlung & Sortierung	0	324	11.446	1.939
	ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
Transport Bodenaushub	0,00	0,00	0,03	0,01
Sammlung & Sortierung	0,00	0,00	0,01	0,00

Die Zielprozesse des Prozesses „Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung“ sind die Verwertungsprozesse in der Baumaterialproduktion (Export aus dem System), der Prozess „Tiefbau“ (stoffliche Verwertung), der Prozess „Kraft – Wärme – Kopplung Wien“ (thermische Verwertung von Abbruchholz mit Energieerzeugung), der Prozess „Müllverbrennung“ (thermische Verwertung der brennbaren Baustellenabfälle in den Wiener Müllverbrennungsanlagen) und der Prozess „Deponie“ (Deponierung der nicht verwerteten Baurestmassen und Baustellenabfälle sowie der Verbrennungsreste der Verbrennungsprozesse).

#### 9.6.4.8 Prozess Tiefbau

Herkunftsprozess ist die „Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung“, folgende Fraktionen gelangen in den Tiefbau:

Tabelle 9-87: Inputgüter aus dem Herkunftsprozess „Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung“ in den Prozess „Tiefbau“.

	Input Szenario 1 [t]	Input Szenario 2 1 [t]	Input Szenario 3 1 [t]
Bauschutt	55.335	54.876	54.540
Betonabbruch	66.563	64.508	54.510
Baustellenabfälle	2.692	2.804	3.242
<b>Zwischensumme</b>	<b>124.590</b>	<b>122.188</b>	<b>112.292</b>
Bodenaushub	444.825	444.825	444.825
<b>Summe</b>	<b>569.415</b>	<b>567.013</b>	<b>557.118</b>

Die Materialien werden für verschiedene Anwendungen im Tiefbau verwendet und dort in das Lager des Tiefbaues eingebaut. Die daraus entstehenden Umweltwirkungen werden, da sie dem System des Tiefbaues zuzurechnen sind, in die Bewertung nicht aufgenommen. Es werden dadurch Umweltbelastungen durch sonstige Entsorgungsprozesse (Deponie) substituiert und Deponieraum wird geschont.

#### 9.6.4.9 Stoffliche Verwertung außerhalb des Systems

Herkunftsprozess ist die „Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung“, folgende Fraktionen gelangen in die stoffliche Verwertung außerhalb des Systems:

Tabelle 9-88: Exportgüter aus dem Herkunftsprozess „Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung“ in die Prozesse der stofflichen Verwertung außerhalb des betrachteten Systems.

	Zielprozess - Verwertung	Szenario 1 [t]	Szenario 2 [t]	Szenario 3 [t]
Bau- und Abbruchholz	Spanplattenindustrie	8.005	9.382	11.573
Bau- und Abbruchholz	Sägewerk Schuh – Möbel, Böden	1.413	1.500	1.500
Betonabbruch	Betonproduktion	7.396	7.168	6.057
Eisen- und Stahl	Stahlproduktion	4.256	4.023	3.585
<b>Summe</b>	<b>Exporte</b>	<b>21.070</b>	<b>22.073</b>	<b>22.714</b>

Die Größenordnung dieser stofflich im verwerteten Baurestmassen beträgt ca. 1 % des Inputs in den Errichtungsprozess. Daher hätte eine Berücksichtigung des möglichen Substitutionspotentials von Primärressourcen durch die Verwendung von Sekundärressourcen keine großen Auswirkungen auf das Gesamtergebnis. Am Beispiel Holz wird aber später noch eine Variantenstudie für verschiedene Entsorgungs- und Verwertungswege und die damit verbundenen Potentiale gezeigt (Kapitel 11). Im Rahmen der Interpretation des Güterflussbildes wird das Sekundärressourcenpotential allerdings qualitativ bewertet und entsprechende Schlussfolgerungen werden gezogen.

#### 9.6.4.10 Prozess Deponie

Herkunftsprozess ist die „Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung“, folgende Fraktionen gelangen in die Deponie:

Tabelle 9-89: Inputgüter aus dem Herkunftsprozess „Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung“ in den Prozess „Deponie“.

Material	Input Szenario 1 [t]	Input Szenario 2 [t]	Input Szenario 3 [t]
Bauschutt	313.564	310.964	309.063
Betonabbruch	8.218	7.964	6.730
Baustellenabfälle	8.076	8.412	9.726
<b>Zwischensumme</b>	<b>329.858</b>	<b>327.340</b>	<b>325.519</b>
Bodenaushub	945.254	945.254	945.254
<b>Summe</b>	<b>1.604.969</b>	<b>1.599.933</b>	<b>1.596.291</b>

In der Deponie werden die in den Deponiekörper eingebauten Materialien dauerhaft gelagert. Daraus entstehen folgende Umweltwirkungen:

Tabelle 9-90: Umweltwirkung des Prozesses Deponie für Szenario 1.

Szenario 1	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Deponie Baumaterial	704.124	67.548.784	2.465.190	502.406
Deponie Bodenaushub	2.017.767	193.570.636	7.064.353	1.439.716
	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
Deponie Baumaterial	0,60	57	2,09	0,42
Deponie Bodenaushub	1,71	163,72	5,97	1,22
	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Deponie Baumaterial	0,72	735	38.465	6.698
Deponie Bodenaushub	2,07	2.107	110.226	19.194
	ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
Deponie Baumaterial	6,11E-07	6,22E-04	0,03	0,01
Deponie Bodenaushub	1,75E-06	1,78E-03	0,09	0,02

Tabelle 9-91: Umweltwirkung des Prozesses Deponie für Szenario 2.

Szenario 2	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Deponie Baumaterial	698.750	67.033.218	2.446.375	498.571
Deponie Bodenaushub	2.017.767	193.570.636	7.064.353	1.439.716
	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
Deponie Baumaterial	0,59	57	2,07	0,42
Deponie Bodenaushub	1,71	163,72	5,97	1,22
	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Deponie Baumaterial	0,72	730	38.171	6.647
Deponie Bodenaushub	2,07	2.107	110.226	19.194
	ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
Deponie Baumaterial	6,06E-07	6,17E-04	0,03	0,01
Deponie Bodenaushub	1,75E-06	1,78E-03	0,09	0,02

Tabelle 9-92: Umweltwirkung des Prozesses Deponie für Szenario 3.

Szenario 3	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Deponie Baumaterial	694.862	66.660.262	2.432.764	495.797
Deponie Bodenaushub	2.017.767	193.570.636	7.064.353	1.439.716
	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
Deponie Baumaterial	0,59	56	2,06	0,42
Deponie Bodenaushub	1,71	163,72	5,97	1,22
	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Deponie Baumaterial	0,71	726	37.959	6.610
Deponie Bodenaushub	2,07	2.107	110.226	19.194
	ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
Deponie Baumaterial	6,03E-07	6,14E-04	0,03	0,01
Deponie Bodenaushub	1,75E-06	1,78E-03	0,09	0,02

Es gibt keinen weiteren Zielprozess, die Emissionen aus der Deponie in die Umwelt sind in den Umweltwirkungen enthalten.

### 9.6.4.11 Prozess Müllverbrennung

Herkunftsprozess ist die „Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung“, folgende Fraktionen gelangen in die Müllverbrennung:

Tabelle 9-93: Inputgüter aus dem Herkunftsprozess „Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung“ in den Prozess „Müllverbrennungsanlage“.

	Input Szenario 1	Input Szenario 2	Input Szenario 3
Dämm- und Kunststoffe	1.560	1.926	2.448
Hausmüllähnliche Abfälle	1.132	878	794
Summe	2.692	2.804	3.242



Es wird angenommen, dass die thermische Verwertung in Wien in den Müllverbrennungsanlagen statt findet. Etwaige Exporte von beispielsweise Kunststoffen aus Wien hinaus, etwa zu Verbrennungsanlagen in der Zementindustrie, wurden nicht untersucht.

Aus der Verbrennung in der Müllverbrennungsanlage ergeben sich folgende Umweltwirkungen:

Tabelle 9-94: Umweltwirkungen des Prozesses Müllverbrennung für Szenario 1.

Szenario 1	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Müllverbrennung	87.338	1.556.418	5.049.386	3.598
	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
Müllverbrennung	0,07	1,32	4,27	0,003
	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Müllverbrennung	0,01	35	1.346	416
	ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
Müllverbrennung	7,27E-09	3,00E-05	1,14E-03	3,52E-04

Tabelle 9-95: Umweltwirkungen des Prozesses Müllverbrennung für Szenario 2.

Szenario 2	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Müllverbrennung	98.155	1.697.638	5.595.993	3.763
	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
Müllverbrennung	0,08	1,44	4,73	0,003
	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Müllverbrennung	0	38	1.434	408
	ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
Müllverbrennung	7,70E-09	3,20E-05	1,21E-03	3,45E-04

Tabelle 9-96: Umweltwirkungen des Prozesses Müllverbrennung für Szenario 3.

Szenario 3	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Müllverbrennung	118.778	2.019.166	6.718.035	4.363
	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
Müllverbrennung	0,10	1,71	5,68	0,004
	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Müllverbrennung	0	44	1.683	452
	ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
Müllverbrennung	8,99E-09	3,75E-05	1,42E-03	3,83E-04

Die Emissionen aus der Müllverbrennung werden in die Umwelt emittiert, die festen Verbrennungsrückstände (Schlacken, Asche, Filterkuchen) werden der Deponie zugeführt bzw. teilweise zur Weiterbehandlung zu geeigneten Anlagen exportiert. Die genauen Daten dafür wurden, da die Mengen für alle Szenarien nahezu gleich groß sind und die anfallenden Mengen nicht bedeutend sind, nicht quantifiziert. Ebenfalls nicht in die Bewertung aufgenommen wurde die beim Verbrennungsprozess produzierte Energie.

#### 9.6.4.12 Prozess Thermische Verwertung – Kraft – Wärme – Kopplung

Herkunftsprozess ist die „Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung“.

Eine Systemerweiterung um diesen Prozess ist notwendig, um die Substitution von fossilen Energieträgern durch die energetische Nutzung von Holz in der Kohlenstoffbilanz aufnehmen zu können. In Wien wurden 2001 für die Produktion von 3.254.585 Mwh Fernwärme 11.242 t Heizöl und 126,4 Mio. Normkubikmeter Erdgas eingesetzt [MA 66 2002]. Für diese Studie wird vereinfacht angenommen, dass in Szenario 1 sämtliches für die thermische Verwertung in Wien anfallende Bau- und Abbruchholz in Wien für die Erzeugung von Fernwärme eingesetzt wird. Bei der Recherche wurde nur verfügbare Literatur verwendet. Die Menge an stoff-

lich bzw. thermisch zu verwertenden Altholz ist vertraglich festgelegt [AWK – Wien 2002]. Zur Überprüfung der Annahme, ob die thermische Verwertung tatsächlich in Wien oder an möglicherweise weit entfernten Orten mit entsprechenden Transportdistanzen von statten geht, müsste aber eine Befragung der meist privaten Abbruchholzsammelfirmen durchgeführt werden, was im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich war. Auch die sich eigens mit dieser Frage auseinander setzenden Studie von Pieringer und Fischer [2003] kam zu keinem befriedigenden Ergebnis, da die Auskunftsbereitschaft der damit befassten Organisationen nicht sehr entgegenkommend war. Für die in den Szenarien 2 und 3 anfallenden höheren Altholzmengen wird angenommen, dass zuerst bis maximal 11.200 t Heizöl substituiert wird, danach Erdgas mit entsprechend geringerer Substitution fossiler CO<sub>2</sub> - Emissionen.

Für die drei Szenarien ergeben sich somit folgende Inputmengen an thermisch zu verwertenden Bau- und Abbruchholz in Kraft – Wärme Kopplungskraftwerken, wobei die technischen Daten wie Wirkungsgrad etc. aus Ecoinvent 2000 laut [Dones et al. 2004] entnommen wurden:

Tabelle 9-97: Inputmengen an Bau- und Abbruchholz in den Prozess „Kraft – Wärmekopplung Wien“, substituiertes Heizöl und erzeugte Energie für Fernwärme für die drei Szenarien.

Szenario 1		Einheit	Wirkungsgrad	Unterer Heizwert	Heizwert atro	Energie [MJ]
Input Holz	18.207.150	[kg] atro	0,89	19,10		309.503.350
Erdöl substituiert	8.428.281	[kg]	0,86	42,7		309.503.350
Szenario 2		Einheit	Wirkungsgrad	Unterer Heizwert	Heizwert atro	Energie [MJ]
Input Holz	21.038.397	[kg] atro	0,89	19,10		357.631.712
Erdöl substituiert	9.738.895	[kg]	0,86	42,7		357.631.712
Szenario 3		Einheit	Wirkungsgrad	Unterer Heizwert	Heizwert atro	Energie [MJ]
Input Holz	25.274.236	[kg] atro	0,89	19,10		429.636.733
Erdöl substituiert	11.699.710	[kg]	0,86	42,7		429.636.733

Daraus ergeben sich folgende Umweltwirkungsdaten für Szenario 1:

Tabelle 9-98: Umweltwirkungen des Prozesses „Thermische Verwertung Kraft – Wärmekopplung“ unter Berücksichtigung der Heizölsubstitution für Szenario 1.

Szenario 1	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Aufbereitung & Verbrennung	344.570.902	6.636.892	35.252.310	3.292
Heizöl substituiert	-1.665.502	-460.624.119	-31.344.412	-62.912
<b>Summe</b>	<b>342.905.399</b>	<b>-453.987.227</b>	<b>3.907.898</b>	<b>-59.620</b>
	KEA e [MJ/m <sup>2</sup> ]	KEA ne [MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
Aufbereitung & Verbrennung	291	5,61	29,82	0,003
Heizöl substituiert	-1,41	-389,59	-26,51	-0,053
<b>Summe</b>	<b>290</b>	<b>-384</b>	<b>3,31</b>	<b>-0,050</b>
	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Aufbereitung & Verbrennung	0,04	361	23.278	8.610
Heizöl substituiert	-3,87	-4.029	-78.571	-7.716
<b>Summe</b>	<b>-3,84</b>	<b>-3.667</b>	<b>-55.293</b>	<b>894</b>
	ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
Aufbereitung & Verbrennung	3,31E-08	0,00	0,02	0,007
Heizöl substituiert	-3,28E-06	-0,00	-0,07	-0,007
<b>Summe</b>	<b>-3,24E-06</b>	<b>-0,00</b>	<b>-0,05</b>	<b>0,001</b>

Die Umweltwirkungsdaten für Szenario 2 sind:

Tabelle 9-99: Umweltwirkungen des Prozesses „Thermische Verwertung Kraft – Wärmekopplung“ unter Berücksichtigung der Heizölsubstitution für Szenario 2.

Szenario 2	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Aufbereitung & Verbrennung	398.152.334	7.668.942	40.734.111	3.803
Heizöl substituiert	-1.924.491	-532.252.048	-36.218.528	-72.695
<b>Summe</b>	<b>396.227.843</b>	<b>-524.583.107</b>	<b>4.515.583</b>	<b>-68.891</b>
	KEA e [MJ/m <sup>2</sup> ]	KEA ne [MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
Aufbereitung & Verbrennung	337	6,49	34,45	0,003
Heizöl substituiert	-1,63	-450,17	-30,63	-0,061
<b>Summe</b>	<b>335</b>	<b>-444</b>	<b>3,82</b>	<b>-0,058</b>
	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Aufbereitung & Verbrennung	0,045	417	26.897	9.949
Heizöl substituiert	-4,477	-4.655	-90.789	-8.915
<b>Summe</b>	<b>-4,432</b>	<b>-4.238</b>	<b>-63.891</b>	<b>1.033</b>
	ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
Aufbereitung & Verbrennung	3,83E-08	3,53E-04	0,02	0,01
Heizöl substituiert	-3,79E-06	-3,94E-03	-0,08	-0,01
<b>Summe</b>	<b>-3,75E-06</b>	<b>-3,58E-03</b>	<b>-0,05</b>	<b>0,00</b>

Die Umweltwirkungsdaten für Szenario 3 sind:

Tabelle 9-100: Umweltwirkungen des Prozesses „Thermische Verwertung Kraft – Wärmekopplung“ unter Berücksichtigung der Heizölsubstitution für Szenario 3.

Szenario 3	KEA e [MJ]	KEA ne [MJ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ.]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /a]
Aufbereitung & Verbrennung	478.315.716	9.212.994	48.935.454	4.569
Heizöl substituiert	-2.311.965	-639.414.861	-43.510.711	-87.331
<b>Summe</b>	<b>476.003.751</b>	<b>-630.201.867</b>	<b>5.424.744</b>	<b>-82.762</b>
	KEA e [MJ/m <sup>2</sup> ]	KEA ne [MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	Landverbrauch [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]
Aufbereitung & Verbrennung	405	7,79	41,39	0,004
Heizöl substituiert	-1,96	-540,81	-36,80	-0,074
<b>Summe</b>	<b>403</b>	<b>-533</b>	<b>4,59</b>	<b>-0,070</b>
	ODP [kgR-11equ.]	POCP [kg Ethylen equ.]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ.]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ.]
Aufbereitung & Verbrennung	0,054	502	32.313	11.952
Heizöl substituiert	-5,38	-5.592	-109.068	-10.710
<b>Summe</b>	<b>-5,32</b>	<b>-5.091</b>	<b>-76.755</b>	<b>1.242</b>
	ODP [kgR-11equ./m <sup>2</sup> ]	POCP [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	AP [kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	NP [kgPO <sub>4</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
Aufbereitung & Verbrennung	4,60E-08	4,24E-04	0,03	0,01
Heizöl substituiert	-4,55E-06	-4,73E-03	-0,09	-0,01
<b>Summe</b>	<b>-4,50E-06</b>	<b>-4,31E-03</b>	<b>-0,06</b>	<b>0,00</b>

## 10 Bewertung – Ergebnisse der Fallstudie Wien

Im nachfolgenden Kapitel werden die drei Szenarien nach den in Kapitel 8.4 beschriebenen Indikatoren bewertet. Die Ergebnisse beziehen sich auf die funktionale Einheit von 1.182.339 m<sup>2</sup> Wohn- und Büronutzfläche, welche 2001 in Wien laut Statistik Austria [2003] errichtet wurden. Es werden die Ergebnisse sowohl für die Gesamtfläche als auch für einen Quadratmeter Nutzfläche dargestellt. Damit wird ein Referenzwert, welcher für die einzelnen Szenarien den durchschnittlichen Wohn- und Bürobau in Wien repräsentiert, als Vergleichsgröße zur Bewertung von Einzelobjekten geschaffen.

### 10.1 Güter- und Stoffflüsse

Im Jahr 2001 wurden für den Büro- und Wohnbau für das betrachtete System für Szenario 1 (Abbildung 10-1) über 2,25 Mio. Tonnen an Baumaterialien, für Szenario 2 (Abbildung 10-2) ca. 1,94 Mio. Tonnen und für Szenario 3 (Abbildung 10-3) rund 1,35 Mio. Tonnen an Baumaterialien aus dem Hinterland nach Wien transportiert (Tabelle 10-1).

Tabelle 10-1: Baumaterialmengen für die drei Szenarien zusammengefasst in die wichtigsten Materialgruppen.

Material	Szenario 1 [t]	Anteil [%]	Szenario 2 [t]	Anteil [%]	Szenario 3 [t]	Anteil [%]
Holz u. Holzwerkstoffe	25.827	1,14	89.748	4,62	178.406	13,19
Beton, Estrich	1.855.991	82,24	1.543.804	79,50	899.316	66,48
Stahl	53.481	2,37	44.824	2,31	27.859	2,06
Ziegel	90.601	4,01	40.064	2,06	13.311	0,98
Sonstige mineralisch	213.913	9,48	202.065	10,41	206.621	15,28
Dämm- u. Kunststoffe	9.467	0,42	13.833	0,71	19.717	1,46
Verpackungen etc.	7.440	0,33	7.440	0,38	7.440	0,55
<b>Summe</b>	<b>2.256.719</b>	<b>100</b>	<b>1.941.778</b>	<b>100</b>	<b>1.352.671</b>	<b>100</b>

Verbunden mit diesen Materialimporten aus dem Hinterland ist ein Ressourcenverbrauch für die Gewinnung der Rohstoffe und die Produktion der Baumaterialien. Dieser Ressourcenverbrauch mit den damit verbundenen Aktivitäten wird in dieser Studie mit der Datenbank Ecoinvent 2000 erfasst.

Eine weitere leicht in dieses System integrierbare Möglichkeit der Berechnung der Materialintensität im Hinterland wäre die Berechnung der ökologischen Rucksäcke mittels der MIPS-Methode [Schmidt-Bleek 1994]. Die in Diskussion befindliche ISO DIS 21930 (Stand September 2005) sieht die Einbeziehung der Materialintensität in Form der Angabe des Verbrauches von erneuerbaren und nicht erneuerbaren Materialien ebenfalls vor. Im Anhang befindet sich eine Kurzbeschreibung dieser Methode sowie der Link zum Download der MIPS - Werte. Durch die Verknüpfung des in die Stadt Wien fließenden Inputs an Baumaterialien für jedes der drei Szenarien mit den jeweils passenden MIPS – Werten kann die Materialintensität der Versorgung des Wiener Wohn- und Bürobaues errechnet werden.

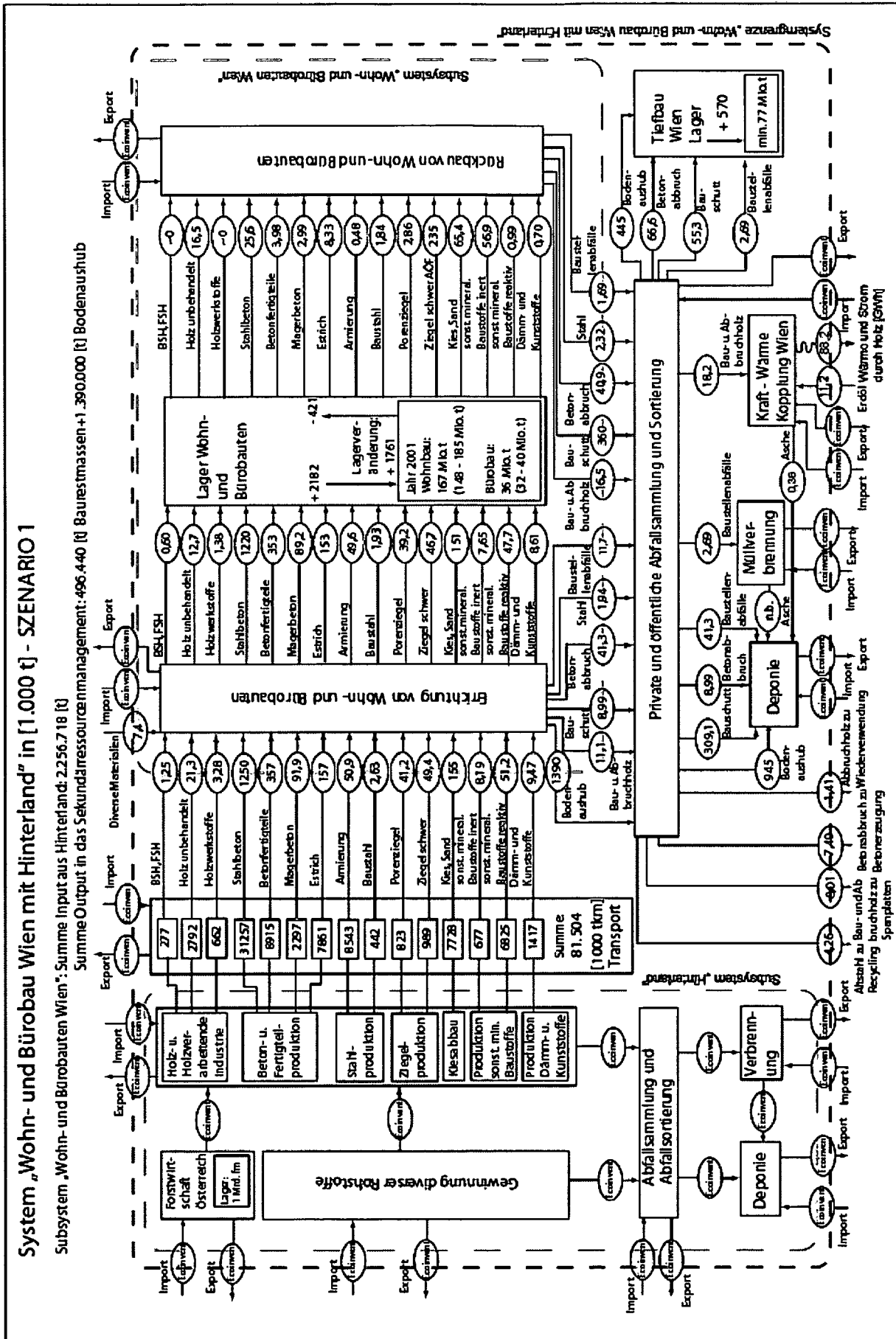


Abbildung 10-1: System „Wohn- und Bürobau Wien mit Hinterland“ in [1.000 t] – Szenario 1 (Ist – Stand 2001)

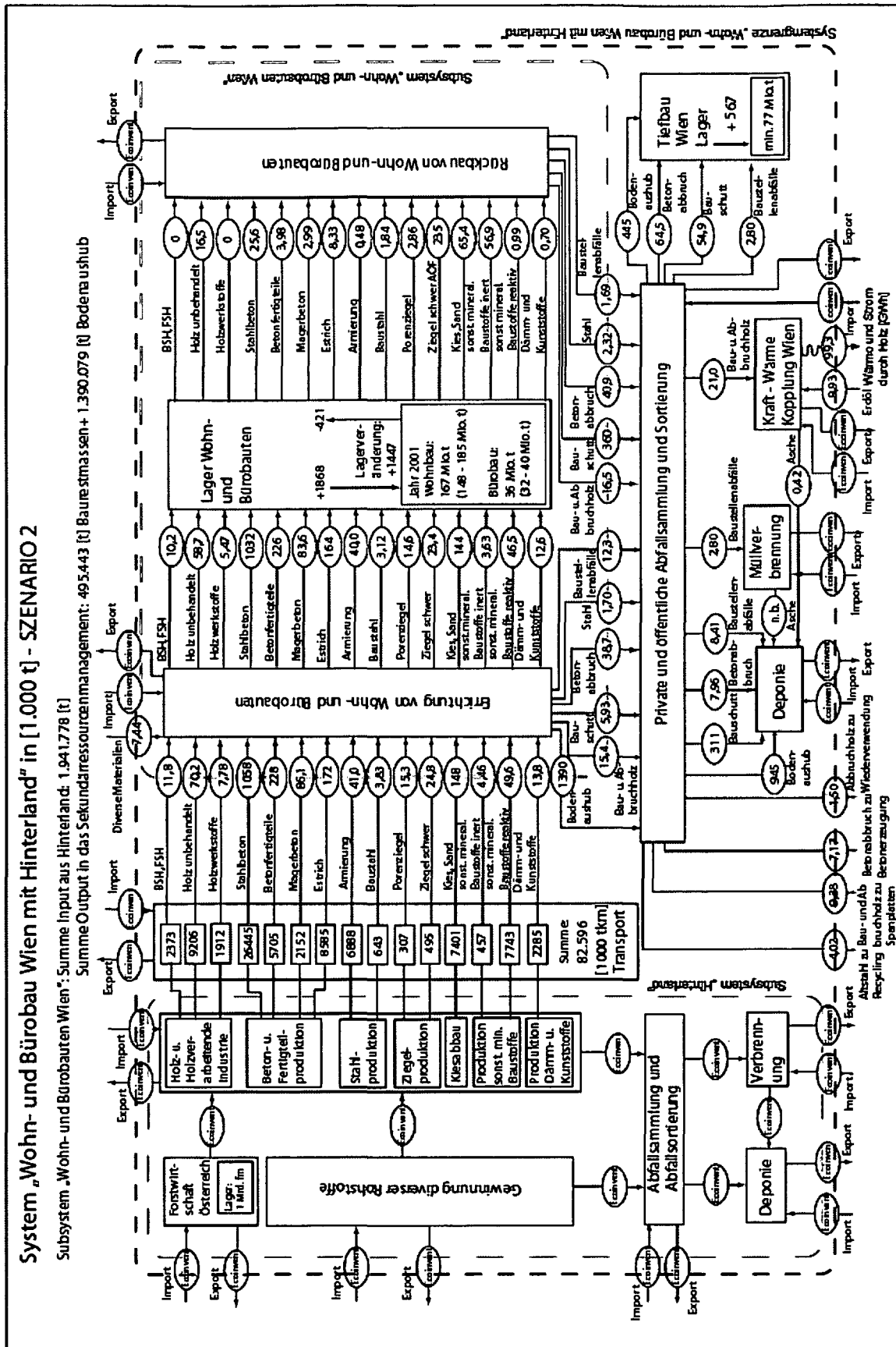


Abbildung 10-2: System „Wohn- und Bürobau Wien mit Hinterland“ in [1.000 t] – Szenario 1 (Maximale Verwendung von Holz gemäß Bauordnung 2001)

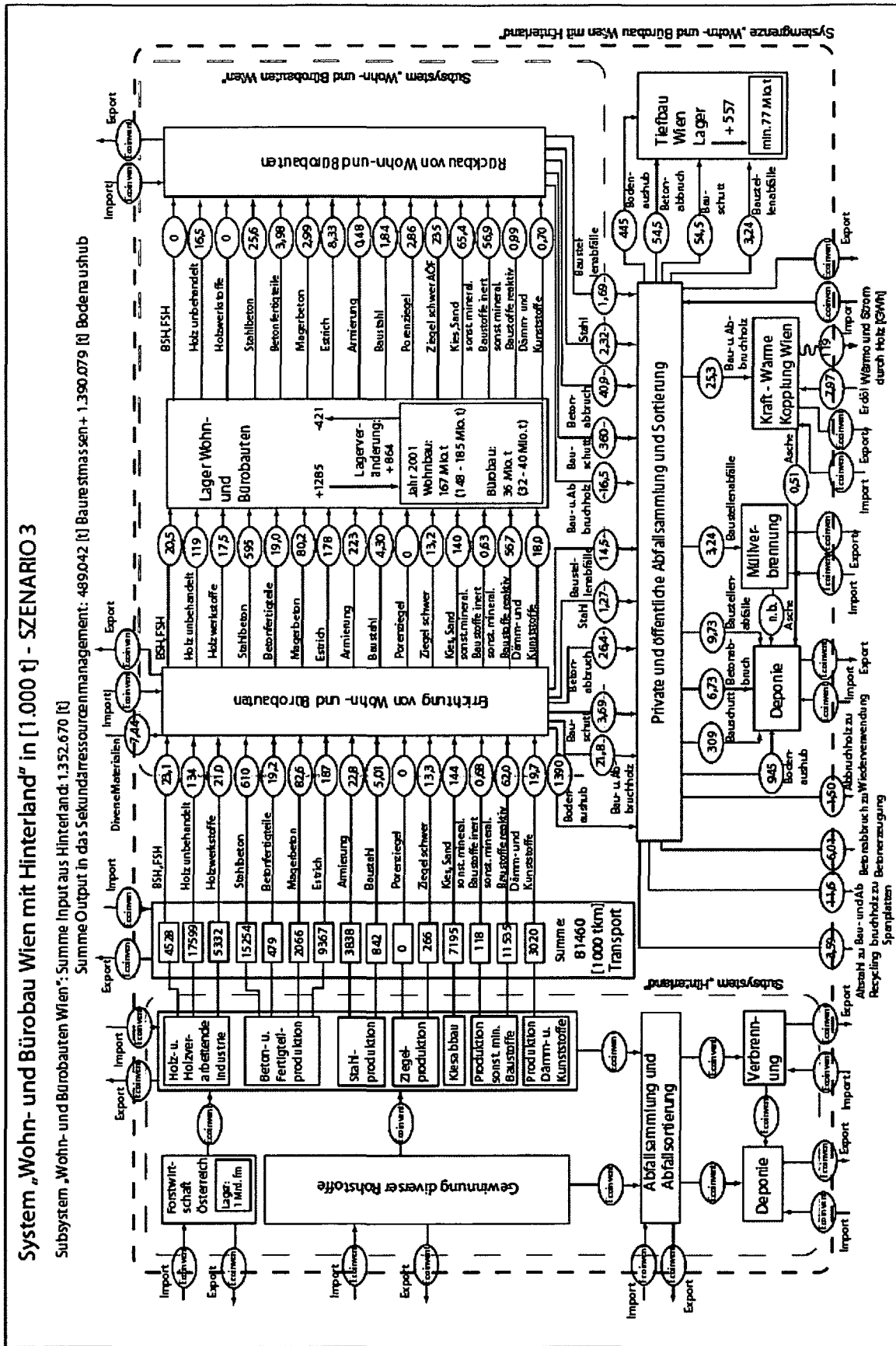


Abbildung 10-3: System „Wohn- und Bürobau Wien mit Hinterland“ in [1.000 t] – Szenario 3 (Alles aus Holz(misch)Bauweisen 2001)

Wie die Bewertung in den nachfolgenden Kapiteln zeigt, finden die Prozesse mit den bedeutendsten Umweltwirkungen außerhalb der zu versorgenden Region im Hinterland statt. Um die drei Szenarien vergleichbar zu halten, wurde für alle drei Szenarien angenommen, dass die Baumaterialproduktion für Wien jeweils in jenen großen Produktionsbetrieben von statten geht, welche der Stadt möglichst nahe sind.

**Szenario 1** und damit der Ist – Stand zeigt eine Dominanz des Baustoffes Beton und Betonprodukte, welche über 82 % der Massenflüsse verursachen. Es folgen die sonstigen mineralischen Baustoffe mit ca. 9,5 % Massenanteil, wobei hier wiederum der Großteil Sand und Kies (ungebundene Anwendungen wie Schüttungen, Frostkoffer usw.) sind. Weitere bedeutende Anteile sind Gipskartonplatten sowie Mauermörtel und Verputz. Ziegel haben einen Anteil von ca. 4 % der Masse, Stahl ca. 2,37 % und Holz ca. 1,14 %. Der Rest sind ca. 0,42 % Dämm- und Kunststoffe sowie ca. 0,33 % an diversen Materialien wie Verpackungen, welche auf der Baustelle als Abfall anfallen.

Für **Szenario 2** werden aufgrund des höheren Anteils der leichteren Holzbauweisen um knapp 315.000 t weniger an Baumaterialien nach Wien transportiert als bei Szenario 1. Holzbauweisen im Bereich der zwei- bis fünfgeschossigen Gebäude substituieren aufgrund der getroffenen Annahmen hauptsächlich Ziegelbauweisen (ca. 50.000 t bzw. Reduktion des Ziegelverbrauchs um über 55 %), aber auch Betonbauweisen (über 312.000 t bzw. Reduktion des Betonverbrauchs um knapp 17 %). Auch Szenario 2 weist eine Betondominanz von ca. 79,5 % Massenanteil auf, es folgen die sonstigen mineralischen Baustoffe mit einem Anteil von ca. 10,4 % (relative Anteilssteigerung gegenüber Szenario 1 um 1 % bei gleichzeitiger Massenreduktion um knapp 12.000 t), Stahl bleibt bei einem Anteil von 2,3 % annähernd konstant (allerdings über 8.500 t Massenreduktion), der Ziegelanteil schrumpft auf knapp über 2 % und der Bedarf an Holz und Holzwerkstoffen steigt auf einen Massenanteil von über 4,6 % (knapp 64.000 t Mehrbedarf an Holztrockenmasse bzw. fast eine Vervierfachung des Holzbedarfs). Der Bedarf an Dämm- und Kunststoffen steigt auf einen Anteil von über 0,71 % bzw. knapp 4.500 t, was zum einen damit zu tun hat, dass die substituierten Porenziegel einen Teil der Dämmfunktion übernommen haben, welcher jetzt von zusätzlichen Dämmstoffen erfüllt werden muss. Weiters benötigen die gewählten Holzbauweisen einen höheren Bedarf an Holzwoolleichtbauplatten, also schwereren Dämmstoffen mit höherem Wärmespeicherpotential, und an Kunststoffen. Der Anteil der Verpackungs- und sonstigen Materialien, welcher massenmäßig für alle drei Szenarien als konstant angenommen wird, steigt prozentuell dementsprechend leicht an auf ca. 0,38 %.

In **Szenario 3** wird der Büro- und Wohnbau ausschließlich in Holz(misch) - Bauweisen hergestellt, dadurch verringert sich der Baumaterialbedarf um über 900.000 t im Vergleich zu Szenario 1. Der Betonanteil bleibt aber trotzdem hoch, da sich auch die Kellerbereiche mit einem Massenanteil von über 500.000 t innerhalb des Systems befinden und außerdem wurden Bauweisen gewählt, welche entsprechend den Anforderungen des Brandschutzes teilweise aus massiven Betonteilen bestehen (Erschließungsbereiche wie Stiegenhäuser, Trennung der Brandabschnitte durch Betonwände usw.) bzw. für den urbanen Einsatz mit erhöhten Schallschutzanforderungen wurden Mischkonstruktionen wie Holz – Beton – Verbunddecken gewählt. Beton und Betonprodukte haben somit einen Massenanteil von über 66 % (eine Reduktion von über 51 % gegenüber Szenario 1 bzw. um über 956.000 t), sonstige mineralische Baustoffe steigern ihren Massenanteil auf knapp 15,3 % (allerdings gegenüber



Szenario 1 verringert sich der Bedarf um über 7.000 t), gefolgt vom Massenanteil an Holzprodukten von knapp 13,2 % (eine Versiebenfachung gegenüber Szenario 1 bzw. eine Steigerung um über 152.000 t Trockenmasse), der Stahlanteil sinkt auf knapp über 2 % (gegenüber Szenario 1 eine Verringerung um über 25.600 t), der Ziegelanteil sinkt auf unter 1 % (gegenüber Szenario 1 eine Verringerung um über 77.000 t) und der Anteil der Dämm- und Kunststoffe steigt auf knapp 1,50 % Massenanteil (gegenüber Szenario 1 eine Verdoppelung um über 10.000 t).

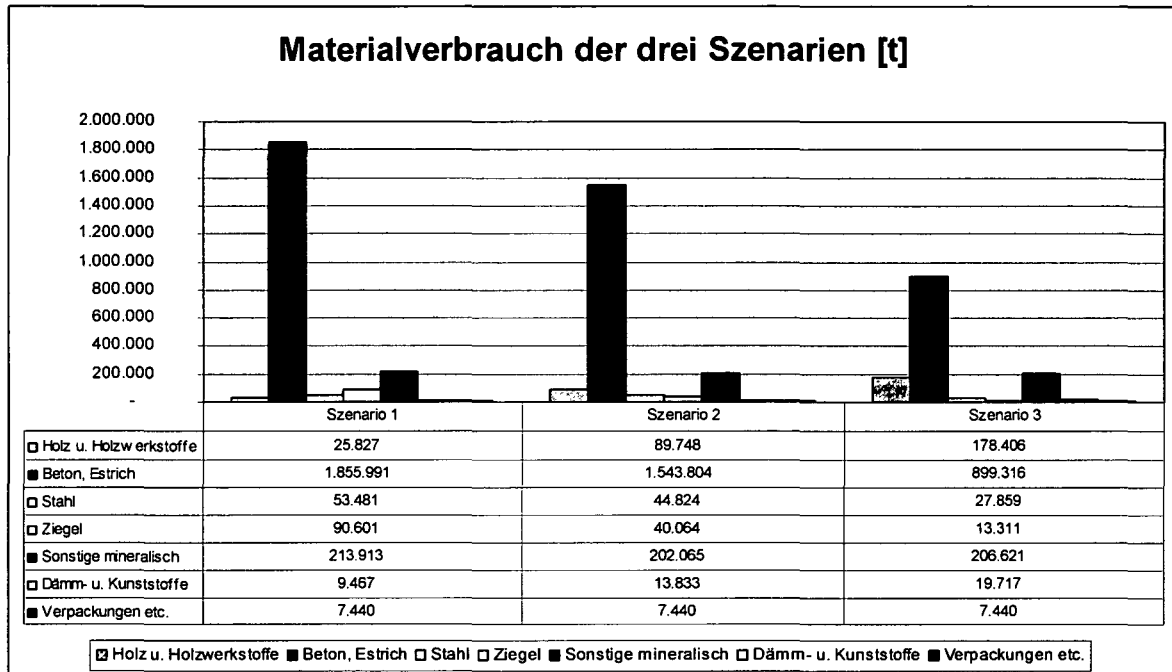


Abbildung 10-4: Materialverbrauch 2001 für den Wohn- und Bürobau in Wien 2001, Darstellung der drei Szenarien.

Bei diesen Zahlen ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich um Massenprozent handelt. Bei Betrachtung der Volumina würde sich das Bild entsprechend verschieben.

Diese Materialien müssen nach Wien transportiert werden, wobei für alle drei Szenarien die Summe der Tonnenkilometer in derselben Größenordnung liegen (Szenario 1: 81,5 Mio. tkm, Szenario 2: 82,6 Mio. tkm und Szenario 3: 81,5 Mio. tkm). Aufgrund von Markteinflüssen kann es bei den Transporten in der Realität jedoch zu großen Verschiebungen kommen, welche die Transportdistanzen tendenziell anwachsen lassen könnten.

Szenario 1 weist zwar die größte Masse der zu transportierenden Güter auf, allerdings befindet sich die Beton- und Ziegelproduktion mit den dafür notwendigen Ressourcen im unmittelbaren Umland von Wien, die Transportdistanzen für Beton, Sand, Kies und Ziegel betragen lediglich zwischen 25 und 50 km. Für die Szenarien 2 und 3 sind zwar weniger Gewichte zu transportieren, dafür sind die Transportdistanzen entsprechend größer. So liegen die Transportdistanzen für Holz und Holzwerkstoffe zwischen 70 und 300 km, für die vermehrt erforderlichen Gipsprodukte sind Distanzen von 80 – 190 km zu überwinden und die vermehrt eingesetzten Dämm- und Kunststoffe haben je nach Produkt einen Transportweg zwischen 28 und knapp 500 km zurück zu legen.

Eine Ursache der momentanen Dominanz von Betonbauweisen ist aber in Wien zweifellos die regionale Verfügbarkeit in Verbindung mit hoch entwickelten Bau- und Montagesystemen und den damit verbundenen ökonomischen Vorteilen.

Im Zuge des Errichtungsprozesses wird der Großteil der angelieferten Baumaterialien in das städtische Gebäudelager eingebaut und ein kleiner Teil fällt als Verlust, Verschnitt usw. als Abfall auf der Baustelle an (Szenario 1: ca. 96,7 % - 2,18 Mio. t - eingebaut, 3,3 % fallen als Abfälle an; Szenario 2: ca. 96,2 % - 1,87 Mio. t - eingebaut, 3,8 % fallen als Abfälle an; Szenario 3: ca. 95 % - 1,28 Mio. t - eingebaut, 5 % fallen als Abfälle an). Die Lagerentwicklung wird in der Folge noch separat betrachtet. Aus dem Abbruch- und Rückbauprozess gelangen Materialien in die Abfallwirtschaft, welche vor langer Zeit eingebaut wurden und daher Stoffe enthalten können, welche heute üblicherweise nicht mehr verwendet werden bzw. umweltschädigend sein können. Das Verhältnis von Baustellenabfällen, bestehend aus „neuen“ Materialien und „alten“ Materialien beträgt bei Szenario 1 ca. 75.000 t zu 421.000 t, bei Szenario 2 74.000 t zu 421.000 t und bei Szenario 3 67.000 t zu 421.000 t. Das zeigt einerseits, dass aktuelle Bauweisen zur Materialzusammensetzung in der Sammlung und Sortierung nur einen kleinen Einfluss haben (ca. 15 – 18 % der zu sammelnden und weiter zu verwertenden Materialien stammen von Neubauten, der Rest von Abbrüchen), und andererseits die bezüglich der Tragweite und Konsequenzen noch nicht in vollem Ausmaß in das Bewusstsein der Planer vorgedrungene simple Schlussfolgerung, dass die Materialwahl von „heute“ die Abfälle von „morgen“ bestimmt. Damit wird auch gezeigt, dass das städtische Lager im Wachsen begriffen ist.

Aus dem Errichtungsprozess kommen noch zusätzlich knapp 1,4 Mio. t an Bodenaushub in die Abfallwirtschaft.

Im Zuge der Sammlung und Sortierung werden die Materialien entweder stofflich oder thermisch verwertet oder meist auf einer Deponie entsorgt. Für diese Studie wurden die Verwertungsquoten aus dem Wiener Abfallwirtschaftskonzept [AWK 2002] übernommen und zwecks der Vergleichbarkeit für alle drei Szenarien übernommen. Änderungen der Verwertungsströme und damit verbundene Auswirkungen auf die Umwelt werden anhand des Beispiels Holz im Anschluss an die Bewertung gezeigt (siehe Kapitel 11). Damit kann auch gezeigt werden, wie man mit Hilfe des in dieser Studie erarbeiteten Ressourcenmanagementsystems planend und steuernd auf die Ressourcenflüsse zugreifen kann.

Die Verwertungsquoten in Wien sind bei Bau- und Abbruchholz 34 % stoffliche Verwertung (davon gehen knapp 85 % in die Spanplattenverwertung außerhalb Wiens, knapp 15 % werden im Wiener Sägewerk Schuh zu Möbelholz und Holz für Fußböden verarbeitet) und 66 % thermische Verwertung. In dieser Studie wird angenommen, dass alles thermisch zu verwertende Holz in Wien in einem Kraft-Wärme-Kopplungskraftwerk zur Erzeugung von Wärme und Strom eingesetzt wird. In der Praxis ist auch ein Export von bedeutenden Altholzmengen möglich, hierzu gibt es allerdings keine Literaturquellen und es herrscht zu diesem Thema generell keine Auskunftsfreudigkeit. Die Ergebnisse basieren also hinsichtlich Altholzverwertung auf einer idealisierten Annahme, welche ökologisch günstiger ist als die tatsächlich gehandhabte Praxis.

Bauschutt wird zu 15 % stofflich hauptsächlich im Tiefbau verwertet und zu 85 % deponiert, Betonabbruch wird zu 90 % stofflich verwertet und zu 10 % deponiert (vom verwerteten Be-

tonabbruch werden ca. 10 % als Zuschlagstoff für Beton verwendet, der Rest wird für diverse Hinterfüllungen im Tiefbau verwendet), alle erfassten Eisen- und Stahlabfälle werden zu 100 % stofflich verwertet, Baustellenabfälle werden zu je 20 % stofflich und thermisch verwertet, 60 % werden deponiert. Bodenaushub wird zu 32 % im Tiefbau verwertet, 68 % werden deponiert. Somit wandern ca. 570.000 t an mineralischen Abbruch- und Abfallmaterialien in das Lager des Tiefbaues, nur ein kleiner Teil wird der Frischbetonerzeugung zugeführt. Es handelt sich durchwegs um Downcycling Prozesse, da der ökonomische Wert der substituierten Primärrohstoffe wesentlich geringer ist als die für das Recycling verwendeten Ausgangsmaterialien. Bei der Berechnung der Umweltindikatoren wurde für alle Szenarien angenommen, dass die vorhandene Infrastruktur in Wien in Anspruch genommen wurde. Etwaige Abfallexporte wurden nicht recherchiert, dem steht auch das Wiener Abfallwirtschaftskonzept, welches die Entsorgungsautarkie Wiens heraus streicht, entgegen. Für die hochwertig stofflich verwerteten Holz-, Beton- und Stahlabfälle wurde nur der Transport bis zur Sortierstelle in die Berechnungen der Umweltwirkungen aufgenommen, alle weiteren Transporte und Aufbereitungen werden dem neuen Produkt aus diesen Sekundärrohstoffen zugeordnet und befinden sich somit außerhalb des betrachteten Systems.

Um die thermische Verwertung von Altholz berücksichtigen zu können, wurde der Prozess „Kraft-Wärme-Kopplung Wien“ in das System aufgenommen. 2001 wurden in Wien zur Erzeugung von Fernwärme 11.242 t Heizöl verwendet. Durch die vermehrt anfallenden Holzabfälle in den Szenarien 2 und 3 kann somit, um die selbe Menge an Energie produzieren zu können wie im Ist-Zustand Wien 2001, mehr Holz zur Energiegewinnung eingesetzt werden und damit zusätzlich Heizöl substituiert werden. In Szenario 1 werden unter den getroffenen Annahmen in der thermischen Verwertung knapp 86 GWh an Wärme und Strom aus Holz erzeugt. In Szenario 2 werden ca. 1.300 t Heizöl zusätzlich substituiert und somit 99,3 GWh an Wärme und Strom aus Holz erzeugt, in Szenario 3 werden 3.270 t an Heizöl substituiert und damit 119 GWh an Strom produziert. Die Daten für die Substitutionsrechnung stammen aus der Datenbank Ecoinvent 2001 [Frischknecht & Jungbluth 2004] für ein in der Schweiz im Betrieb befindliches modernes Kraft-Wärme-Kopplungskraftwerk mit dem hohen Wirkungsgrad von 89 %.

Die thermische Verwertung der Baustellenabfälle erfolgt in den Wiener Müllverbrennungsanlagen, die dabei gewonnene Energie wird nicht berücksichtigt. Die anfallenden Aschen aus den Verbrennungsprozessen werden in den Wiener Deponien endgelagert.

Für die drei Szenarien kann auch die zukünftige Entwicklung der Zusammensetzung der Baurestmassen für die drei Szenarien im Vergleich zum Ist-Zustand in Abbildung 10-5 gezeigt werden (siehe auch Tabelle 9-77). Die Abbildung zeigt, dass die heutige Zusammensetzung der Abbruchmaterialien von den Gründerzeitbauten geprägt ist. Dadurch sind der Holzanteil mit über 16.000 t und der Ziegelanteil (hauptsächlich Altösterreichisches Format AÖF) mit über 237.000 t pro Jahr sehr hoch. Für die Zukunft in mehr als 100 Jahren zeigt sich für die einzelnen Szenarien ein Spiegelbild der heutigen Inputmaterialien.

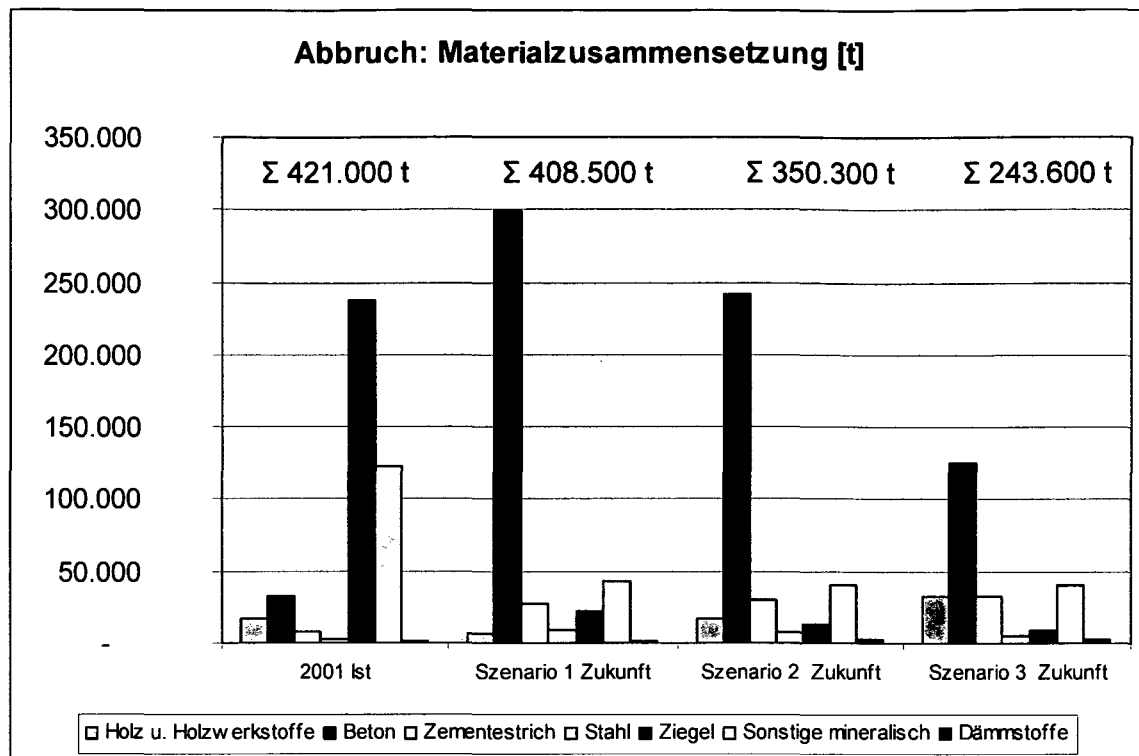


Abbildung 10-5 Materialzusammensetzung der Baurestmassen aus dem Abbruch 2001 im Vergleich zur abgeschätzten zukünftigen Zusammensetzung für die drei Szenarien

Für Szenario 1 zeigt sich eine deutliche Reduktion der Menge an Abbruchholz und die Dominanz der Betonabbruchmaterialien. Betonabbruch wird in Zukunft die massenmäßig bedeutendste Fraktion für alle Szenarien sein. Bei Szenario 2 würde die Menge an Abbruchholz von über 17.000 t die derzeitige Menge nur knapp übertreffen, bei Szenario 3 würde sich die Menge an Abbruchholz mit über 32.000 t verdoppeln, wobei jedoch der Anteil an Holzwerkstoffen und Leimholz einen wesentlich höheren Anteil hätte.

Die 2001 dominante Ziegelfraktion nimmt in allen Szenarien um eine Größenordnung ab, der Anteil der leichten porösen Ziegelfraktion wird dabei aber der bedeutendste Anteil sein. Die Menge an Altstahl wird sich bei allen Szenarien erhöhen (Szenario 1 knapp 10.000 t, Szenario 2 knapp 7.800 t und Szenario 3 knapp 4.800 t gegenüber 2.300 t für den Ist-Stand 2001). Die sonstigen mineralischen Baustoffe werden zurückgehen und für alle Szenarien im Bereich zwischen 40.000 t und 45.000 t liegen. Das ist nur ca.  $\frac{1}{3}$  des Ist-Standes 2001, allerdings ist bei den Gründerzeithäusern das Gewicht der Beschüttung, von Natursteinen und auch von Mauermörtel und Putzen wesentlich höher als bei modernen Bauweisen.

Dämm- und Kunststoffe werden in den Baurestmassen aus Abbrüchen drastisch zunehmen, die Szenarien weisen den Faktor 5 auf. Im Vergleich zum im sozialen Wohnbau üblichen Dämmstandard des Jahres 2001 wird sich dieser noch erhöhen, sodass mit einer noch höheren Steigerung zu rechnen ist. Durch das geringe Raumgewicht von Dämmstoffen (ca. Faktor 10 – 30 gegenüber Holz, Faktor 20 – 150 gegenüber Beton und Faktor 80 – 400 gegenüber Stahl) werden große Volumina zu entsorgen sein. Wärmedämmverbundsysteme werden zudem durch andere Stoffe stark verunreinigt sein, diverse immer noch in den Dämmstoffen gespeicherte Treibgase (FCKW, HFKW usw.) mit hohem Ozonzerstörungspotential

und Treibhauspotential werden zudem entsprechende Rückbaustrategien erfordern. Um die zukünftigen Abfälle als Rohstoffe von morgen nutzen zu können, müssen bereits im Planungsprozess entsprechende vorsorgende Schritte gesetzt werden.

Ein detaillierter Blick auf das Abbruchholz zeigt laut Abbildung 10-6 folgendes Bild:

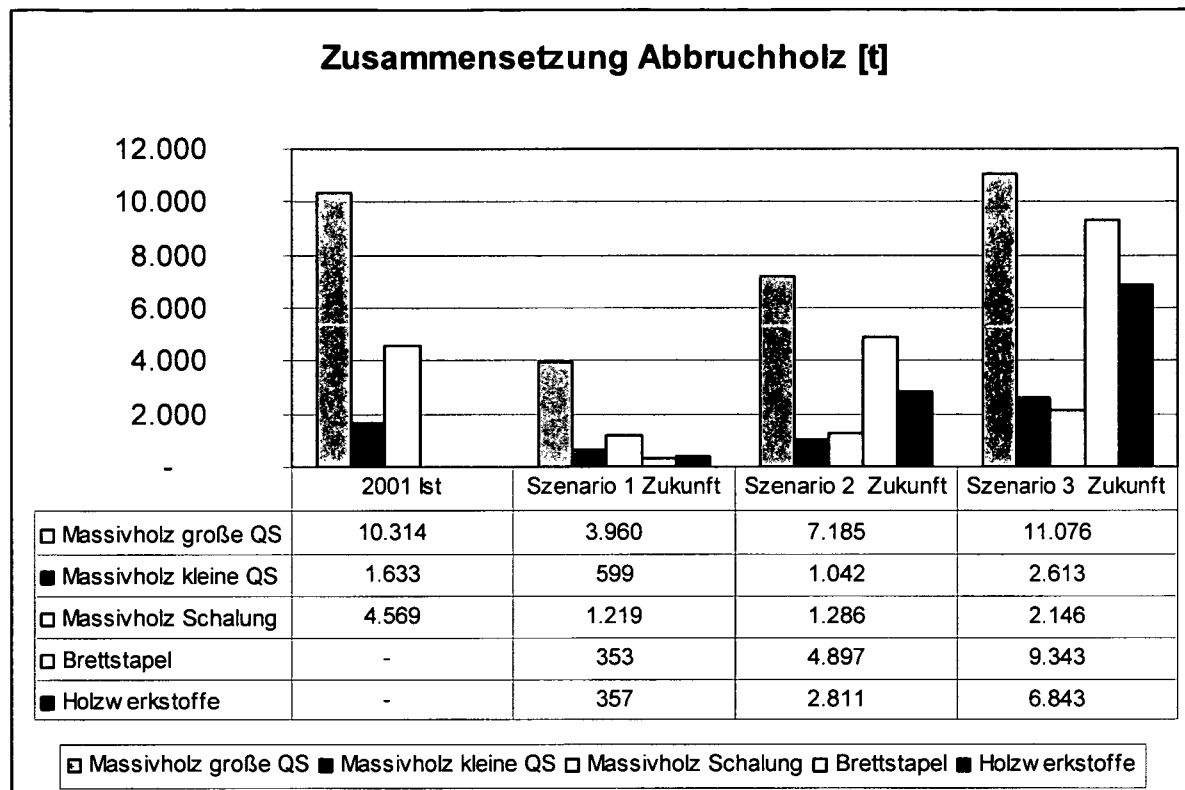


Abbildung 10-6: Zusammensetzung des Abbruchholzes 2001 und Abschätzung der zukünftigen Zusammensetzung in mehr als 100 Jahren für die drei Szenarien.

Der Ist-Stand zeigt, dass aus den tragenden Strukturen der heute in den Abbruch- und Rückbauprozess kommenden Holzfraktion hauptsächlich unbehandeltes Holz kommt. Allerdings ist damit zu rechnen, dass zukünftig zunehmend behandelte Hölzer aus den Wohn- und Bürobau zu entsorgen sein werden, welche auch heute bereits verbotene Substanzen enthalten können. Diese in den letzten 60 Jahren eingebaute Fraktion wurde im Rahmen dieser Studie nicht näher untersucht. Für die Szenarien 2 und 3 wurden Konstruktionen gewählt, welche durch konstruktiven Holzschutz eine chemische Behandlung nicht erfordern, daher scheinen in den Szenarien nur unbehandeltes Holz (getrennt nach Querschnittsart sowie Brettstapelelemente) und Holzwerkstoffe (Spanplatten, Brettschichtholz, Oriented Strandboard (OSB) und Furnierschichtholz) auf.

Der hohe Anteil an großen Querschnitten des im 2001 angefallenen Abbruchholzes weist auf ein hohes Wiederverwendungspotential hin, welches aber nur zu einem kleinen Teil in Wien durch das Sägewerk Schuh genutzt wird (ca. 1.500 Tonnen pro Jahr). Diese großen Querschnitte sind hauptsächlich in den Deckenkonstruktionen zu finden. Momentan werden jährlich ca. 8.000 t pro Jahr der Spanplattenindustrie zugeführt, der Rest wird thermisch verwertet. Szenario 1 zeigt eine deutliche Abnahme an Abbruchholz, was bedeutet, dass in Wien das Holzlager momentan schrumpft. Die Szenarien 2 und 3 weisen für die Zukunft höhere

Altholzmengen aus Abbruchaktivitäten auf, wobei die großen Querschnitte und bedingt die Brettstapelelemente das Wiederverwendungspotential darstellen. Auch Brettschichtholz und Holzwerkstoffe könnten bei entsprechender rückbaufreundlicher Konstruktion in Form von einfach montier- bzw. demontierbaren Einbau wieder verwendet werden. Hier ist großer Forschungsbedarf zur Entwicklung von wieder verwendbaren Bauteilen gegeben. Unbehandeltes Holz in kleineren Querschnitten kann auch der Spanplattenproduktion zugeführt werden, praktisch alle Fraktionen stellen ein großes energetisches Verwertungspotential dar.

Es ist jedenfalls notwendig, Holzkonstruktionen so zu gestalten, dass diese am Lebenszyklusende stofflich oder thermisch verwertet werden können. Dazu ist es notwendig, Holz weitgehend frei von jeglichen Kontaminationen zu halten und konstruktiv für eine entsprechende Demontierbarkeit und Trennbarkeit zu gewährleisten. Hier ist Forschungs- und Entwicklungsbedarf gegeben. Ein weiterer wichtiger Aspekt hinsichtlich Holzwerkstoffe ist, dafür zu sorgen, dass durch Emissionen von Leimen und dergleichen während der Nutzungsphase keine Beeinträchtigung der Innenraumluft entsteht. Beim Entwurf der Einzelobjekte sollte daher das chemische Profil der eingesetzten Baumaterialien untersucht bzw. vom Hersteller angefordert werden. Das gilt jedoch für alle Baustoffe.

## **10.2 Regionales Ressourcenpotential**

Es erfolgt eine qualitative und quantitative Beurteilung der regionalen Verfügbarkeit am Beispiel Holz. Für die sonstigen eingesetzten Baumaterialien kann in der gleichen Art vorgegangen werden und die Auswirkungen auf den regionalen Stoffhaushalt können so abgeschätzt werden. So müssten beispielsweise für Beton die regionalen Kieslagerstätten sowie die Rohstofflager für die Zementproduktion quantifiziert werden usw.

### **Holz- und Holzwerkstoffe:**

Um den Holzbedarf für Szenario 1 decken zu können müssen ca. 155.000 m<sup>3</sup> Holzbiomasse geerntet werden, dafür sind knapp 20.000 ha Waldfläche erforderlich. In Niederösterreich bleiben, vereinfacht über den österreichischen Nutzungsschnitt gerechnet, theoretisch 174.000 ha Waldfläche ungenutzt und in der Steiermark 208.000 ha. Diese theoretisch nicht genutzte Waldfläche unterliegt also der Annahme, dass der Wald in ganz Österreich gleichmäßig „unternutzt“, also weniger geerntet als nachwächst, wird (siehe Kapitel 6.2.1).

Im Vergleich zu Szenario 1 beträgt für Szenario 2 der Bedarf an Holzbiomasse 563.000 m<sup>3</sup>, der Mehrverbrauch an Biomasse beträgt knapp 408.000 m<sup>3</sup>, das sind ca. 31 % der für Wien potentiell in Österreich nutzbaren Reserven. Insgesamt sind für Szenario 2 ca. 71.300 ha Waldfläche erforderlich, dadurch werden gegenüber Szenario 1 zusätzlich ca. 51.600 ha Waldfläche erforderlich, welche in den Wäldern Niederösterreichs genutzt werden könnte.

Im Vergleich zu Szenario 1 beträgt für Szenario 3 der Bedarf an Holzbiomasse ca. 1.105.000 m<sup>3</sup>, der Mehrverbrauch an Biomasse beträgt rund 950.000 m<sup>3</sup>, das sind ca. 62 % der für Wien potentiell nutzbaren in Österreichs Wäldern vorhandenen Reserven. Insgesamt sind für Szenario 3 knapp 140.000 ha Waldfläche erforderlich, dadurch werden gegenüber Szenario 1 zusätzlich ca. 120.000 ha Waldfläche erforderlich, welche ebenfalls in den Wäldern Niederösterreichs genutzt werden könnte.

Hierbei ist anzumerken, dass Import- und Exportaktivitäten und die Bedürfnisse der Papierindustrie und anderen Holzverbrauchern wie der Biomasseenergiesektor nicht berücksichtigt wurden. Für den Extremwert in Szenario 3, welcher über 60 % der potentiell für den Verbrauch in Wien vorhandenen Reserven benötigen würde, bleiben für die anderen Holzverbraucher also noch knapp 40 % dieser ungenutzten Reserven zum Wachsen übrig.

### **Anteil nachwachsender Rohstoffe**

Der Anteil nachwachsender Rohstoffe ist beim Ist-Stand, also Szenario 1, mit ca. 1,14 % gering. Für Szenario 2 erhöht sich der Anteil auf knapp über 4,6 % und für Szenario 3 beträgt der Massenanteil von Holzprodukten knapp 13,2 %. In den Szenarien 2 und 3 erhöht der Holzanteil in den Holzwolleleichtbauplatten noch geringfügig den Anteil nachwachsender Rohstoffe. Zusätzliche, allerdings massenmäßig unbedeutende Potentiale, könnten durch die Wahl nachwachsender Dämmstoffe realisiert werden, welche EPS und Mineralwolleprodukte substituieren könnten. Diese Zahlen zeigen jedoch, dass im urbanen Bereich der Anteil nachwachsender Rohstoffe limitiert ist und den mineralischen Rohstoffen immer eine hohe Bedeutung zukommt. Zur Erhöhung der Ressourceneffizienz ist es daher notwendig, vermehrt bereits in der Planungsphase Strategien zu entwickeln, welche den Einsatz von Sekundärressourcen fördern um so mit einer Rohstoffeinheit mehrere Lebenszyklen bewerkstelligen zu können.

### **Verwendung von Sekundärrohstoffen**

Im Büro- und Wohnbau ist die hochwertige Verwendung von Sekundärressourcen noch nicht etabliert. Baustoffrecycling ist in der gängigen Praxis im Regelfall noch ein Downcyclingprozess. Daher wandern die zur stofflichen Verwertung aussortierten Sekundärressourcen größtenteils in den Tiefbau, wo sie überwiegend für im Vergleich zum Ausgangsprodukt minderwertigere Zwecke eingesetzt werden.

Gegenwärtig werden im Bereich des Altholzes aus den Gründerzeitbauten ca. 3.000 m<sup>3</sup> pro Jahr (knapp 1.500 t Trockenmasse) hochwertig im kleinen auf Altholz spezialisierten Sägewerk Schuh im 23. Bezirk in Wien verwertet. Die Produkte sind hauptsächlich Schnittholz für die Möbelindustrie und für Holzfußböden. Der Vorteil dieses 100 – 200 Jahre alten Holzes ist die gleichmäßige Farbe, das Holz ist nicht behandelt, frei von Spannungen, vollkommen trocken und ist weniger rissanfällig. Die Sägereste werden einerseits als Tierstreu und andererseits der thermischen Verwertung oder der Spanplattenindustrie zugeführt. Die Spanplattenindustrie ist bei Bau- und Abbruchholz die gängigste stoffliche Verwertungsmethode, wobei der Nachteil die relativ langen Transportwege zu den Produktionsstätten sind.

Sortenrein gesammelter Stahl wird mit kleinen Verlusten zu nahezu 100 % wieder der Stahlproduktion zugeführt, in den verwendeten Inventardaten ist dieser Tatsache Rechnung getragen. Ca. 10 % der Betonabfälle werden wieder der Frischbetonproduktion zugeführt. Dabei wird allerdings nur der mineralische Zuschlagstoff substituiert, Zement kann dadurch nicht substituiert werden. Es handelt sich demnach ebenfalls um einen Downcyclingprozess.

Um den Anteil der Sekundärrohstoffe zu erhöhen, müssen bereits in der Planungsphase Vorsorgemaßnahmen getroffen werden. Besonders für Bauwerke mit kürzerer Lebensdauer, was besonders den Bürobau mit den rasch wechselnden Anforderungen an die Funktionalität zukünftig in Form von kürzeren Nutzungsdauern betreffen könnte, sollten Konstruktionen

entwickelt werden, welche in Form von einfacher Demontage schnell demontierbar und an anderer Stelle wieder montierbar sind. Hierbei bieten sich vor allem modulare vorgefertigte Bauweisen in Stahl- und Holzbauweise an.

### Raumbedarf Deponievolumen

Für die Stadt Wien mit ihrer kleinen zur Verfügung stehenden Fläche ist im Bauwesen der Verbrauch an Deponievolumen von Bedeutung. Daher erfolgt an dieser Stelle für die drei Szenarien der jährliche Verbrauch ab Deponievolumen abgeschätzt. Da bei der Betrachtung des Jahres 2001 durch den hohen Anteil von Gründerzeitbauten bei den abzubrechenden Gebäuden für alle drei Szenarien ähnliche Materialzusammensetzungen gegeben sind, werden die Daten aus dem zukünftigen Rückbau für die drei Szenarien herangezogen und gegenüber gestellt.

Daraus ergeben sich die folgenden Massenanteile, die Verwertungsquoten entsprechen der derzeitigen Praxis in Wien (Tabelle 10-2) laut [AWK 2002]:

Tabelle 10-2: Abschätzung des zukünftigen Anfalls an Baurestmassen aus den Prozessen „Errichtung“ und „Abbruch und Rückbau“ für die drei Szenarien mit den heutigen Verwertungsquoten.

Zukunft (mehr als 100 a)	Input aus den Prozessen Errichtung und Abbruch [t]			Verwertungsquoten [%]		
	Input Szenario 1	Input Szenario 2	Input Szenario 3	Stofflich	Thermisch	Deponie
Bau- und Abbruchholz	17.597	32.625	53.854	0,34	0,66	0,00
Bauschutt	63.747	50.915	43.486	0,15	0,00	0,85
Betonabbruch	367.929	309.654	183.525	0,90	0,00	0,10
Eisen- und Stahl	11.214	9.465	6.052	1,00	0,00	0,00
Baustellenabfälle	23.283	23.624	28.078	0,20	0,20	0,60
Summe	483.771	426.283	314.995			

Für Szenario 1 ergeben sich in Zukunft massenmäßig ähnliche Anfallmengen an Baurestmassen wie heute. Allerdings ist voraussichtlich deutlich weniger Holz zu verwerten und der hohe Ziegelanteil aus den Gründerzeithäusern wird zunehmend durch Betonabbruch ersetzt. Die Szenarien 2 und 3 weisen naturgemäß einen geringeren Beton- und Bauschuttanteil auf. Dafür steigt einerseits der Anteil an Holz und andererseits erhöhen sich die Baustellenabfälle durch das höhere Aufkommen an Gipskartonplatten, Holzwolleplatten, Dämm- u. Kunststoffe usw.

Damit ergibt sich für die drei Szenarien folgender in Tabelle 10-3 dargestellter Deponieraumbedarf:

Tabelle 10-3: Deponieraumbedarf der drei Szenarien für den Wiener Büro- und Wohnbau in Zukunft.

Rückbau Zukunft	Zu deponierende Baurestmassen [t]			Dichte [t/m³]	Deponievolumen Szenarien [m³]		
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Bau- und Abbruchholz	-	-	-	0,43	-	-	-
Bauschutt	54.185	43.277	36.963	1,6	33.866	27.048	23.102
Betonabbruch	36.793	30.965	18.352	2,2	16.724	14.075	8.342
Eisen- und Stahl	-	-	-	7,85	-	-	-
Baustellenabfälle	13.970	14.174	16.847	1,2	11.642	11.812	14.039
Summe	104.948	88.417	72.163		62.231	52.935	45.483

In der auf der nächsten Seite dargestellten Abbildung 10-7 werden die Ergebnisse nochmals Graphisch gezeigt:



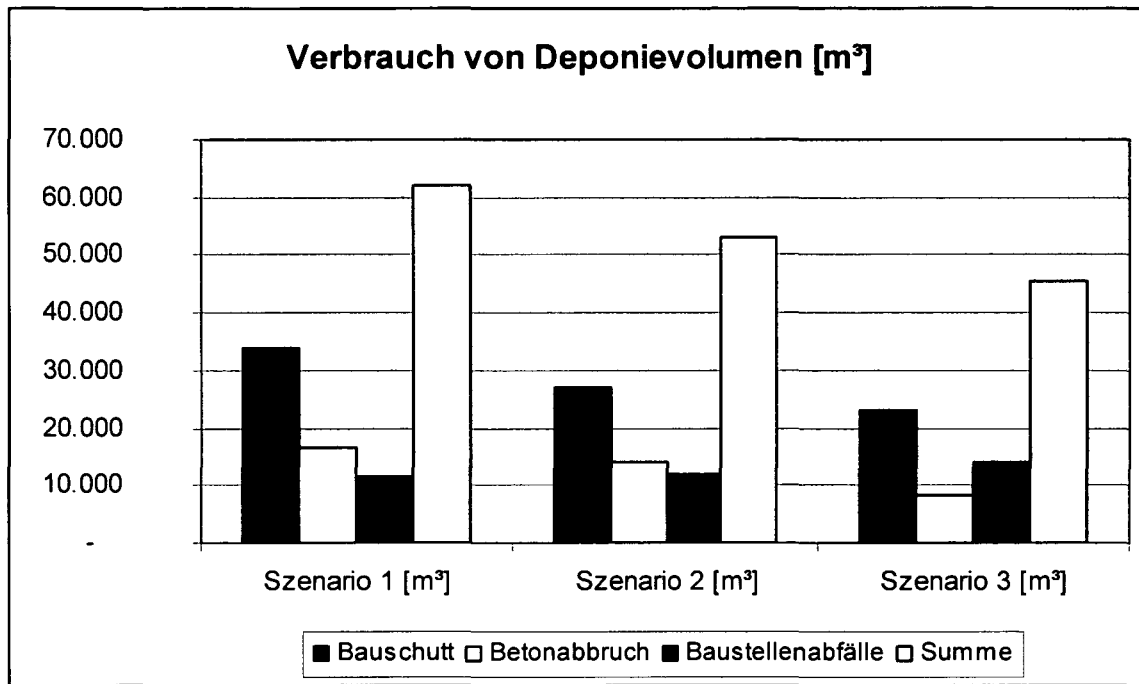


Abbildung 10-7: Zukünftiger Bedarf an Deponievolumen der drei Szenarien.

Der Deponieraumbedarf beträgt für Szenario 1 über 62.000 m<sup>3</sup>, für Szenario 2 knapp 53.000 m<sup>3</sup> (Reduktion von ca. 15 % gegenüber Szenario 1) und für Szenario 3 ca. 45.500 m<sup>3</sup> (Reduktion um ca. 27 % gegenüber Szenario 1). Die Reduktion wird vor allem im Bereich des Bauschutts und des Betonabbruchs erreicht, bei den Baustellenabfällen fallen bei Szenario 2 und 3 hingegen höhere zu deponierende Mengen an. Die Realisierung zusätzlicher Recyclingpotentiale könnte in allen Szenarien den Deponieraumbedarf weiter senken. Um dies effizient erreichen zu können, muss bereits in der Planung der gesamte Lebenszyklus bedacht werden und recyclinggerechte Bauweisen angewendet werden.

### Regionale Wertschöpfung

Die Stadt Wien bezieht ihre Ressourcen für den Büro- und Wohnbau nahezu vollständig aus dem versorgenden Hinterland. Das Lager der Stadt beinhaltet jedoch ein großes Ressourcenpotential für Wiederverwendung, Recycling und Energieproduktion. Um die regionale Wertschöpfung zu erhöhen, sollte dieses Potential durch die weitere Schaffung von Infrastruktur, vor allem für Wiederverwendung und für Recycling innerhalb der Stadt Wien, zukünftig verstärkt genutzt werden. So kann durch den Einsatz von Sekundärressourcen die Wertschöpfung pro in die Stadt importiertes Gut erhöht werden. Dadurch werden auch Transporte vermieden und Naturraum geschont.

Bei der Wiederverwendung von Bau- und Abbruchholz kann beispielsweise durch den Einsatz von 2,5 – 3 m<sup>3</sup> Sekundärschnittholz eine Waldfläche von rund 1 ha substituiert werden. Werden beispielsweise die Recyclingpotentiale von Szenario 1 voll ausgenutzt, so kann durch diese Art der „städtischen Forstwirtschaft“ eine virtuelle Waldfläche von über 15.000 ha substituiert werden, welche somit für zusätzliche forstwirtschaftliche Produktion oder als von wirtschaftlicher Nutzung frei bleibender Rückzugsraum zur Wahrung der Artenvielfalt zur Verfügung steht (siehe auch Kapitel 11).

Das Beispiel des Sägewerks Schuh zeigt auch, wie die regionale Wertschöpfung mit Sekundärressourcen erhöht werden kann [Schuh 2004]. Der jährliche Input in das Sägewerk sind durchschnittlich 3.000 m<sup>3</sup> Bau- und Abbruchholz, die Kosten dafür liegen bei 60 – 70 € pro m<sup>3</sup>, was eine Gesamtsumme von 180.000 – 210.000 € ergibt. Die Entsorgungskosten für 1 m<sup>3</sup> Holz werden mit 130 € angegeben (390.000 €). Der jährliche Output an Produkten beträgt ca. 2.000 m<sup>3</sup> an Schnittholz für die Erzeugung von Möbel und Fußböden usw. Die erzielten Erlöse liegen zwischen 200 und 300 € pro m<sup>3</sup> (für Spezialware auch höher), was in Summe 400.000 € - 600.000 € an Umsatz ergibt.

### 10.3 Lagerbeurteilung

Die Gebäude der Stadt Wien bilden ein bedeutendes Rohstofflager. 2001 waren im Wohnbau ca. 167 Mio. t (148 – 185 Mio. t) und im Bürobau ca. 36 Mio. t (32 – 40 Mio. t) an Baumaterialien eingebaut, insgesamt also ca. 200 Mio. t. Das entspricht in etwa der 100-fachen Menge der jährlich in das System des Wohn- und Bürobau fließenden Baumaterialien.

Für Szenario 1 beträgt der gesamte Lagerzuwachs für das Jahr 2001 ca. 1,76 Mio. Tonnen (knapp 0,9 % Wachstum), für Szenario 2 wird der Lagerzuwachs mit ca. 1,45 Mio. Tonnen simuliert (über 0,72 % Wachstum) und für Szenario 3 wird der Lagerzuwachs mit ca. 0,86 Mio. Tonnen (ca. 0,43 % Wachstum) berechnet. Für die nächsten 100 Jahre kann für alle eingesetzten Baumaterialien folgende Entwicklung des Lagers, welches für den Büro- und Wohnbau 2001 ca. 200 Mio. t betrug, gezeigt werden:

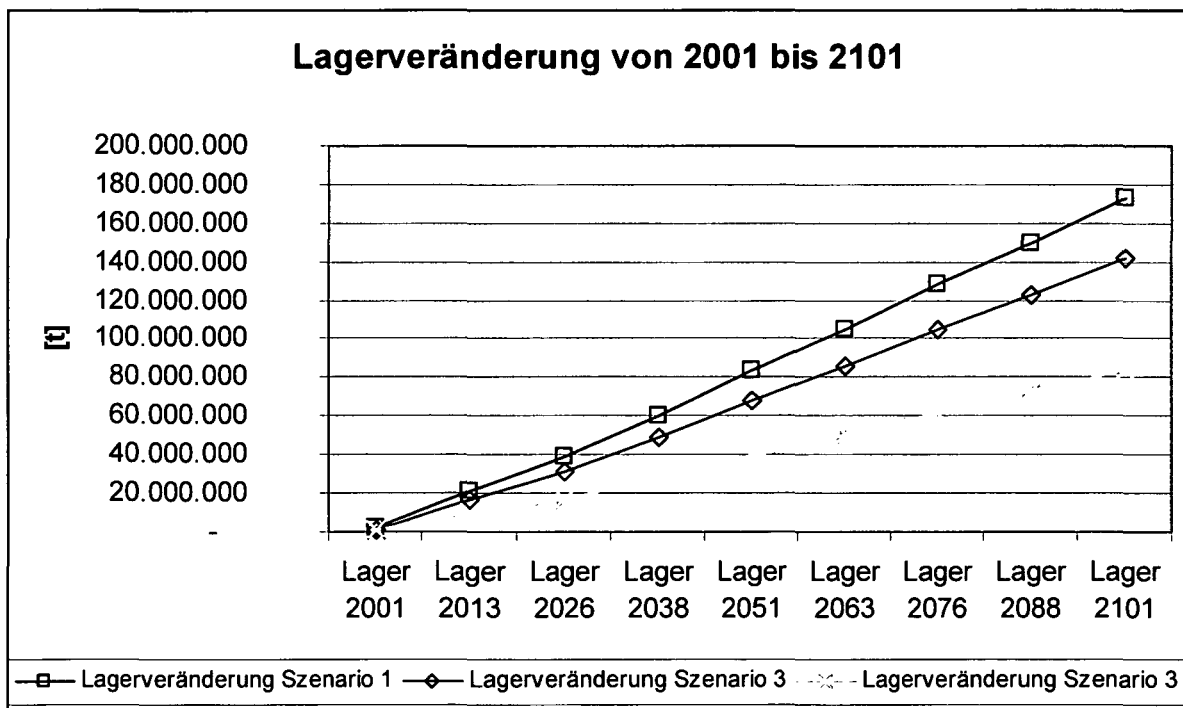


Abbildung 10-8: Lagerveränderung des Wiener Büro- und Wohnbaues von 2001 bis 2101, berechnet über alle im System betrachteten Materialien.

Für alle drei Szenarien ergibt sich ein Wachstum, da der jährliche Output nur ca. ein Viertel bis ein Fünftel des jährlichen Inputs beträgt. Für Szenario 1 ergibt sich nahezu eine Verdoppelung des Lagers, bei Szenario 2 wächst das Lager in hundert Jahren um ca. 70 % und bei

Szenario 3 ergibt sich ein Lagerwachstum von knapp 50 % in hundert Jahren verglichen mit dem Bestand von 2001. Die in das Lager eingebauten Materialien verbleiben über einen langen Zeitraum in den Bauwerken und gelangen danach wieder in das Sekundärressourcenmanagement. Es ist schwer abzuschätzen, welche technischen Möglichkeiten hinsichtlich stofflicher und thermischer Verwertungsmöglichkeiten in Zukunft zur Verfügung stehen werden. Je einfacher sortenrein trennbar die Konstruktionen heute gestaltet werden, desto effizienter wird eine zukünftige Nutzung dieses Ressourcenpotentials möglich sein. Dementsprechende strategische Initiativen hinsichtlich Planung und erforderlicher Infrastruktur zur späteren Nutzung müssen daher gestartet werden, um einen Beitrag zu erhöhter Ressourceneffizienz leisten zu können.

Am Beispiel von Schnittholz wird für die drei Szenarien die Entwicklung eines einzelnen Materials gezeigt. Diese Vorgehensweise kann für alle Materialien detailliert durchgeführt werden, um so zukünftige Trends abschätzen zu können und dementsprechende Steuerungsmaßnahmen vornehmen zu können. Das Holzlager in Tragwerken kann mit über 3,5 Mio. Tonnen abgeschätzt werden, wobei das in den Tragwerken gespeicherte Holz meist unbehandelt ist und in großen Querschnitten zur Verfügung steht und somit ein hohes stoffliches aber auch energetisches Verwertungspotential darstellt. In den Ausbaubereichen, welche im betrachteten System nicht beinhaltet sind (Fenster und Türen, Bodenbeläge, Vertäfelungen usw.) befinden sich weitere 0,8 Mio. Tonnen an meist behandeltem Holz (siehe auch Tabelle 9-32).

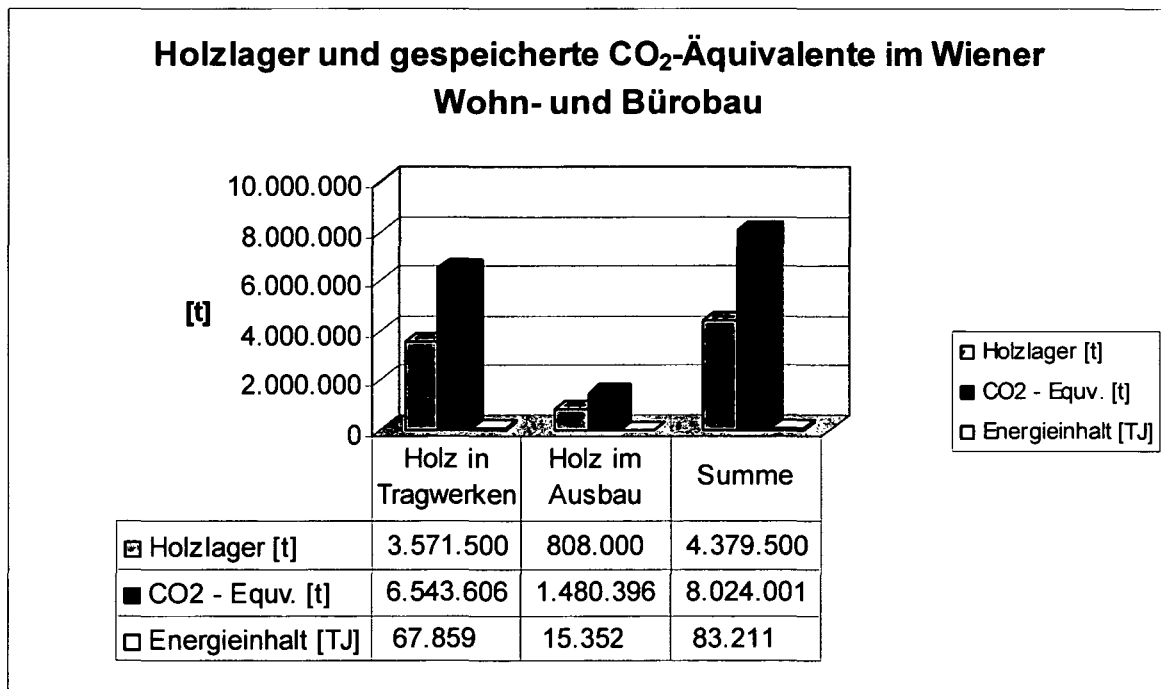


Abbildung 10-9: Gespeichertes Holz im Wiener Wohn- und Bürobau sowie die darin enthaltenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente und der Energieinhalt.

An die gespeicherte Holzmenge gekoppelt sind die Menge an gespeicherten CO<sub>2</sub>-Äquivalenten und der Energieinhalt. Die 8 Mio. t gespeicherten CO<sub>2</sub>-Äquivalente entsprechen ca. einer Jahresemission der Stadt Wien, welche ca. 9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente beträgt. Mit dem gespeicherten Holz könnte mehr als die siebenfache Menge an jährlich in Wien erzeug-

ter Fernwärme (laut MA 66 2002 3,25 Mio. MWh) produziert werden (83.211 TJ, das entspricht ca. 23,1 Mio. MWh). Die Entwicklung des Holzlagers in den nächsten 100 Jahren wird in der folgenden Abbildung 10-10 für die drei Szenarien gezeigt.

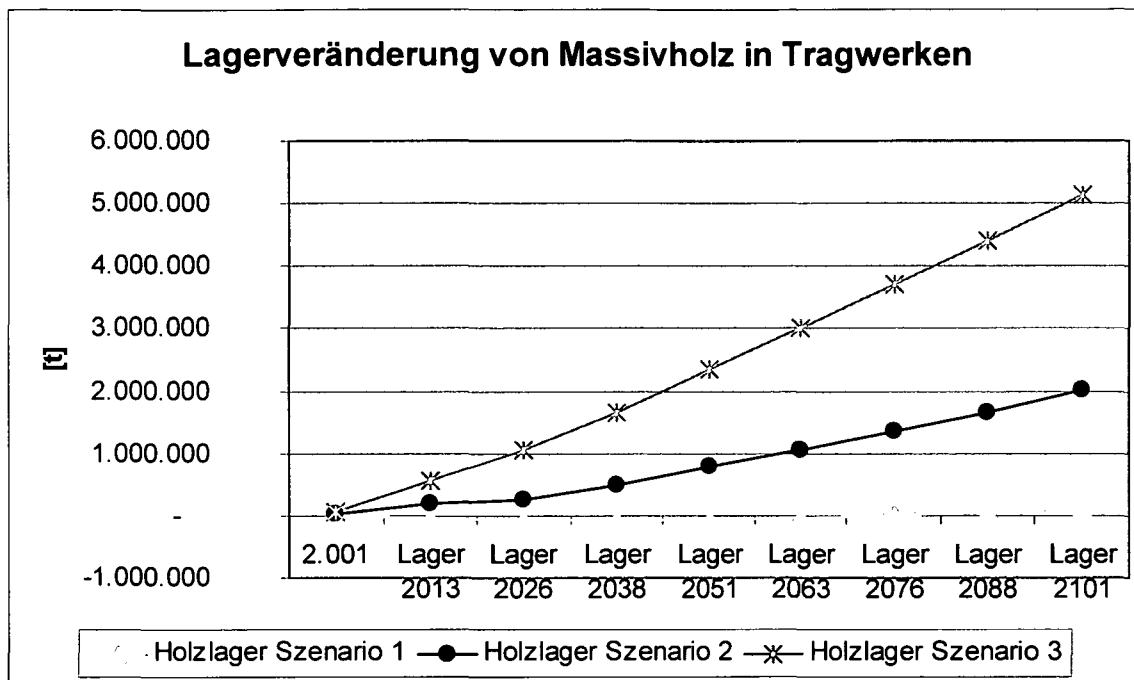


Abbildung 10-10: Lagerentwicklung des in den Tragwerken gespeicherten Massivholzes.

Szenario 1 zeigt, wie auch die Jahresbilanz 2001 eine negative Holzbilanz von knapp 2.000 t an Holzabgang ausweist, dass entgegen dem Gesamttrend das Holzlager im Abnehmen begriffen ist bzw. stagniert. Szenario 2 zeigt durch den höheren Holzeinsatz jedoch einen deutlichen Lagerzuwachs um ca. 2 Mio. Tonnen in 100 Jahren (plus 60 %) und Szenario 3 weist einen Zuwachs von 5 Mio. t in 100 Jahren aus, was mehr als eine Verdoppelung bedeuten würde.

Die Entwicklung des Holzlagers steht im direkten Zusammenhang mit dem gespeicherten Kohlenstoff und damit der gebundenen CO<sub>2</sub> – Äquivalente im Holzlager. Szenario 1 zeigt einen langsamen Abbau des Kohlenstofflagers und damit verbundenen höheren CO<sub>2</sub> – Emissionen, was jedoch durch die energetische Verwertung des Altholzes und damit verbundener Substitution fossiler Energieträger in der Gesamtbilanz wiederum abgefedert wird. Die Szenarien 2 und 3 würden einen Zuwachs der gespeicherten CO<sub>2</sub> – Äquivalente bedeuten. Bei Szenario 2 werden in 100 Jahren zusätzlich ca. 3,7 Mio. Tonnen an CO<sub>2</sub> – Äquivalenten in den Bauwerken gebunden, bei Szenario 3 würden über 9,4 Mio. Tonnen an CO<sub>2</sub> gebunden werden. Das bedeutet, dass zusätzlich zum Substitutionseffekt von CO<sub>2</sub> – Äquivalenten bei Holzbauweisen gegenüber Massivbauweisen auch ein langfristiger Speichereffekt auftritt. Dieser Effekt beträgt bei Szenario 2 pro Jahr ca. 37.000 t an CO<sub>2</sub> – Äquivalenten (0,4 % Abschwächung des Treibhauseffektes für Wien) und bei Szenario 3 knapp 100.000 t an CO<sub>2</sub> Äquivalenten (knapp 1 % Reduktion des Treibhauseffektes für Wien).

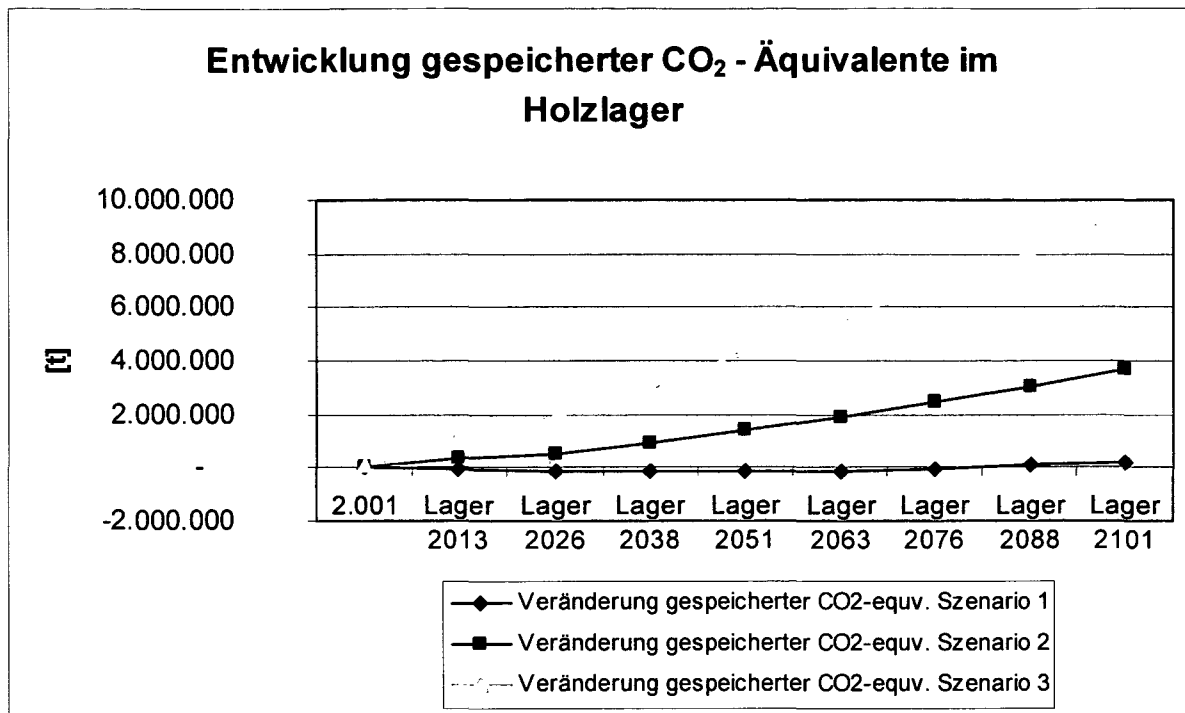


Abbildung 10-11: Veränderung der gespeicherten CO<sub>2</sub> – Äquivalente im Holzlager der Tragwerke im Wiener Büro- und Wohnbau.

Anhand des Beispiels Holz zeigt die Betrachtung des Lagers und der zukünftigen Entwicklung dieses Lagers, dass die Gebäude in Zukunft so konzipiert werden müssen, um auf dieses Rohstoffpotential mit möglichst geringen Verlusten zugegriffen werden kann.

#### 10.4 Energieeffizienz – Kumulierter Energieaufwand KEA

Der kumulierte Energieaufwand (KEA) wurde mit Hilfe der Datenbank Ecoinvent 2000 berechnet [Frischknecht & Jungbluth 2004]. Die Bewertung unterscheidet zwischen dem kumulierten Energieaufwand erneuerbar (KEAe) und dem kumulierten Energieaufwand nicht erneuerbar (KEAne). KEAe setzt sich aus folgenden Energiequellen zusammen: erneuerbare Ressourcen aus Biomasse, erneuerbare Ressourcen aus Wasserkraft und erneuerbare Ressourcen aus Windkraft, Solarenergie und Erdwärme. KEAne setzt sich aus folgenden Energiequellen zusammen: nicht erneuerbare fossile Ressourcen sowie nicht erneuerbare Ressourcen aus Kernenergie.

##### Kumulierter Energieaufwand erneuerbar

Bei der Darstellung des kumulierten Energiebedarfs erneuerbarer Ressourcen wird die zur Holzbildung benötigte Energie unter dem Prozess Kraft – Wärme Kopplung Wien angeführt.

Die Tabelle 10-4 zeigt für die einzelnen Prozesse den kumulierten Energieaufwand. Die bedeutendsten Prozesse sind jeweils die Produktion (bei der Bewertung von KEA erneuerbar und nicht erneuerbar sowie bei der Bewertung der Wirkungskategorien nach CML – Methode inkludiert der Prozess Produktion auch die gesamte Vorkette der Rohstoffgewinnung) und die Kraft – Wärme – Kopplung im Zuge der thermischen Verwertung des Abbruchholzes. Einen kleinen Anteil hat noch der Stromanteil aus dem Errichtungsprozess aufgrund des in Österreich hohen Anteils an Wasserkraft.

Tabelle 10-4: KEA erneuerbar für die drei Szenarien für das Jahr 2001.

KEA erneuerbar	Szenario 1	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 3
	KEA e [MJ]	KEA e [MJ/m <sup>2</sup> ]	KEA e [MJ]	KEA e [MJ/m <sup>2</sup> ]	KEA e [MJ]	KEA e [MJ/m <sup>2</sup> ]
Produktion	404.422.113	342	714.689.661	604	1.111.235.175	940
Transport	4.268.975	4	4.531.449	4	4.805.272	4
Bodenaushub	41.628	0,04	41.628	0,04	41.628	0,04
Strom/Diesel Baumaschinen	20.488.332	17	20.488.332	17	20.488.332	17
Transport Bodenaushub	1.261.248	1	1.261.248	1	1.261.248	1
Sammlung & Sortierung	417.066	0,35	421.491	0,36	428.195	0,36
Deponie Baumaterial	704.124	0,60	698.750	0,59	694.862	0,59
Deponie Bodenaushub	2.017.767	1,71	2.017.767	1,71	2.017.767	1,71
Müllverbrennung	87.338	0,07	98.155	0,08	118.778	0,10
KWK Wien	342.905.399	290,02	396.227.843	335,12	476.003.751	402,59
<b>Summe</b>	<b>776.613.992</b>	<b>657</b>	<b>1.140.476.324</b>	<b>965</b>	<b>1.617.095.009</b>	<b>1.368</b>

Die graphische Darstellung der Anteile (Abbildung 10-12) der einzelnen Prozesse am Einsatz von erneuerbaren Energieträgern verdeutlicht nochmals die Dominanz der Prozesse Produktion und Kraft-Wärme-Kopplung Wien, den geringen Anteil am Errichtungsprozess und die Bedeutungslosigkeit der restlichen Prozesse.

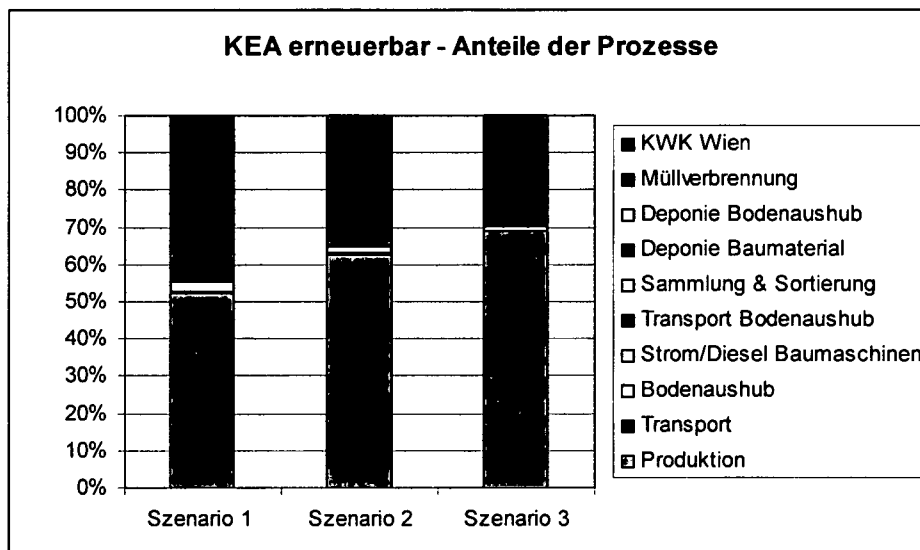


Abbildung 10-12 Anteil der Prozesse am kumulierten Energieaufwand erneuerbarer Energieträger.

In der graphischen Darstellung der Absolutbeträge (Abbildung 10-13, nächste Seite) des kumulierten Energieaufwandes zeigt sich das gleiche Bild. Die in der Kraft – Wärme Kopplung eingesetzte Energie aus der thermischen Verwertung des Bau- und Abbruchholzes wird zur Gewinnung von Fernwärme verwendet, wobei Erdöl substituiert wird.

In Szenario 1 werden ca. 88,2 GWh, in Szenario 2 rund 99,3 GWh und in Szenario 3 ca. 119 GWh an Fernwärme und Strom erzeugt. Hier ist noch einmal anzumerken, dass für die Berechnung ein modernes Biomassekraftwerk für die thermische Holzverwertung herangezogen wurde und es sich hierbei um eine Annahme handelt, die mit der konkreten Situation in Wien nicht übereinstimmt.

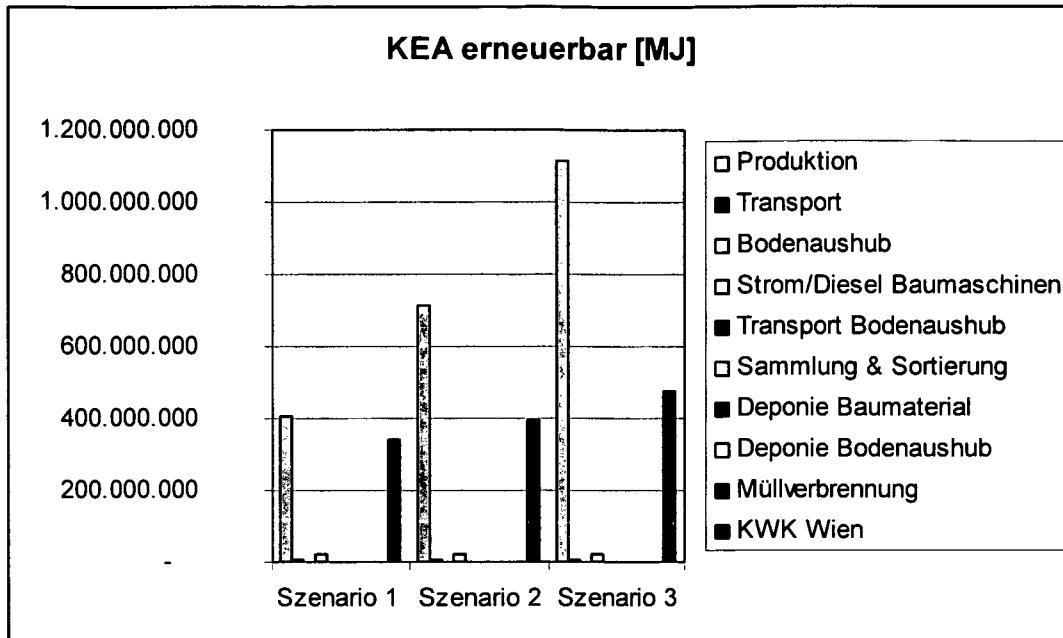


Abbildung 10-13: Darstellung des Kumulierten Energieaufwandes der einzelnen Prozesse.

Die Produktion ist demnach der bedeutendste Prozess hinsichtlich des erneuerbaren kumulierten Energieaufwandes. Für Szenario 1 werden 404 TJ, für Szenario 2 ca. 715 TJ und für Szenario 3 ca. 1.111 TJ aufgewendet. Der Anteil der erneuerbaren Energie bei der Errichtung ist hauptsächlich dem in Österreich hohen Wasserkraftanteil beim Strom zuzuschreiben. Auffällig ist der hohe Anteil von KEAe in der Produktion von Szenario 1, darum werden in Tabelle 10-5 die einzelnen Materialgruppen aufgelistet.

Tabelle 10-5: KEA erneuerbar: Beiträge der einzelnen Baumaterialgruppen im Prozess Produktion für die drei Szenarien

KEA e Produktion	Szenario 1 [MJ]	Szenario 2 [MJ]	Szenario 3 [MJ]
Holz u. Holzwerkstoffe	124.513.658	460.020.567	895.331.302
Beton, Estrich	171.557.751	166.194.967	146.713.227
Stahl	53.739.273	46.103.528	30.379.704
Ziegel	15.846.842	7.322.708	1.552.969
Sonstige mineralisch	30.200.257	24.250.113	23.982.646
Dämm- u. Kunststoffe	8.564.332	10.797.778	13.275.328

„Beton und Estrich“ weist einen überraschend hohen Anteil an erneuerbaren Energieeinsatz auf. Grund dafür ist der der Bewertung zugrunde liegende Datensatz für die Estrichproduktion. Dieser wurde anhand eines Werkes ermittelt, welches bei der Produktion sehr große Mengen an Holz anstatt, wie in anderen Produktionsstätten üblich, fossile Energieträger einsetzt. Dieses Beispiel zeigt exemplarisch die möglichen Abweichungen in der ökologischen Bewertung durch regional unterschiedliche Technologien bei der Produktion auf. Da aber für alle drei Szenarien derselbe Datensatz verwendet wird, sind die Auswirkungen auf den Vergleich nur von geringer Bedeutung.

Damit verbunden ist auch die nur geringe Abnahme des erneuerbaren Energieanteils bei Estrich und Beton in den Szenarien 2 und 3, da bei diesen Szenarien Estrich in größerer Masse als in Szenario 1 eingesetzt wird. Daher liefert für Szenario 1 die Materialgruppe Beton und Estrich auch den größten Beitrag mit rund 171 TJ gefolgt von den Holzprodukten mit

knapp 125 TJ und dem Stahl mit knapp 54 TJ. Bei Szenario 2 sind die Holzprodukte bereits die eindeutig bedeutendste Gruppe mit 460 TJ und bei Szenario 3 mit 895 TJ.

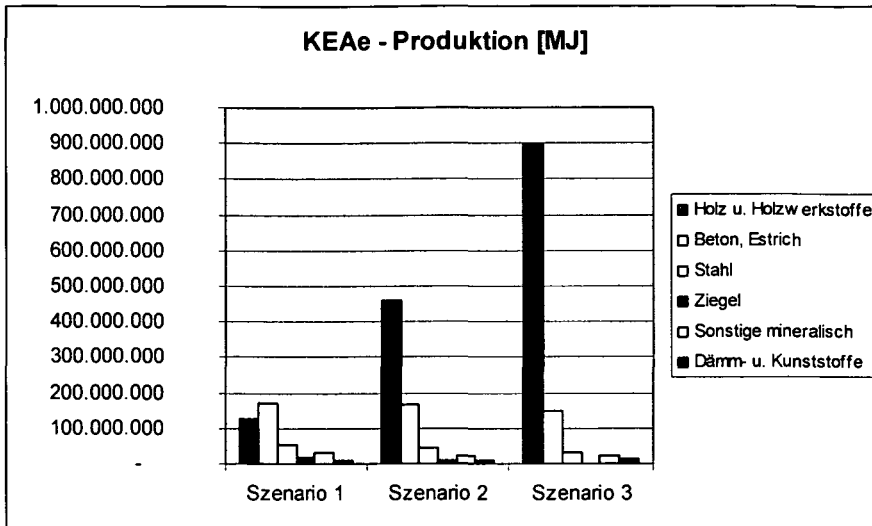


Abbildung 10-14: Anteil der Materialgruppen am KEAe des Prozesses Produktion.

Bezogen auf einen Quadratmeter Nutzfläche ergibt sich für Szenario 1 ein Wert von 657 MJ/m<sup>2</sup> (183 kWh/m<sup>2</sup>), für Szenario 2 ein Wert von 965 MJ/m<sup>2</sup> (268 kWh/m<sup>2</sup>) und für Szenario 3 ein Wert von 1.368 MJ/m<sup>2</sup> (380 kWh/m<sup>2</sup>).

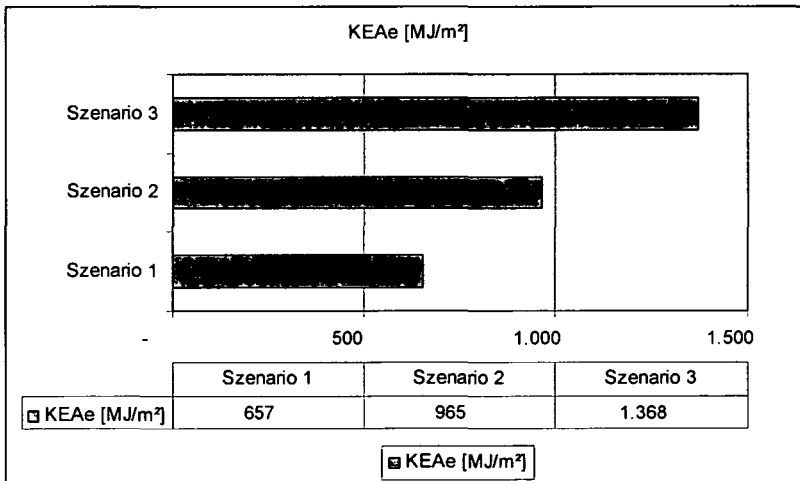


Abbildung 10-15: Kumulierter Energieaufwand erneuerbar bezogen auf 1 m<sup>2</sup> geschaffener Nutzfläche.



### Kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar

Der kumulierte Energieaufwand nicht erneuerbarer Energieträger ist bei allen Szenarien deutlich höher als der kumulierte Energieaufwand erneuerbarer Energieträger, die Verteilung ist aber spiegelverkehrt zu KEA erneuerbar. Szenario 1 weist den höchsten und Szenario 3 den geringsten Wert auf. Die bedeutendsten Prozesse sind wiederum die Produktion und die Kraft – Wärme Kopplung. Die negativen Werte der Kraft – Wärme Kopplung ergeben sich aus der negativ gerechneten Substitution von Erdöl plus den Aufwendungen fossiler Energieträger für die Aufbereitung des Abbruchholzes.

Tabelle 10-6: KEA nicht erneuerbar für die drei Szenarien für das Jahr 2001

KEA nicht erneuerbar	Szenario 1	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 3
	KEA ne [MJ]	KEA ne [MJ/m <sup>2</sup> ]	KEA ne [MJ]	KEA ne [MJ/m <sup>2</sup> ]	KEA ne [MJ]	KEA ne [MJ/m <sup>2</sup> ]
Produktion	4.108.690.840	3.475	3.860.117.091	3.265	3.472.268.518	2.937
Transport	259.064.645	219	273.830.784	232	289.058.480	244
Bodenaushub	6.175.850	5	6.175.850	5	6.175.850	5
Strom/Diesel Baumaschinen	212.959.994	180	212.959.994	180	212.959.994	180
Transport Bodenaushub	77.480.490	66	77.480.490	66	77.480.490	66
Sammlung & Sortierung	24.823.929	21	25.000.171	21	25.243.690	21
Deponie Baumaterial	67.548.784	57	67.033.218	57	66.660.262	56
Deponie Bodenaushub	193.570.636	163,72	193.570.636	163,72	193.570.636	163,72
Müllverbrennung	1.556.418	1,32	1.697.638	1,44	2.019.166	1,71
KWK Wien	-453.987.227	-383,97	-524.583.107	-443,68	-630.201.867	-533,01
<b>Summe</b>	<b>4.497.884.359</b>	<b>3.804</b>	<b>4.193.282.766</b>	<b>3.547</b>	<b>3.715.235.218</b>	<b>3.142</b>

Wie Abbildung 10-16 zeigt, werden zwischen 70 und 80 % der verbrauchten nicht erneuerbaren Energie für die Produktion der Baumaterialien verwendet. Durch die Systemerweiterung um die Kraft – Wärme Kopplung und die damit verbundene Substitution von nicht erneuerbaren Erdöl durch den Einsatz des Altholzes in der Fernwärmeproduktion wird für alle Szenarien KEA nicht erneuerbar um 10 – 15 % reduziert. Die Transporte haben einen Anteil von 6 – 8 %, was bedeutet, dass auch bei einer Verdoppelung der Transportwege das Ergebnis in seiner Grundaussage gleich bleibt.

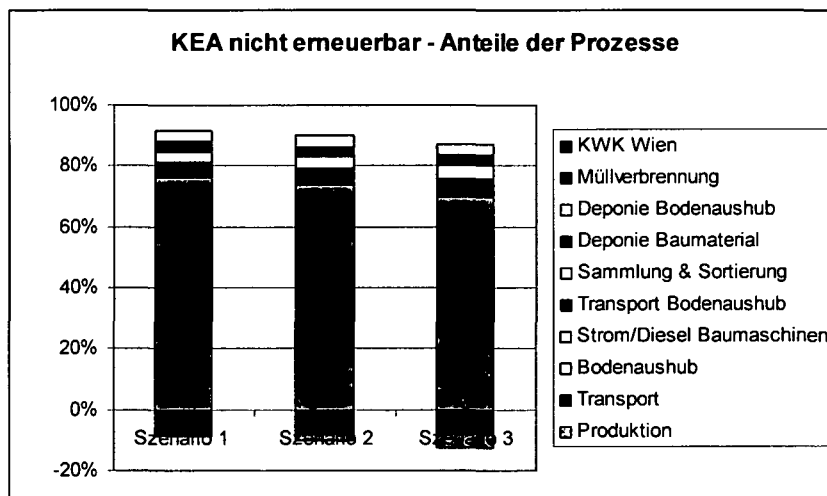


Abbildung 10-16: Anteil der einzelnen Prozesse an Kumulierten Energieaufwand nicht erneuerbar.

Die graphische Darstellung der Einzelprozesse zeigt ebenfalls die Dominanz des Prozesses Produktion sowie den Substitutionseffekt des energetisch verwerteten Holzes, welches den Einsatz von Heizöl reduziert.

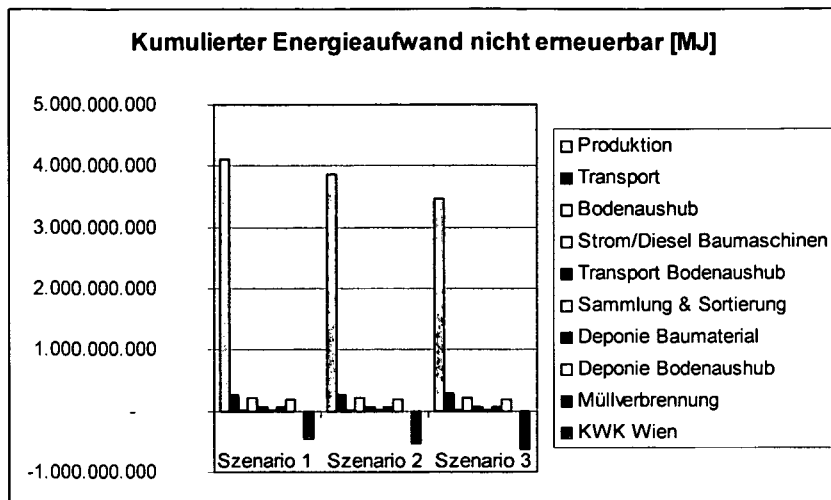


Abbildung 10-17 Darstellung des nicht erneuerbaren kumulierten Energieaufwandes für die einzelnen Prozesse der drei Szenarien.

Der anteilmäßig bedeutendste Prozess Produktion wird in Tabelle 10-7 und Abbildung 10-18 analysiert.

Tabelle 10-7: Beitrag der Materialgruppen zum Bedarf nicht erneuerbarer Energie KEAne für die drei Szenarien des Prozesses Produktion.

KEA ne Produktion	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
	[MJ]	[MJ]	[MJ]
Holz u. Holzwerkstoffe	150.265.576	639.706.264	1.305.208.437
Beton, Estrich	1.663.870.464	1.296.133.743	616.496.191
Stahl	1.088.706.650	919.958.199	583.899.523
Ziegel	249.984.064	112.563.707	52.237.353
Sonstige mineralisch	282.510.347	288.021.898	382.401.380
Dämm- u. Kunststoffe	673.353.739	603.733.280	532.025.635

Bei Szenario 1 hat Beton vor Stahl und den Dämm- und Kunststoffen den bedeutendsten Anteil, Holz bewirkt den geringsten Beitrag. Durch die Substitution der Materialien Beton, Stahl und Ziegel durch Holz sinkt der Bedarf an nicht erneuerbaren Energieträgern von über 4.100 TJ in Szenario 1 auf rund 3.470 TJ bei Szenario drei, was eine Reduktion um 15 % bedeutet.

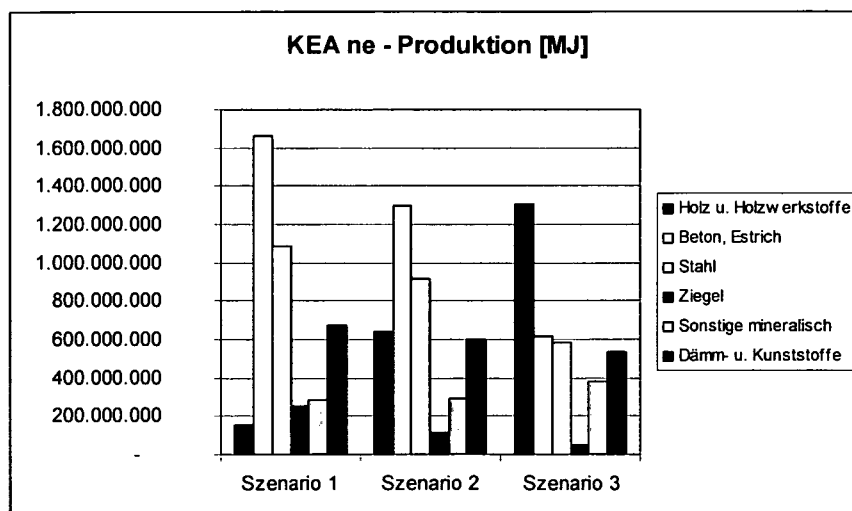


Abbildung 10-18: Beitrag der Materialgruppen zum KEA ne für die drei Szenarien.

Bezogen auf einen Quadratmeter Nutzfläche, wobei das Gesamtsystem betrachtet wird, ergibt sich für Szenario 1 ein Wert von 3.804 MJ/m<sup>2</sup> (1.057 kWh/m<sup>2</sup>), für Szenario 2 ein Wert von 3.547 MJ/m<sup>2</sup> (985 kWh/m<sup>2</sup>) und für Szenario 3 ein Wert von 3.142 MJ/m<sup>2</sup> (873 kWh/m<sup>2</sup>).

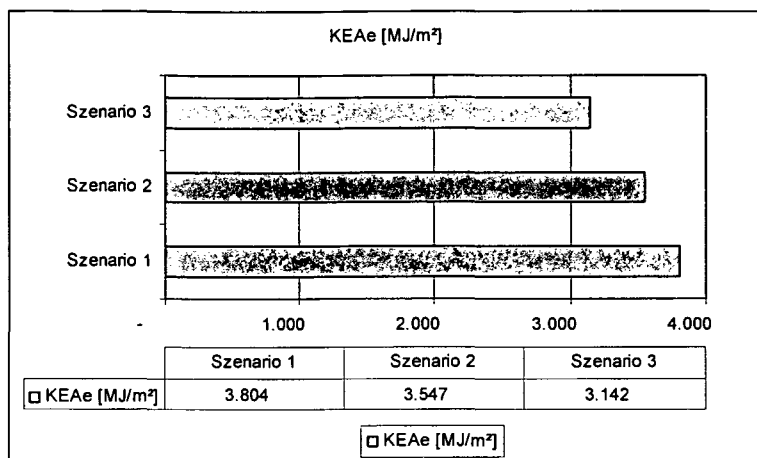


Abbildung 10-19: Kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar bezogen auf 1 m<sup>2</sup> geschaffener Nutzfläche.

Um ein Bild hinsichtlich des Gesamtenergieverbrauchs zu erhalten, erfolgt eine gemeinsame Darstellung des kumulierten Energieaufwandes aus erneuerbaren und nicht erneuerbaren Ressourcen.

Die Summe des kumulierten Energieaufwandes ist für alle drei Szenarien ähnlich (4.461 MJ/m<sup>2</sup> für Szenario 1, rund 4.510 MJ/m<sup>2</sup> für die Szenarien 2 und 3). Allerdings ist die Zusammensetzung unterschiedlich. Szenario 1 hat einen Anteil von ca. 15 % an erneuerbaren Energieaufwand und 85 % nicht erneuerbar. Szenario 2 hat einen Anteil von über 21 % an erneuerbaren Energieaufwand und 79 % nicht erneuerbar. Szenario 3 hat einen Anteil von über 30 % an erneuerbaren Energieaufwand und knapp 70 % nicht erneuerbar.

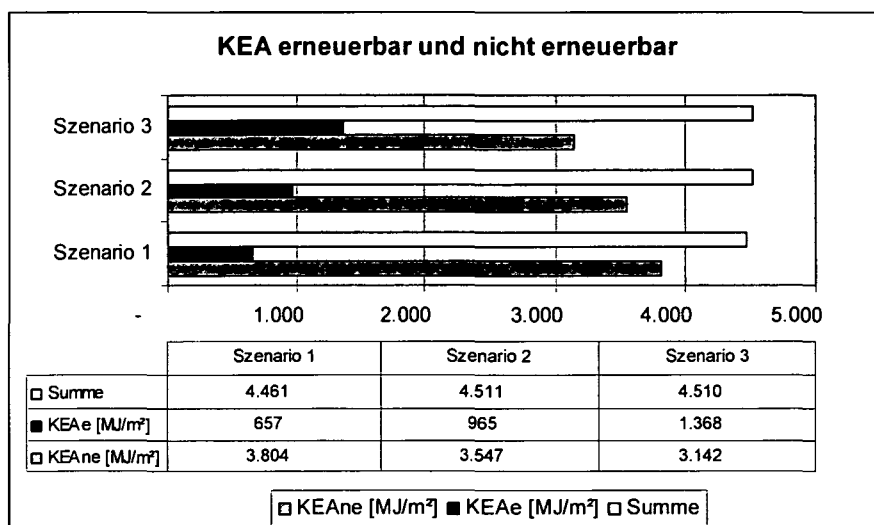


Abbildung 10-20: Vergleich des erneuerbaren und nicht erneuerbaren kumulierten Energieaufwandes und Summendarstellung bezogen auf einen Quadratmeter Nutzfläche.

Im Schnitt beträgt der gesamte kumulierte Energieaufwand ca. 4.500 MJ/m<sup>2</sup>, das sind ca. 1250 kWh/m<sup>2</sup>. Setzt man das jetzt in Relation zum Nutzungsaufwand, welcher im Standard-

wohnbau 2001 mit ca. 50 kWh/m<sup>2</sup> Nutzfläche angesetzt werden kann, dann zeigt sich, dass in ca. 25 Jahren der Nutzungsaufwand gleich dem Herstellungsaufwand ist. Wird der Passivhausstandard heran gezogen, so wäre dieser Zeitpunkt, ungeachtet des Mehraufwandes in der Produktion für Wärmedämmungen, erst in mehr als ca. 85 Jahren erreicht. Das bedeutet dann, dass der Energieaufwand für die Herstellung in der gleichen Größenordnung wie der Energieaufwand für die Nutzung angesiedelt ist.

### **10.5 Treibhauspotential**

Das Treibhauspotential wird mittels der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth 2004] auf Basis der CML – Methode [Guineé et al. 2001] berechnet.

Die jährlichen Treibhausemissionen der Stadt Wien werden mit ca. 9 Mio. t pro Jahr angegeben. Um die CO<sub>2</sub> Speicherung und die treibhausrelevanten Emissionen des Materials Holz am Lebenszyklusende umfassend erfassen zu können, wurde das System um den Prozess Kraft – Wärme Kopplung Wien erweitert.

Da das System den gesamten Lebenszyklus umfasst, wird entgegen den Empfehlungen der ISO – 14.040ff die temporäre Speicherung von CO<sub>2</sub> in Holz als negativer Wert aufgenommen. Es wird in der Fallstudie weiter die Annahme getroffen, dass sämtliches in Wien zum Einsatz kommende Holz am Ende der Nutzungsdauer einer thermischen Verwertung mit Energieerzeugung zugeführt wird und im System Wien verbleibt. Dies gilt auch für das in der Spanplattenproduktion eingesetzte Altholz (ca. 8.000 t/a) und für wieder verwendetes Altholz, welches nach einem oder mehreren weiteren Lebenszyklen letztlich in der Energieerzeugung landet.

Bei der Energieerzeugung werden die Emissionen des im Holz gespeicherten CO<sub>2</sub> positiv bilanziert. Damit ergibt sich am Ende der Produktlebensdauer ein positiver Bilanzwert, der den fossilen Emissionen aus Produktion, Einbau, Demontage, Transporte usw. entspricht. Wird dieses Holz nun in der Energieproduktion eingesetzt, so werden die dafür notwendigen Transporte und Aufbereitungsprozesse und die damit verbundenen treibhausrelevanten Aufwendungen positiv bilanziert. Schließlich werden die so substituierten fossilen Emissionen aus der Erdölverbrennung für die Fernwärmeerzeugung von der Gesamtbilanz unter Berücksichtigung der Wirkungsgrade der verglichenen Systeme abgezogen.

Die von der Realität abweichenden Annahmen in dieser Fallstudie sind somit: dass es keine Altholzexporte zu Verbrennungsstätten außerhalb Wiens gibt, und dass in Wien eine effiziente Kraftwärmekopplung für die Verbrennung von Altholz zur Verfügung steht. Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente ergibt sich somit:

- + plus Emissionen Produktion (Bestandspflege, Ernte, Entrindung, Transporte, Einschneiden, Trocknung usw.);
- minus der Atmosphäre während der Wachstumsphase entzogene CO<sub>2</sub> - Äquivalente (Photosynthese);
- + plus Emission Transporte;
- + plus Emission Errichtung;
- + plus Emission Rückbau;
- + plus Emission Sammlung und Sortierung inklusive der Transporte;
- + plus Emissionen Aufbereitung;
- + plus Emissionen Verbrennung (Verbrennungsprozess und Anteil Infrastruktur);
- substituierte Emission aus Erdölverbrennung für Fernwärme unter Berücksichtigung der Wirkungsgrade und der jeweiligen unteren Heizwerte von Altholz und substituierten Brennstoff (in der Fallstudie Heizöl).

Damit gehen nur die langfristig in der Tragstruktur gespeicherten CO<sub>2</sub> – Äquivalente als negativer Zahlenwert in die Bilanz ein. Das bedeutet, dass bei wachsendem Lager sich der Speichereffekt erhöht, bei schrumpfendem Lager werden allerdings gespeicherte CO<sub>2</sub> – Äquivalente je nach Verwertungs- oder Entsorgungsoption wieder in die Atmosphäre abgegeben. Unter der Voraussetzung einer umfassenden Systembetrachtung ist daher die Berücksichtigung langfristiger Speicherung von CO<sub>2</sub> – Äquivalenten (ca. 80 Jahre und länger, das entspricht zumindest dem Zeithorizont einer Umtriebszeit) im Lager notwendig. Bei Holzprodukten mit kurzer Lebensdauer kommt der Speichereffekt aufgrund der Systemwahl im Ergebnis nicht zum Tragen.

Tabelle 10-8: GWP 100 für die drei Szenarien für das Jahr 2001

GWP 100	Szenario 1	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 3
	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> -equ.]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> -equ./m <sup>2</sup> ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> -equ.]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> -equ./m <sup>2</sup> ]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> -equ.]	GWP 100 [kgCO <sub>2</sub> -equ./m <sup>2</sup> ]
Produktion	336.747.152	285	164.781.740	139	-83.443.326	-71
Transport	15.445.513	13,06	16.358.541	13,84	17.320.791	14,65
Bodenaushub	418.460	0,35	418.460	0,35	418.460	0,35
Strom/Diesel Baumaschinen	14.116.300	12	14.116.300	12	14.116.300	12
Transport Bodenaushub	4.651.899	3,93	4.651.899	3,93	4.651.899	3,93
Sammlung & Sortierung	1.493.615	1,26	1.504.596	1,27	1.519.922	1,29
Deponie Baumaterial	2.465.190	2,09	2.446.375	2,07	2.432.764	2,06
Deponie Bodenaushub	7.064.353	5,97	7.064.353	5,97	7.064.353	5,97
Müllverbrennung	5.049.386	4,27	5.595.993	4,73	6.718.035	6
KWK Wien	3.907.898	3,31	4.515.583	3,82	5.424.744	4,59
<b>Summe</b>	<b>391.359.765</b>	<b>331</b>	<b>221.453.840</b>	<b>187</b>	<b>- 23.776.060</b>	<b>-20</b>

Wie Tabelle 10-8 und Abbildung 10-21 zeigen, ist der Prozess Produktion der bedeutendste Prozess mit über 80 %. Da die im Holz gespeicherten CO<sub>2</sub> - Äquivalente im Prozess Produktion mitberechnet werden, wird die Bedeutung dieses Prozesses vor allem in den Szenarien 2 und 3 abgeschwächt dargestellt, da sich die Summe des Prozesses aus den fossilen Emissionen aller Produktionsprozesse vermindert um das im Holz gespeicherte CO<sub>2</sub> zusammensetzt. Die wesentlichen CO<sub>2</sub> – Emissionen spielen sich also für das Bauwesen nicht im diese Emissionen verursachenden Wien sondern im Hinterland ab. Dieses Beispiel zeigt, dass die Treibgasemissionen Wiens deshalb unter dem Bundesschnitt liegen, da diese für die Versorgung Wiens notwendigen Emissionen in anderen Regionen stattfinden und auch diesen zugerechnet werden.

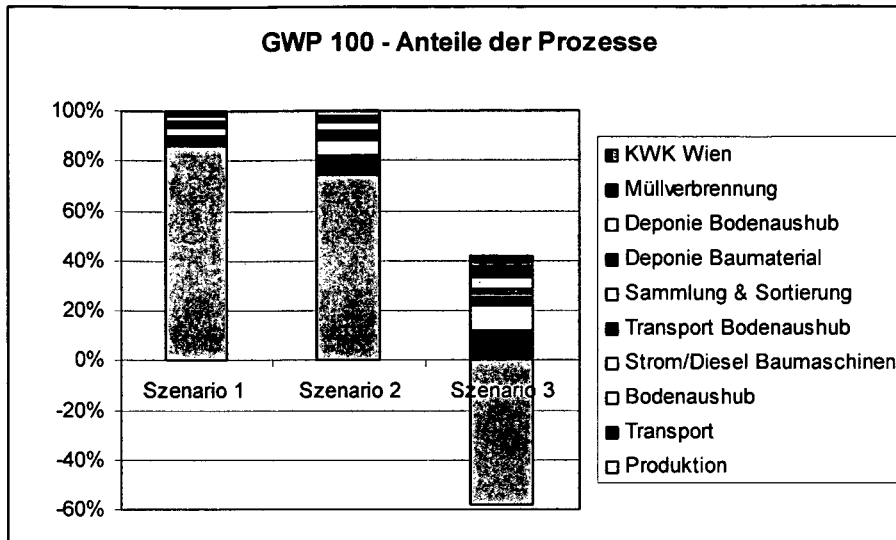


Abbildung 10-21: GWP 100 – Anteile der Prozesse für die drei Szenarien.

Transporte und Errichtung haben insgesamt einen Anteil von etwa 10 %, die Verschiedenen Entsorgungs- und Verwertungsschienen liegen in der gleichen Größenordnung.

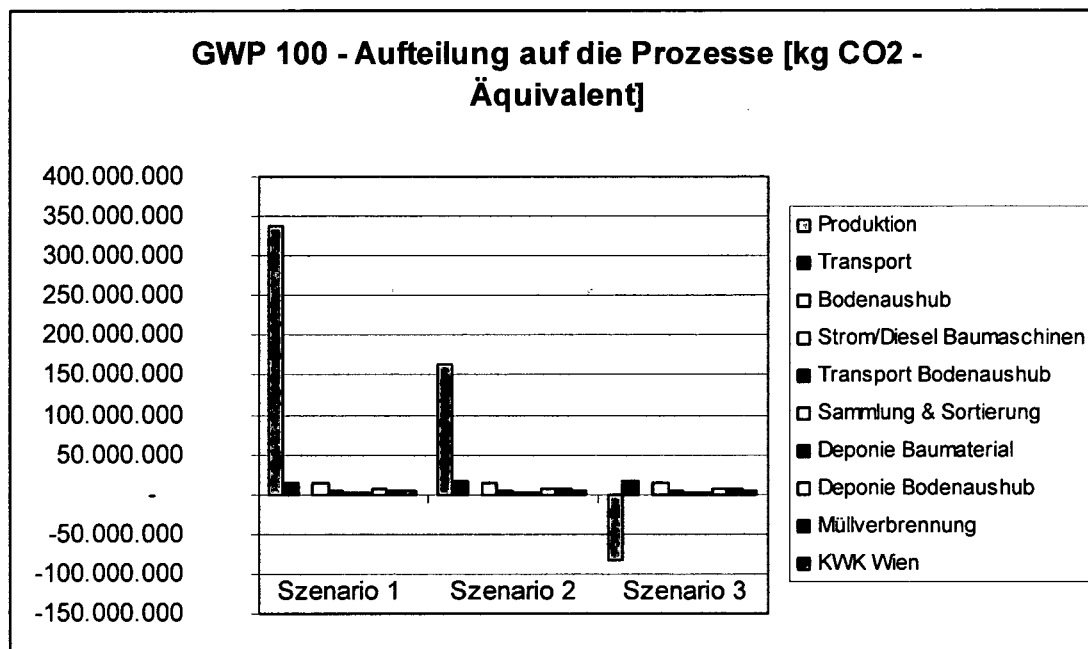


Abbildung 10-22: Darstellung des Treibhauseffektes der einzelnen Prozesse für die drei Szenarien.

Mit knapp 400.000 t an CO<sub>2</sub> – Emissionen hat der Büro- und Wohnbau einen Anteil von knapp 5 % an den Gesamtemissionen an CO<sub>2</sub> – Äquivalenten in Wien. Allerdings finden mit knapp 340.000 t an CO<sub>2</sub> – Äquivalenzemissionen 85 % der Emissionen im Baumaterial produzierenden Hinterland statt. Im Vergleich zu Szenario 1 werden im Szenario 2 ca. 221.000 t an CO<sub>2</sub> – Äquivalenten emittiert (Reduktion um knapp 180.000 t) und bei Szenario 3, wo durch die Speicherung im Holz und die Erdölsubstitution die Bilanz negativ ausfällt, werden um ca. 410.000 t an CO<sub>2</sub> – Äquivalenten weniger emittiert. Die Differenz ist also eine Folge der Speicherung von CO<sub>2</sub> im Produkt, der Substitution von Zement und Stahl in der Produk-

tion und die Substituierung fossiler Energieträger am Lebenszyklusende. Die Bedeutung der Verwertung nach dem letzten Produktlebenszyklus wird anhand eines Beispielen noch in Kapitel 11 gezeigt.

Das Klimaschutzprogramm der Stadt Wien strebt eine Reduktion der treibhauswirksamen Emissionen um 2 Mio. t pro Jahr an. Mit Szenario 2 könnte dazu ein Beitrag von knapp 10 % und mit Szenario 3 ein Beitrag von ca. 20 % geleistet werden.

Der Prozess Produktion ist der bedeutendste Prozess, wobei Beton und Estrich in allen drei Szenarien den bedeutendsten Beitrag liefert, gefolgt von Stahl, Ziegel und den Kunst- und Dämmstoffen. Durch die Berücksichtigung des gespeicherten CO<sub>2</sub> im Holz liefert diese Baustoffgruppe einen negativen Beitrag zur Treibhausgasbilanz. Die Gruppe der Kunst- und Dämmstoffe liefert in den Szenarien zwei und drei einen höheren Beitrag und wird auch relativ zum Gesamtbeitrag bedeutender.

Tabelle 10-9: Beitrag der einzelnen Baumaterialgruppen zum Treibhauseffekt durch den Prozess Produktion für die drei Szenarien.

GWP 100	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
	[kgCO <sub>2</sub> equ.]	[kgCO <sub>2</sub> equ.]	[kgCO <sub>2</sub> equ.]
Holz u. Holzwerkstoffe	-41.207.070	-137.145.880	-269.863.580
Beton, Estrich	250.639.574	200.285.120	102.719.419
Stahl	58.990.855	49.902.372	31.761.818
Ziegel	26.573.939	11.546.159	4.649.721
Sonstige mineralisch	17.998.381	16.739.462	21.959.531
Dämm- u. Kunststoffe	23.751.473	23.454.507	25.329.765

Die graphische Darstellung des Prozesses Produktion für die drei Szenarien zeigt die Umverteilung der Treibgasemissionen bzw. die Speicherung von CO<sub>2</sub> – Äquivalenten im Holz durch die Substitution von Massivbauweisen durch Holzbauweisen.

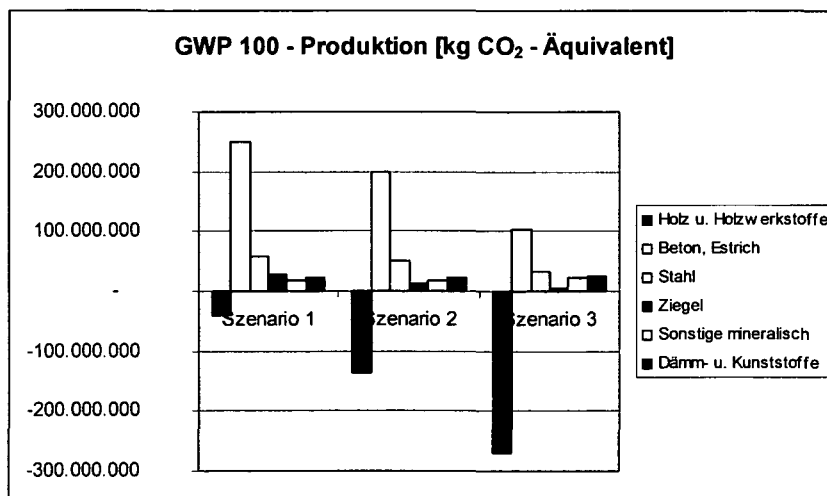


Abbildung 10-23: Beitrag des Prozesses Produktion zum Treibhauspotential für die drei Szenarien.

Bezogen auf einen Quadratmeter Nutzfläche ergibt sich für die drei Szenarien das nachfolgende Bild (Abbildung 10-24):

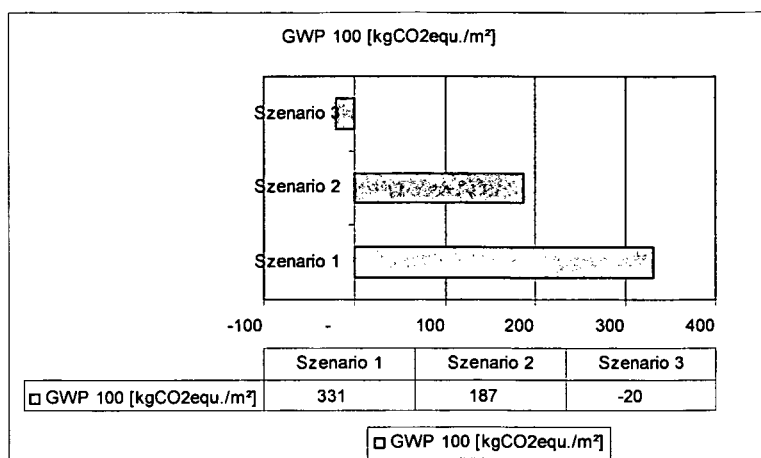


Abbildung 10-24: Darstellung des GWP 100 pro Quadratmeter geschaffener Nutzfläche für die drei Szenarien.

Zum negativen Wert von Szenario 3 ist anzumerken, dass dieser auf dem Aufbau des Lagers beruht. Pro Quadratmeter Wohnfläche werden im eingebauten Holz um 20 kg mehr CO<sub>2</sub> – Äquivalente gespeichert als für die Produktion der Baumaterialien in Summe emittiert wurden. Wird der jährliche Gebäudeabgang entsprechend größer, würde dieser Wert entsprechend in die positive Richtung ansteigen. Beeinflusst wird dieser Wert vom Wirkungsgrad bei der Energieproduktion, welcher fossile Energieträger substituiert wird (Gas, Heizöl, usw.), falls keine Energiegewinnung bei der Entsorgung statt findet oder kompostiert bzw. deponiert wird, so würde die Treibgasbilanz entsprechend höhere Werte liefern. Bei der Wärme- und Stromproduktion muss sichergestellt werden, dass auch tatsächlich Bedarf und Abnehmer vorhanden sind.

Die Art der Verwertung bzw. Entsorgung ist daher für die Treibhausbilanz bei Holzprodukten von entscheidender Bedeutung. Für den Klimaschutz, welcher momentan als eines der vorrangigsten Ziele in der Umweltpolitik angesehen wird [Frühwald 2005], ist daher die effiziente energetische Verwertung am Ende der Produktlebenskette von essentieller Bedeutung.

### 10.6 Stratosphärisches Ozonabbaupotential

Das stratosphärische Ozonabbaupotential wird mittels der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth 2004] auf Basis der CML – Methode [Guineé et al. 2001] berechnet.

Der Wohn- und Bürobau ist seit dem Verbot von stratosphärischem Ozon abbauender Substanzen in den Treibmitteln von Dämmstoffen keine bedeutende Quelle mehr. Allerdings befinden sich im städtischen Lager in den Dämmstoffen noch bedeutende Mengen an ozondezimierenden Dämmschäumen (z.B. FCKW usw.), welche jährlich diese Gase emittieren bzw. im Zuge des nicht sorgfältig durchgeführten Rückbaues in die Atmosphäre entweichen [Obernosterer & Smutny 2002].

Da die Werte einen sehr geringen Betrag darstellen wird auf die Angabe pro Quadratmeter Wohnfläche verzichtet. Auch beim Ozonzerstörungspotential dominiert, allerdings in geringem Ausmaß der Absolutbeträge (Szenario 1 ca. 76 kg, Szenario 2 knapp 58 kg und Szenario 3 rund 30 kg), der Prozess Produktion mit über 85 % Anteil in Szenario 1, 80 % Anteil in



Szenario 2 und über 65 % Anteil in Szenario 3. Die Substitution von Erdöl durch Abbruchholz in der Energieerzeugung führt zu einer weiteren Reduktion der Gesamtemissionen.

Tabelle 10-10: Ozonzerstörungspotential der drei Szenarien für das Jahr 2001.

ODP	Szenario 1 [kgR-11equ.]	Szenario 2 [kgR-11equ.]	Szenario 3 [kgR-11equ.]
Produktion	72,45	54,20	27,25
Transport	2,29	2,47	2,67
Bodenaushub	0,05	0,05	0,05
Strom/Diesel Baumaschinen	1,62	1,62	1,62
Transport Bodenaushub	0,75	0,75	0,75
Sammlung & Sortierung	0,24	0,24	0,24
Deponie Baumaterial	0,72	0,72	0,71
Deponie Bodenaushub	2,07	2,07	2,07
Müllverbrennung	0,01	0,01	0,01
KWK Wien	- 3,84	-4,43	-5,32
<b>Summe</b>	<b>76,37</b>	<b>57,69</b>	<b>30,05</b>

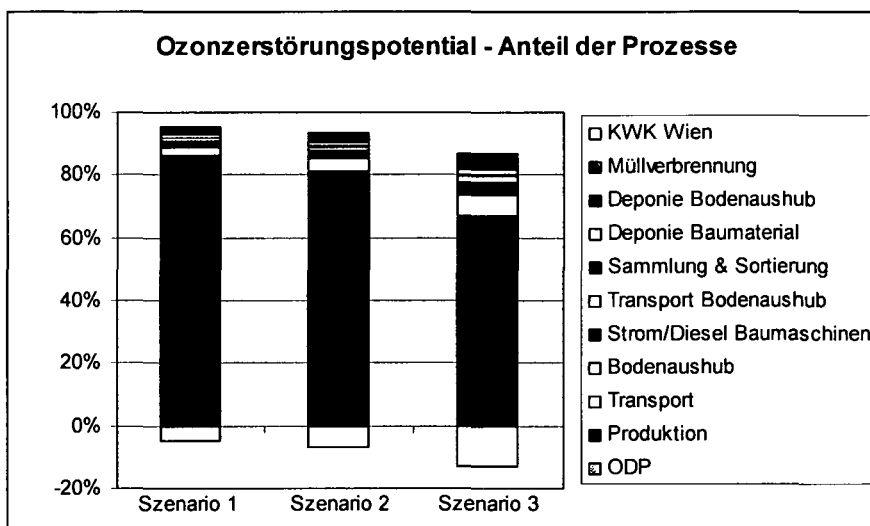


Abbildung 10-25: Darstellung des Ozonzerstörungspotentials, Anteil der Prozesse für die drei Szenarien.

Die Darstellung der Absolutbeträge in Abbildung 10-26 zeigt diesen Trend nochmals deutlich auf.

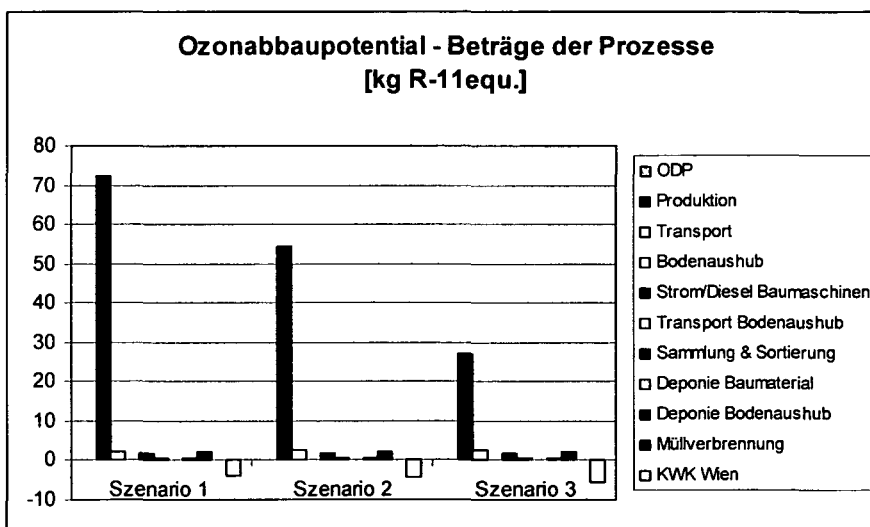


Abbildung 10-26: Ozonabbaupotential, Darstellung der Beiträge der einzelnen Prozesse der drei Szenarien.

Die Darstellung des mengenmäßig bedeutendsten Prozesses Produktion gibt für die drei Szenarien folgendes Bild:

Tabelle 10-11: Darstellung der Beiträge des Prozesses Produktion zum Ozonzerstörungspotential für die drei Szenarien.

ODP - Produktion	Szenario 1 [kgR-11equ.]	Szenario 2 [kgR-11equ.]	Szenario 3 [kgR-11equ.]
Holz u. Holzwerkstoffe	0,56	2,60	5,09
Beton, Estrich	7,22	6,07	3,69
Stahl	3,64	3,07	1,95
Ziegel	1,29	0,60	0,31
Sonstige mineralisch	1,56	1,66	2,42
Dämm- u. Kunststoffe	58,17	40,20	13,79

Zum Ozonzerstörungspotential trägt hauptsächlich die Produktion der Kunst- und Dämmstoffe bei. Vor allem bei Szenario 1, was auch damit zu tun hat, dass bei den Holzbauweisen in den Szenarien 2 und 3 andere Dämmsysteme (anstatt EPS werden verstärkt Holzwoleleichtbauplatten in Kombination mit Steinwolle eingesetzt) verwendet werden. Die graphische Darstellung zeigt diesen Trend optisch sehr deutlich:

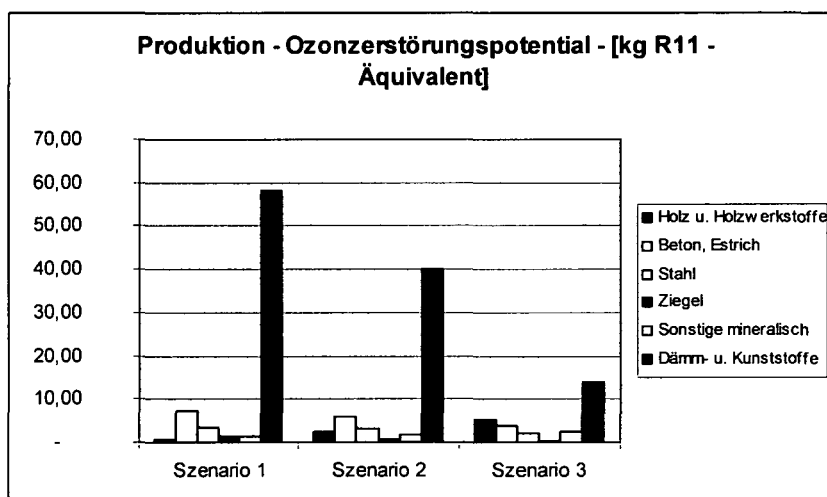


Abbildung 10-27: Darstellung des Ozonzerstörungspotentials des Prozesses Produktion für die drei Szenarien.

Abhängig von den verwendeten Treibmitteln zur Herstellung der geschlossenporigen Dämmplatten könnten für diese Wirkungskategorie auch die Emissionen während der Nutzungsphase und beim Rückbauprozess von großer Bedeutung sein. Allerdings setzt die Dämmstoffindustrie keine Treibmittel mit hohem Ozonzerstörungspotential mehr ein und auch die HFKW – geschäumten Platten werden zusehends durch CO<sub>2</sub> – geschäumte Dämmplatten ersetzt, wodurch die diffusen Verluste auch zum Treibhauseffekt weniger beitragen werden als bisher. Zum Vergleich dazu wird das Lager an Ozonzerstörenden Substanzen in den bis 1993 eingebauten Dämmstoffen mit über 33.000 t ODP-Äquivalenten abgeschätzt [Obernosterer & Smutny 2002]. Hier liegt also ein Sanierungsbedarf an Altlasten vor bzw. handelt es sich hierbei um ein typisches Beispiel, wo in den nächsten Jahrzehnten Stoffe aus dem Bauwesen in die Abfallwirtschaft gelangen, welche in der Errichtung seit über einem Jahrzehnt nicht mehr verwendet werden.

## 10.7 Photooxidantienpotential

Das Photooxidantienpotential wird mittels der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth 2004] auf Basis der CML – Methode [Guineé et al. 2001] berechnet.

Für das Photooxidantienpotential ergeben sich durch den Wohn- und Bürobau die in Tabelle 10-12 dargestellten Werte:

Tabelle 10-12: Darstellung des Photooxidantienpotential der drei Szenarien.

POCP	Szenario 1 [kg Ethylen equ.]	Szenario 1 [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	Szenario 2 [kg Ethylen equ.]	Szenario 2 [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]	Szenario 3 [kg Ethylen equ.]	Szenario 3 [kg Ethylen equ./m <sup>2</sup> ]
Produktion	291.153	0,246251	219.860	0,185953	123.974	0,104855
Transport	3.564	0,003015	3.698	0,003128	3.771	0,003189
Bodenaushub	163	0,000138	163	0,000138	163	0,000138
Strom/Diesel Baumaschinen	4.892	0,004138	4.892	0,004138	4.892	0,004138
Transport Bodenaushub	918	0,000776	918	0,000776	918	0,000776
Sammlung & Sortierung	313	0,000265	317	0,000268	324	0,000274
Deponie Baumaterial	735	0,000622	730	0,000617	726	0,000614
Deponie Bodenaushub	2.107	0,001782	2.107	0,001782	2.107	0,001782
Müllverbrennung	35	0,000030	38	0,000032	44	0,000037
KWK Wien	- 3.667	- 0,003102	-4.238	-0,003584	- 5.091	- 0,004306
<b>Summe</b>	<b>300.213</b>	<b>0,253914</b>	<b>228.485</b>	<b>0,193248</b>	<b>131.828</b>	<b>0,111498</b>

Das Ergebnis zeigt, dass für das Photooxidantienpotential die Produktion im Hinterland mit einem Anteil von 90 – 95 % am bedeutendsten ist. Die Transporte und die Errichtung liegen in der gleichen Größenordnung mit einem Anteil von jeweils rund 1 – 3 %. Die Substitution von Erdöl durch Altholz in der Fernwärmeproduktion reduziert das Photooxidantienpotential in Szenario 1 um etwas mehr als 1 %, bei Szenario 3 beträgt dieser Substitutionseffekt knapp 5 %.

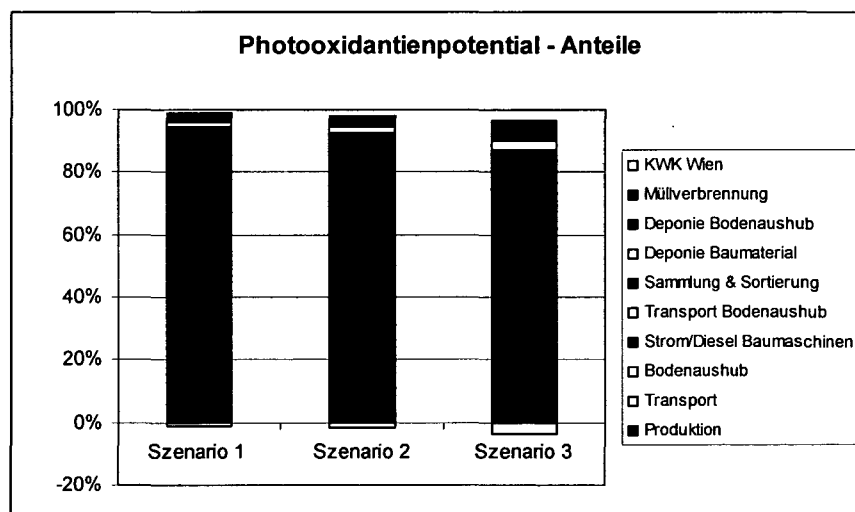


Abbildung 10-28: Prozentanteile der einzelnen Prozesse beim Photooxidantienpotential für die drei Szenarien

Szenario 1 erzeugt ca. 300 t an Ethylen Äquivalenten, über 291 t (97 %) werden im produzierenden Hinterland emittiert. Szenario 2 verursacht über 228 t Emissionen an Ethylen Äquivalenten (Reduktion um rund 25 % gegenüber Szenario 1), die Produktion hat dabei einen Anteil von knapp 220 t (96,5 %). Szenario 3 verursacht knapp 132 t Emissionen an Ethylen Äquivalenten (Reduktion um rund 56 % gegenüber Szenario 1), die Produktion hat dabei einen Anteil von knapp 124 t (94 %). Der Substitutionseffekt der Fernwärmeproduktion beträgt

für Szenario 1 knapp 3,7 t, für Szenario 2 ca. 4,2 t und für Szenario 3 knapp 5,1 t an Ethylen Äquivalenten pro Jahr. Die Transporte und der Errichtungsprozess weisen jeweils zwischen ca. 2 – 5 t Emissionen an Ethylenäquivalenten auf, haben also eine vergleichsweise sehr geringe Bedeutung.

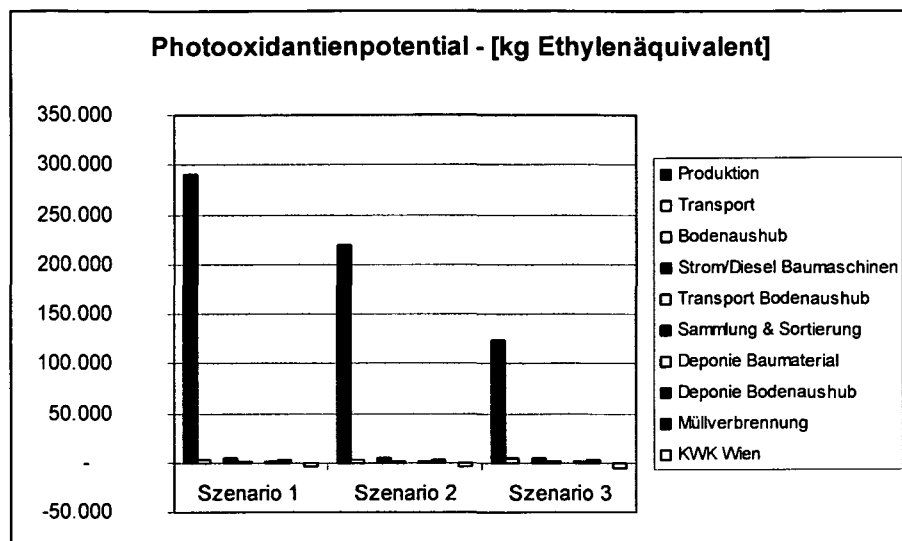


Abbildung 10-29 Darstellung der Beiträge der einzelnen Prozesse zum Photooxidantienpotential der drei Szenarien.

Beim dominierenden Prozess Produktion tragen die einzelnen Baumaterialien wie in Tabelle 10-13 dargestellt zum Photooxidantienpotential bei:

Tabelle 10-13: Darstellung der Beiträge der einzelnen Materialgruppen des Prozesses Produktion zum Photooxidantienpotential für die drei Szenarien.

POCP Produktion	Szenario 1 [kg Ethylen equ.]	Szenario 2 [kg Ethylen equ.]	Szenario 3 [kg Ethylen equ.]
Holz u. Holzwerkstoffe	4.308	18.723	37.759
Beton, Estrich	122.903	81.838	13.931
Stahl	44.344	37.288	23.373
Ziegel	30.538	11.698	849
Sonstige mineralisch	13.992	12.045	7.742
Dämm- u. Kunststoffe	75.067	58.268	40.320

In Szenario 1 trägt laut den Ergebnissen der Ecoinventdatenbank „Beton und Estrich“ am meisten zum Photooxidantienpotential bei. Die bedeutendste Produktgruppe hinsichtlich Photooxidantienpotential innerhalb der Materialgruppe „Beton und Estrich“ sind die Betonfertigteile, welche in Szenario 3 praktisch nicht mehr eingesetzt werden. Es folgen die Dämm- und Kunststoffe vor Stahl und Ziegel. In Szenario drei weisen die Dämm- und Kunststoffe den höchsten Beitrag auf, allerdings ist der Betrag um fast 50 % niedriger als bei Szenario 1.

Das Beton substituierende Holz weist in Szenario 3 zwar den zweithöchsten Beitrag auf, in Summe ist bei Szenario drei jedoch das Photooxidantienpotential deutlich geringer als bei Szenario 1.

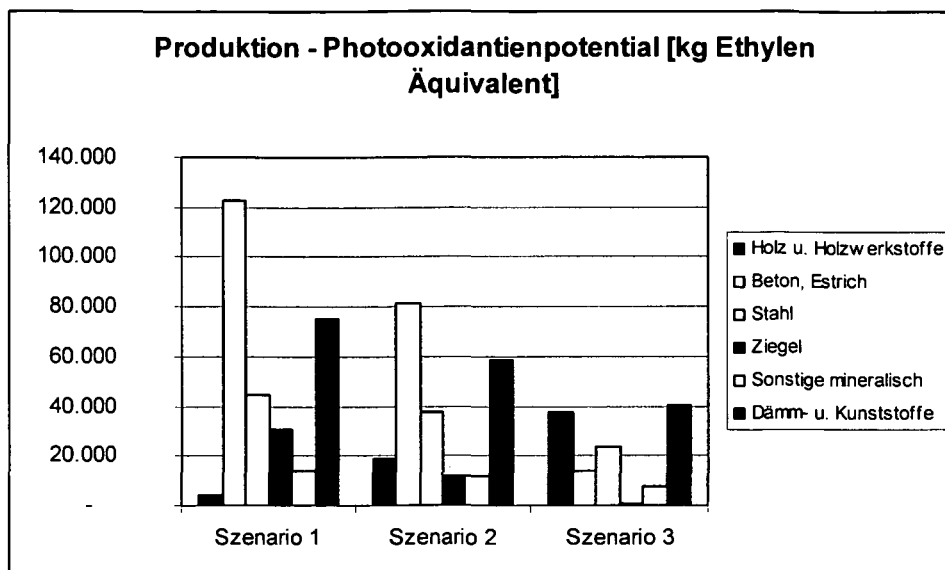


Abbildung 10-30: Darstellung des Photooxidantienpotentials verursacht durch die einzelnen Materialgruppen des Prozesses Produktion für die drei Szenarien.

Bezogen auf 1 Quadratmeter Nutzfläche zeigt sich somit folgendes Bild:

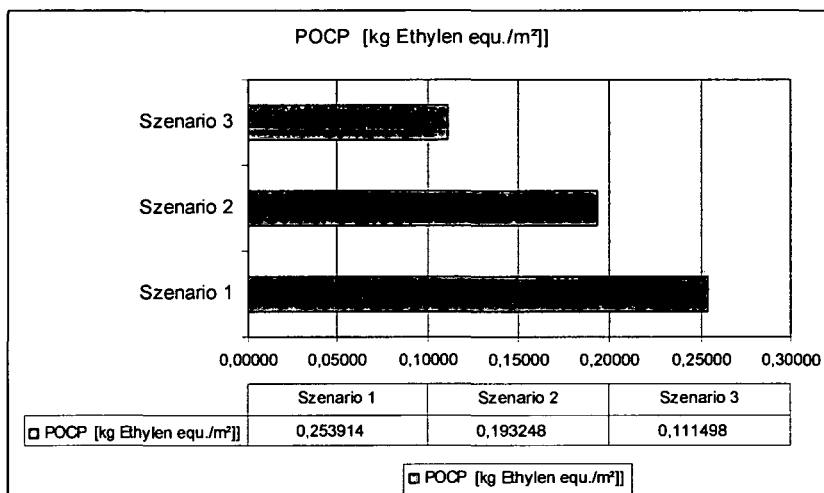


Abbildung 10-31: Photooxidantienpotential pro Quadratmeter Nutzfläche für die drei Szenarien.

## 10.8 Versauerungspotential

Das Versauerungspotential wird mit der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth 2004] auf Basis der CML – Methode [Guineé et al. 2001] berechnet.

Das Versauerungspotential liegt bei allen Szenarien in derselben Größenordnung, Szenario 1 verursacht die Emission von rund 2.074 t an SO<sub>2</sub> – Äquivalenten, Szenario 2 ca. 2.038 t (98 % im Vergleich zu Szenario 1) und Szenario 3 verursacht knapp 1.975 t an SO<sub>2</sub> – Äquivalenzemissionen. Für das vom Büro- und Wohnbau verursachte Versauerungspotential ergeben sich die in Tabelle 10-14 dargestellten Werte:

Tabelle 10-14: Anteile der einzelnen Prozesse am Versauerungspotential für die drei Szenarien.

AP	Szenario 1	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 3
	[kg SO <sub>2</sub> equ.]	[kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	[kg SO <sub>2</sub> equ.]	[kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]	[kg SO <sub>2</sub> equ.]	[kg SO <sub>2</sub> equ./m <sup>2</sup> ]
Produktion	1.443.689	1,2210	1.409.423	1,1921	1.352.474	1,1439
Transport	118.950	0,1006	125.448	0,1061	132.011	0,1117
Bodenaushub	11.650	0,0099	11.650	0,0099	11.650	0,0099
Strom/Diesel Baumaschinen	358.533	0,3032	358.533	0,3032	358.533	0,3032
Transport Bodenaushub	35.482	0,0300	35.482	0,0300	35.482	0,0300
Sammlung & Sortierung	11.282	0,0095	11.352	0,0096	11.446	0,0097
Deponie Baumaterial	38.465	0,0325	38.171	0,0323	37.959	0,0321
Deponie Bodenaushub	110.226	0,0932	110.226	0,0932	110.226	0,0932
Müllverbrennung	1.346	0,0011	1.434	0,0012	1.683	0,0014
KWK Wien	-55.293	-0,0468	- 63.891	- 0,0540	-76.755	-0,0649
<b>Summe</b>	<b>2.074.329</b>	<b>1,7544</b>	<b>2.037.829</b>	<b>1,7236</b>	<b>1.974.709</b>	<b>1,6702</b>

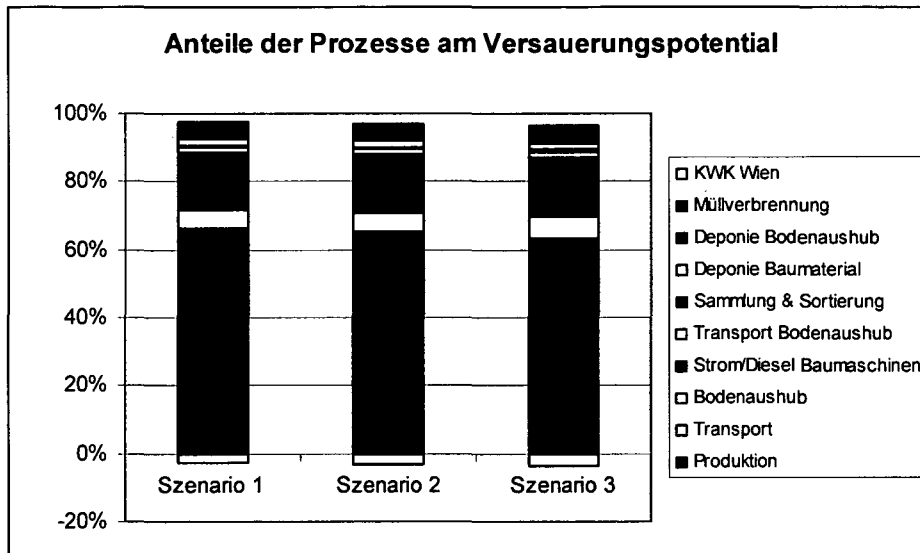


Abbildung 10-32: Anteile der Prozesse am Versauerungspotential für die drei Prozesse.

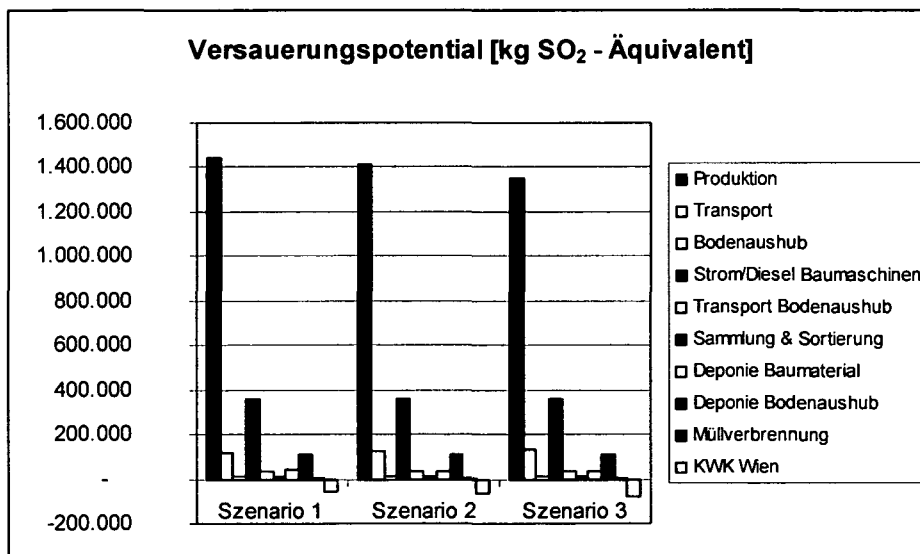


Abbildung 10-33: Beiträge der einzelnen Prozesse zum Versauerungspotential für die drei Szenarien.

Der bedeutendste Prozess ist wiederum die Produktion im Hinterland, welche bei Szenario 1 jährlich ca. 1.444 t (knapp 70 %), bei Szenario 2 knapp 1.410 t (69 %) und bei Szenario 3 rund 1.352 t (68,5 %) beträgt. Einen weiteren nennenswerten Beitrag liefert der Strom- und Dieserverbrauch der Baumaschinen mit knapp 360 t an SO<sub>2</sub> – Äquivalenzemissionen, womit der Anteil jeweils bei rund 18 % liegt. Jeweils knapp über 5 % tragen die Transporte und die Deponierung des Bodenaushubs bei.

Die Fernwärmeproduktion mittels des anfallenden Altholzes bewirkt auch bei der Versauerung einen Substitutionseffekt von 55 t (2,6 %) bei Szenario 1 und 75 t (3,8 %) bei Szenario 3, Szenario 2 liegt betragsmäßig dazwischen.

Der zur Versauerung am meisten beitragende Prozess Produktion untergliedert sich für die einzelnen Materialgruppen wie in Tabelle 10-15 dargestellt:

Tabelle 10-15: Beiträge der einzelnen Materialgruppen des Prozesses Produktion zum Versauerungspotential für die drei Szenarien.

AP - Produktion	Szenario 1 [kg SO <sub>2</sub> equ.]	Szenario 2 [kg SO <sub>2</sub> equ.]	Szenario 3 [kg SO <sub>2</sub> equ.]
Holz u. Holzwerkstoffe	73.228	311.862	614.905
Beton, Estrich	617.147	500.357	272.675
Stahl	349.997	297.463	191.563
Ziegel	158.967	64.953	15.471
Sonstige mineralisch	76.054	72.231	90.451
Dämm- u. Kunststoffe	168.297	162.557	167.409

Auch beim Prozess Produktion liegen die Gesamtsummen der Beiträge zum Versauerungspotential in derselben Größenordnung und ändern sich analog der Änderungen des Materialverbrauchs. Bei den sonstigen mineralischen Baustoffen zeigt sich eine Erhöhung bei Szenario 3, was hauptsächlich mit dem Mehrverbrauch von Gipskartonplatten zu tun hat. Die Dämmstoffe bleiben in etwa im selben Bereich angesiedelt.

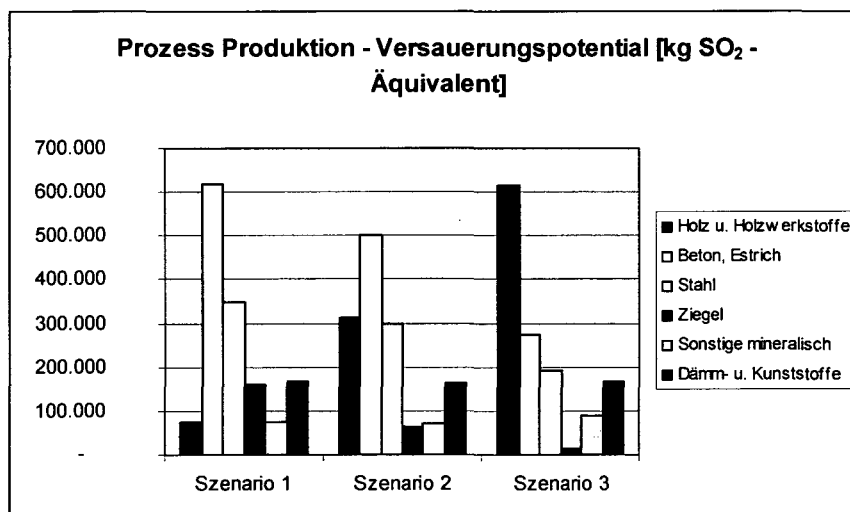


Abbildung 10-34: Beiträge des Prozesses Produktion zum Versauerungspotential für die drei Szenarien.

Die Darstellung des Versauerungspotentials pro Quadratmeter Nutzfläche verdeutlicht nochmals bildlich, dass die drei Szenarien hinsichtlich Versauerung in derselben Größenordnung liegen (Abbildung 10-35).

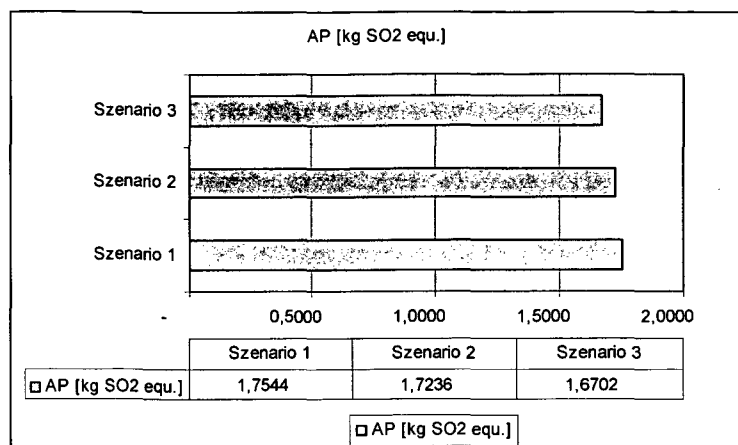


Abbildung 10-35 Versauerungspotential pro Quadratmeter Nutzfläche.

## 10.9 Eutrophierungspotential

Das Eutrophierungspotential wird mittels der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth 2004] auf Basis der CML – Methode [Guineé et al. 2001] berechnet.

Für das vom Wiener Büro- und Wohnbau verursachte Eutrophierungspotential ergeben sich die in Tabelle 10-16 dargestellten Werte:

Tabelle 10-16: Beiträge der einzelnen Prozesse zum Eutrophierungspotential der einzelnen Prozesse.

NP	Szenario 1	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 3
	[kgPO <sub>4</sub> equ.]	[kgPO <sub>4</sub> e-qu./m <sup>2</sup> ]	[kgPO <sub>4</sub> equ.]	[kgPO <sub>4</sub> e-qu./m <sup>2</sup> ]	[kgPO <sub>4</sub> equ.]	[kgPO <sub>4</sub> e-qu./m <sup>2</sup> ]
Produktion	190.890	0,1615	200.294	0,1694	201.640	0,1705
Transport	19.921	0,0168	21.067	0,0178	22.275	0,0188
Bodenaushub	2.095	0,0018	2.095	0,0018	2.095	0,0018
Strom/Diesel Baumaschinen	64.072	0,0542	64.072	0,0542	64.072	0,0542
Transport Bodenaushub	6.042	0,0051	6.042	0,0051	6.042	0,0051
Sammlung & Sortierung	1.913	0,0016	1.925	0,0016	1.939	0,0016
Deponie Baumaterial	6.698	0,0057	6.647	0,0056	6.610	0,0056
Deponie Bodenaushub	19.194	0,0162	19.194	0,0162	19.194	0,0162
Müllverbrennung	416	0,0004	408	0,0003	452	0,0004
KWK Wien	894	0,0008	1.033	0,0009	1.242	0,0011
<b>Summe</b>	<b>312.136</b>	<b>0,2640</b>	<b>322.777</b>	<b>0,2730</b>	<b>325.560</b>	<b>0,2754</b>

Auch bei der Eutrophierung ist der Produktionsprozess mit jeweils über 60 % Anteil an Emissionen von PO<sub>4</sub> – Äquivalenten. Etwas mehr als 20 % Anteil hat jeweils der Errichtungsprozess, zwischen 6 und 7 % Anteil haben die Transporte und die Deponierung des Bodenaushubs. Etwas mehr als 2 % Anteil haben der Transport des Bodenaushubs und die Deponierung der Baurestmassen.

Bei der Überdüngung liefert Szenario 1 den geringsten Anteil mit ca. 312 t pro Jahr, Szenario 2 knapp 323 t (3,5 % mehr als Szenario 1) und Szenario 3 mehr als 325 t an Emissionen von PO<sub>4</sub> – Äquivalenten. Fast <sup>2</sup>/<sub>3</sub> dieser Emissionen kommen aus der Produktion im Hinterland (Szenario 1 über 190 t, Szenario 2 ca. 200 t und Szenario 3 knapp 202 Tonnen an PO<sub>4</sub> – Äquivalenzemissionen). Aus der Errichtung entspringen jeweils rund 64 t an PO<sub>4</sub> – Äquivalenten. Der Substitutionseffekt bei der Fernwärmeerzeugung von Erdöl durch Altholz bewirkt ein Ansteigen der Überdüngung um jeweils rund 1 t an PO<sub>4</sub> – Äquivalenten.



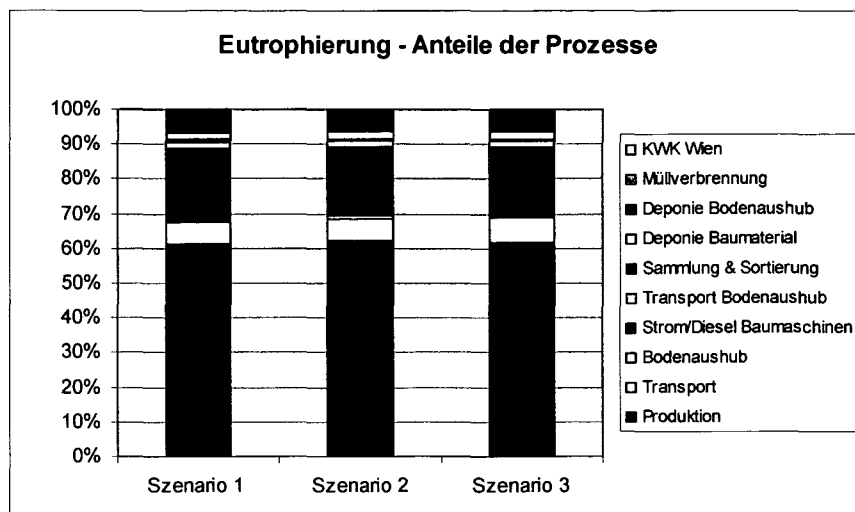


Abbildung 10-36: Darstellung der Prozentanteile der einzelnen Prozesse am Eutrophierungspotential für die drei Szenarien.

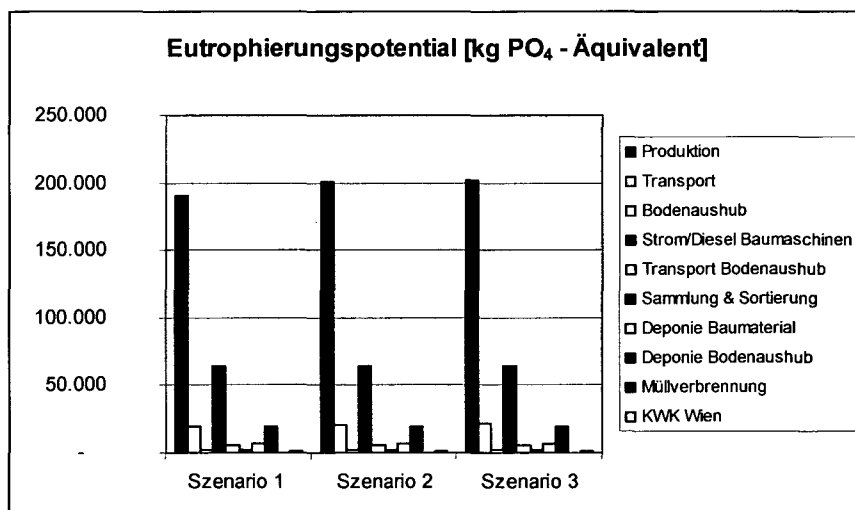


Abbildung 10-37 Anteil der einzelnen Prozesse am Eutrophierungspotential für die drei Szenarien.

Der Prozess Produktion verursacht den größten Beitrag zur Überdüngung (Tabelle 10-17):

Tabelle 10-17: Beitrag der Materialgruppen des Prozesses Produktion zum Eutrophierungspotential der drei Szenarien.

NP - Produktion	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
	[kgPO <sub>4</sub> equ.]	[kgPO <sub>4</sub> equ.]	[kgPO <sub>4</sub> equ.]
Holz u. Holzwerkstoffe	11.830	50.866	99.883
Beton, Estrich	77.250	64.949	39.430
Stahl	71.177	60.112	38.100
Ziegel	9.403	4.153	1.595
Sonstige mineralisch	9.363	9.510	13.056
Dämm- u. Kunststoffe	11.866	10.704	9.575

Mit steigendem Holzeinsatz steigt auch der Anteil am Eutrophierungspotential bei den drei Szenarien, im Gegenzug sinkt bei den substituierten Baumaterialien Stahl und Beton das Eutrophierungspotential ein bisschen langsamer, wodurch das Eutrophierungspotential für die Szenarien 2 und 3 etwas höher ist als bei Szenario 1.

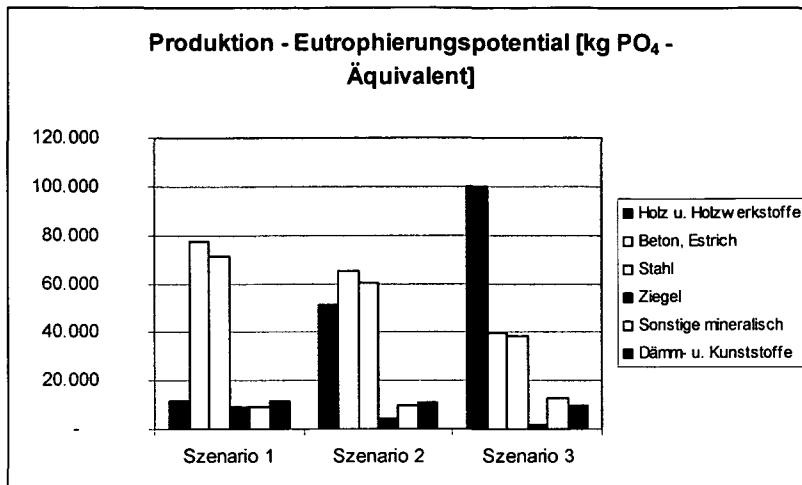


Abbildung 10-38: Beiträge der einzelnen Materialgruppen zum Eutrophierungspotential des Prozesses Produktion für die drei Szenarien.

Bezogen auf einen Quadratmeter Wohnfläche ergibt sich folgendes Bild und zeigt, dass die Überdüngung für alle drei Szenarien in der gleichen Größenordnung liegt:

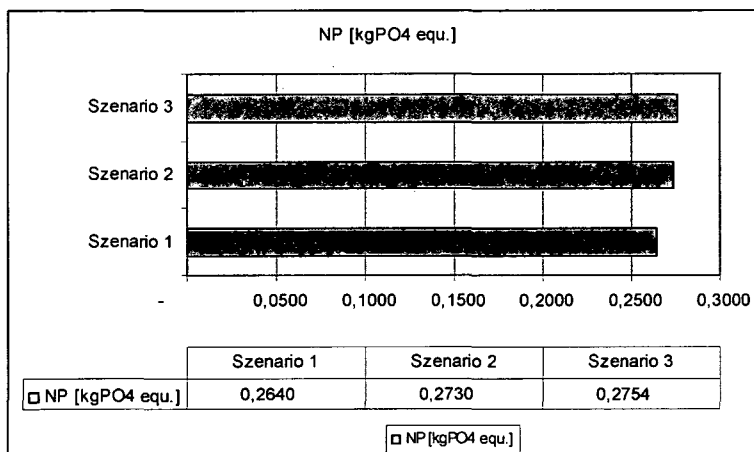


Abbildung 10-39: Darstellung der Überdüngung bezogen auf einen Quadratmeter Nutzfläche für die 3 Szenarien.

## 10.10 Landverbrauch

Der Landverbrauch wird mittels der Ecoinvent 2000 Datenbank [Frischknecht & Jungbluth 2004] auf Basis der CML – Methode [Guineé et al. 2001] berechnet:

Tabelle 10-18: Darstellung des Landverbrauchs für die drei Szenarien.

Landverbrauch	Szenario 1	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 3
	[m <sup>2</sup> /a]	[m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> a]	[m <sup>2</sup> /a]	[m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> a]	[m <sup>2</sup> /a]	[m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> a]
Produktion	173.547.736	147	648.840.709	549	1.214.107.724	1,027
Transport	257.648	0,22	274.553	0,23	292.643	0,25
Bodenaushub	1.500	0,0013	1.500	0,0013	1.500	0,0013
Strom/Diesel Baumaschinen	70.311	0,06	70.311	0,06	70.311	0,06
Transport Bodenaushub	76.380	0,06	76.380	0,06	76.380	0,06
Sammlung & Sortierung	25.615	0,02	25.927	0,02	26.409	0,02
Deponie Baumaterial	502.406	0,42	498.571	0,42	495.797	0,42
Deponie Bodenaushub	1.439.716	1,22	1.439.716	1,22	1.439.716	1,22
Müllverbrennung	3.598	0,0030	3.763	0,0032	4.363	0,0037
KWK Wien	-59.620	-0,05	-68.891	-0,06	-82.762	-0,07
Summe	175.865.291	148,7	651.162.540	550,7	1.216.432.081	1.028,8

Der Landverbrauch ist für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe eine limitierende Größe, da die Ressource Land nur in einem beschränkten Ausmaß zur Verfügung steht und neben der Versorgung des Bauwesens einerseits viele andere Sektoren wie den Nahrungsmittelsektor, die Papierindustrie oder zunehmend auch den Energiesektor bedienen muss und andererseits ist es notwendig unberührten Naturraum zur Sicherung der Artenvielfalt weiterhin zur Verfügung zu stellen.

Szenario 2 benötigt fast die vierfache Landfläche und Szenario 3 die siebenfache Landfläche für alle Ver- und Entsorgungsprozesse im Vergleich zu Szenario 1.

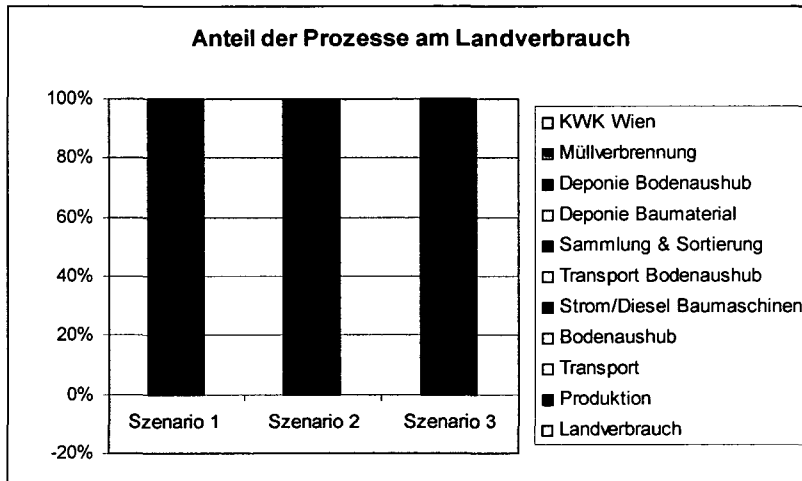


Abbildung 10-40: Anteile der Prozesse am Landverbrauch.

Der Anteil der Produktion bei Szenario 1 beträgt ca. 98,5 %, bei Szenario 2 ca. 99,6 % und bei Szenario 3 rund 99,8. Die verbleibenden Restanteile des Landverbrauchs sind hauptsächlich die Deponierung und zu einem kleinen Anteil der Transport.

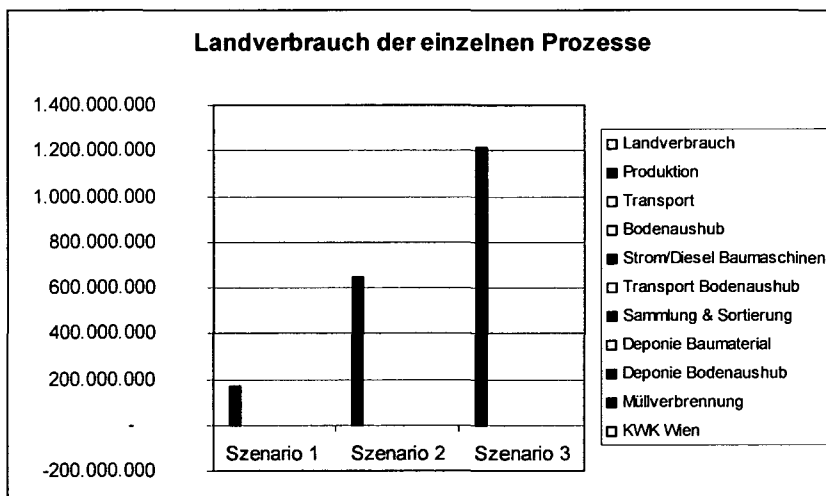


Abbildung 10-41: Darstellung des Landverbrauchs für die einzelnen Prozesse.

Der Prozess „Produktion“ mit den dazugehörigen Vorketten benötigt fast den gesamten Naturraum, für die einzelnen Materialgruppen werden die Daten in Tabelle 10-19 dargestellt.

Tabelle 10-19: Landverbrauch im Prozess Produktion für die drei Szenarien

Landverbrauch	Szenario 1 [m <sup>2</sup> /a]	Szenario 2 [m <sup>2</sup> /a]	Szenario 3 [m <sup>2</sup> /a]
Holz u. Holzwerkstoffe	144.515.104	616.443.108	1.180.476.428
Beton, Estrich	21.509.590	21.858.875	21.203.190
Stahl	1.781.478	1.582.149	1.127.914
Ziegel	1.523.762	620.847	89.636
Sonstige mineralisch	3.945.545	2.880.499	2.160.633
Dämm- u. Kunststoffe	272.256	5.455.231	9.049.923

Der Landverbrauch wird in allen Szenarien von der erforderlichen Fläche für die Holzgewinnung dominiert. Für Szenario 1 werden dafür knapp 15.000 ha Fläche benötigt, für Szenario 2 knapp 62.000 ha und für Szenario 3 knapp 120.000 ha Fläche. Alle anderen Baumaterialien liegen im Flächenbedarf wesentlich niedriger, so ist der Landverbrauch durch Estrich- und Betonprodukte an zweiter Stelle, wobei der Anteil in Szenario 1 bei knapp 15 %, bei Szenario 2 bei ca. 3 % und bei Szenario 3 bei knapp unter 2 % liegt.

Der nahezu konstante Landverbrauch bei Beton und Estrich liegt am verwendeten Datensatz aus der Datenbank Ecoinvent [Frischknecht und Jungbluth, 2004] für Estrichbeton. Bei der Estrichproduktion wird eine große Menge an Holzbiomasse in der Energieproduktion eingesetzt, wodurch sich ein hoher Flächenbedarf für die Bereitstellung dieser Biomasse ergibt. Der Estrichbedarf ist bei den Szenarien 2 und 3 auch etwas höher als bei Szenario 1.

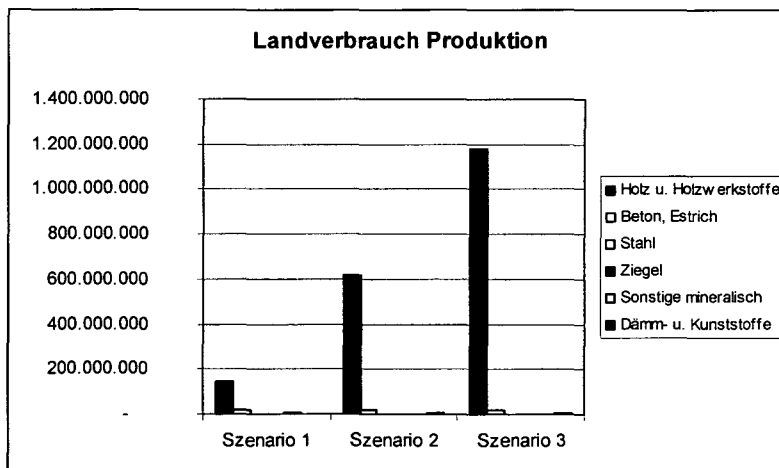


Abbildung 10-42: Darstellung des Landverbrauchs für den Prozess Produktion

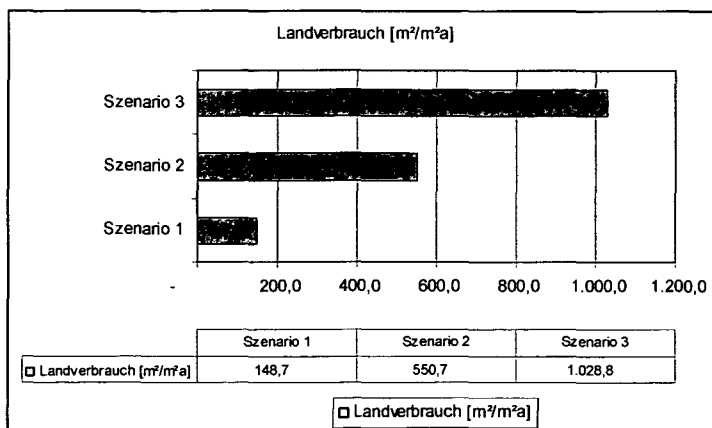


Abbildung 10-43 Darstellung des Landverbrauch pro Quadratmeter Nutzfläche für die drei Szenarien.

## 11 Variantenvergleich mittels der entwickelten Methodik

Anhand des Beispiels des Altholzmanagements von Bau- und Abbruchholz aus dem Wohn- und Bürobau wird abschließend noch demonstriert, wie mit Hilfe der in dieser Studie entwickelten Vorgehensweise Entscheidungshilfen getroffen werden können.

Da der Treibhauseffekt in der politischen Diskussion global im Umweltschutz momentan wohl als eines der wichtigsten Thema bezeichnet werden kann und etwaige Umsetzungen mit dem Ziel des Klimaschutzes auch wirtschaftlich weit reichende Konsequenzen haben, sollen verschiedene Möglichkeiten des Managements von Bau- und Abbruchholz hinsichtlich ihres Treibhauswirkungspotentials miteinander verglichen werden. Zusätzlich werden noch die Auswirkungen auf den Flächenverbrauch dargestellt.

Zu diesem Zweck wird der für Bau- und Abbruchholz entscheidende Systemteil heraus genommen und in den folgenden Abbildungen dargestellt (siehe Abbildung 11-1, Abbildung 11-2, und Abbildung 11-3)

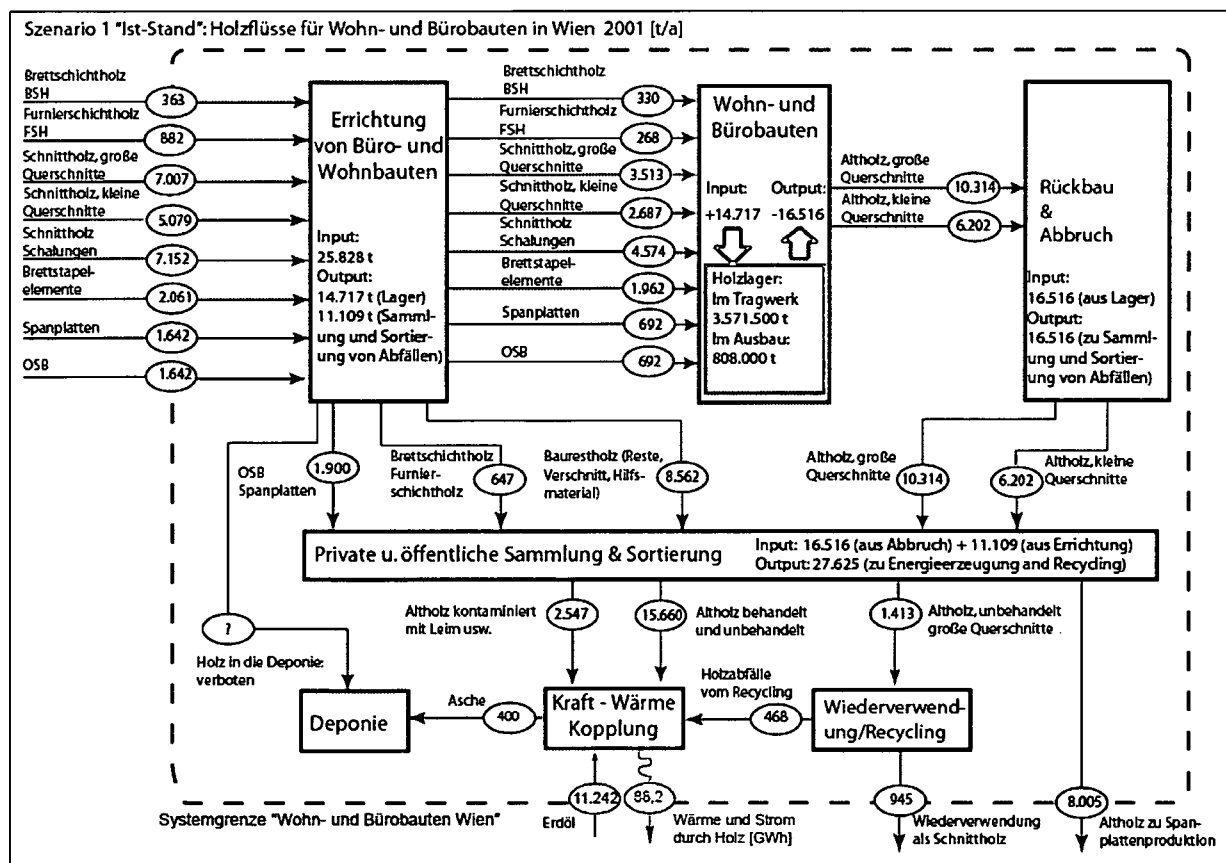


Abbildung 11-1: Holzflüsse aus dem Wohn- und Bürobau 2001 Ist - Stand – Szenario 1

Bei Szenario 1 (Ist – Stand) gehen jährlich knapp 26.000 t an Holz und Holzprodukten in den Büro- und Wohnbau, davon fallen über 11.100 t sofort als Abfall an (1.900 t Holzwerkstoffe, knapp 650 t Brettschicht- und Furnierschichtholz und über 8.500 t Schnittholz bestehend aus

Verschnitt, sonstigen Resten, Hilfsmaterial wie Gerüstpfosten, Holz für Absicherungen und Abstützungen, Schalholz, Holz für diverse Baustelleneinrichtungen usw.). Diese Fraktion des Altholzes wird nach kurzer Nutzungsdauer, wobei Hilfsmaterial auch öfter zum Einsatz kommen kann, zu Altholz und gelangt in die Sammlung und Sortierung. Es wird in dieser Studie angenommen, dass innerhalb des Bilanzierungsjahres dieses Holz von der Anwendung bis zur Entsorgung gelangt. Die temporäre Speicherung von Kohlenstoff wird somit neutralisiert und hat für das Ergebnis der CO<sub>2</sub> – Bilanz keine Auswirkung, da die Menge an emittierten CO<sub>2</sub> bei der thermischen Verwertung wieder als positiver Wert bilanziert wird. Da es sich bei dieser Fraktion um eher kleinteilige Stücke (Verschnitt usw.) bzw. um beschädigte (z.B. mehrere Anwendungen als Schalholz und dergleichen) oder mit diversen Anhaftungen (Betonreste, Zement usw.) versehene Holzteile handelt wird angenommen, dass diese Fraktion komplett thermisch verwertet wird.

Etwas mehr als 14.700 t gelangen jährlich in Form von eingebauten Konstruktionsteilen in das Lager und verbleiben dort im Tragwerk über die gesamte Gebäudelebensdauer (80 und mehr Jahre). Die in diesen Tragwerksteilen gespeicherten CO<sub>2</sub> - Äquivalente liefern in der Treibhausbilanz einen negativen Beitrag.

Aus dem Gebäudelager über den Abbruch gelangen über 16.500 t an durchschnittlich 80 und mehr Jahre alten Abbruchholz in die Sammlung und Sortierung von Baurestmassen. Diese Fraktion beinhaltet ca. 10.300 t an unbehandeltem Holz mit großen Querschnitten und ca. 6.200 t an Abbruchholz mit kleinen Querschnitten. Diese Holzfraktion, vor allem die großen Querschnitte mit durchschnittlichen Längen von 4 – 6 m, beinhaltet ein hohes Potential für Wiederverwendung und Recycling. Aus der Differenz zwischen Input und Output aus dem Gebäudelager ergibt sich beim Holzlager in den Gebäuden ein Abgang von ca. 2.000 t, d.h. momentan schrumpft das Holzlager im Gebäudebestand.

Aus der Sammlung und Sortierung gelangen rund 8.000 t in die Spanplattenerzeugung. Weitere knapp 1.500 t an Altholz gelangen in das Sägewerk Schuh, davon kommen knapp 950 t in neue Produkte und knapp 470 t gelangen als Abfälle vom Recyclingprozess in die thermische Verwertung. Über 18.200 t an Bau- und Abbruchholz gelangen aus der Sammlung und Sortierung direkt in die Kraft – Wärme - Kopplung. Die Kraft – Wärme - Kopplung dient zur Erzeugung von Fernwärme und Strom. In Wien werden dafür jährlich ca. 11.200 t an Heizöl eingesetzt [MA 66, 2002], daher erfolgt die Substitutionsrechnung so, dass die aus Holz gewonnene Energie Heizöl substituiert. Die Asche, rund 400 t, aus der Verbrennung gelangt in die Deponie.

Bei Szenario 2 werden dieselben Transferkoeffizienten (34 % Recycling und 66 % thermische Verwertung) wie für den Ist – Stand bei der Aufteilung der Holzflüsse angenommen. Jährlich gehen knapp 90.000 t an Holz und Holzprodukten in den Büro- und Wohnbau, davon fallen über 15.400 t sofort als Abfall an (2.300 t Holzwerkstoffe, knapp 1.600 t Brett-schicht- und Furnierschichtholz und knapp 11.500 t Schnittholz).

Etwas mehr als 73.300 t gelangen jährlich in Form von eingebauten Konstruktionsteilen in das Lager und verbleiben dort im Tragwerk über die gesamte Gebäudelebensdauer. Die in diesen Tragwerksteilen gespeicherten CO<sub>2</sub> - Äquivalente liefern in der Treibhausbilanz einen negativen Beitrag.

Aus dem Gebäudelager über den Abbruch gelangen dieselben Mengen wie in Szenario 1, da sich die Änderungen im Input erst nach einer Gebäudelebensdauer im Output merklich auswirken werden. Der jährliche Lagerzuwachs für Szenario 2 beträgt ca. 57.000 t.

Aus der Sammlung und Sortierung gelangen rund 9.400 t in die Spanplattenerzeugung. Weitere 1.500 t an Altholz gelangen in das Sägewerk Schuh, davon kommen ca. 1.000 t in neue Produkte und rund 500 t gelangen als Abfälle vom Recyclingprozess in die thermische Verwertung. Über 21.500 t an Bau- und Abbruchholz gelangen aus der Sammlung und Sortierung direkt in die Kraft – Wärme - Kopplung. Die Asche aus der Verbrennung, etwas mehr als 500 t, gelangt in die Deponie.

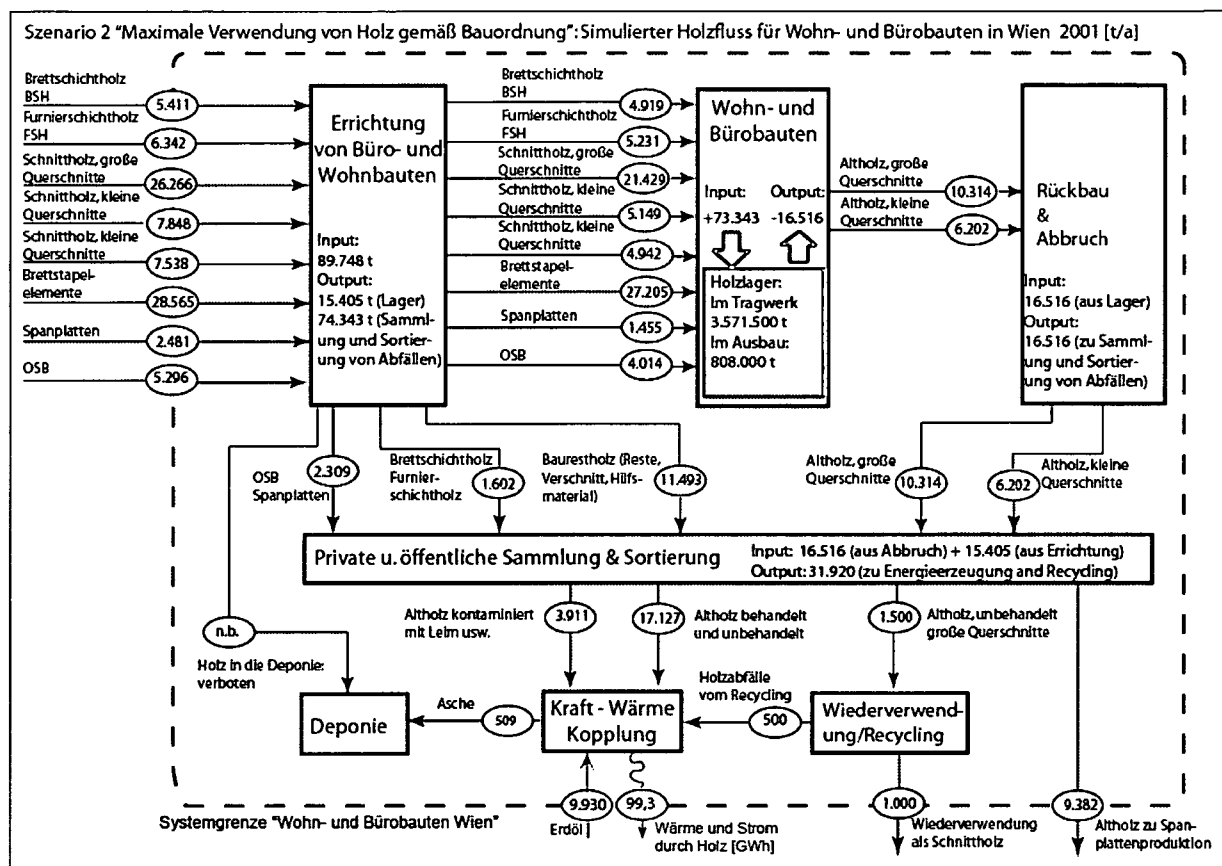


Abbildung 11-2: Simulierte Holzflüsse aus dem Wohn- und Bürobau 2001 – Szenario 2

Bei Szenario 3 werden ebenfalls dieselben Transferkoeffizienten (34 % Recycling und 66 % thermische Verwertung) wie für den Ist – Stand bei der Aufteilung der Holzflüsse angenommen. Jährlich gehen über 178.000 t an Holz und Holzprodukten in den Büro- und Wohnbau, davon fallen über 28.800 t sofort als Abfall an (3.500 t Holzwerkstoffe, über 2.600 t Brettschicht- und Furnierschichtholz und knapp 15.700 t Schnittholz).

Etwas mehr als 156.500 t gelangen jährlich in Form von eingebauten Konstruktionsteilen in das Lager und verbleiben dort im Tragwerk über die gesamte Gebäudelebensdauer. Die in diesen Tragwerksteilen gespeicherten CO<sub>2</sub> - Äquivalente liefern in der Treibhausbilanz einen negativen Beitrag.

Aus dem Gebäudelager über den Abbruch gelangen dieselben Mengen wie in Szenario 1, da sich die Änderungen im Input erst nach einer Gebäudelebensdauer im Output merklich auswirken werden. Der jährliche Lagerzuwachs für Szenario 3 beträgt ca. 140.000 t.

Aus der Sammlung und Sortierung gelangen knapp 11.600 t in die Spanplattenerzeugung. Weitere 1.500 t an Altholz gelangen in das Sägewerk Schuh, davon kommen ca. 1.000 t in neue Produkte und rund 500 t gelangen als Abfälle vom Recyclingprozess in die thermische Verwertung. Über 25.700 t an Bau- und Abbruchholz gelangen aus der Sammlung und Sortierung direkt in die Kraft – Wärme - Kopplung. Die Asche aus der Verbrennung, etwas mehr als 500 t, gelangt in die Deponie.

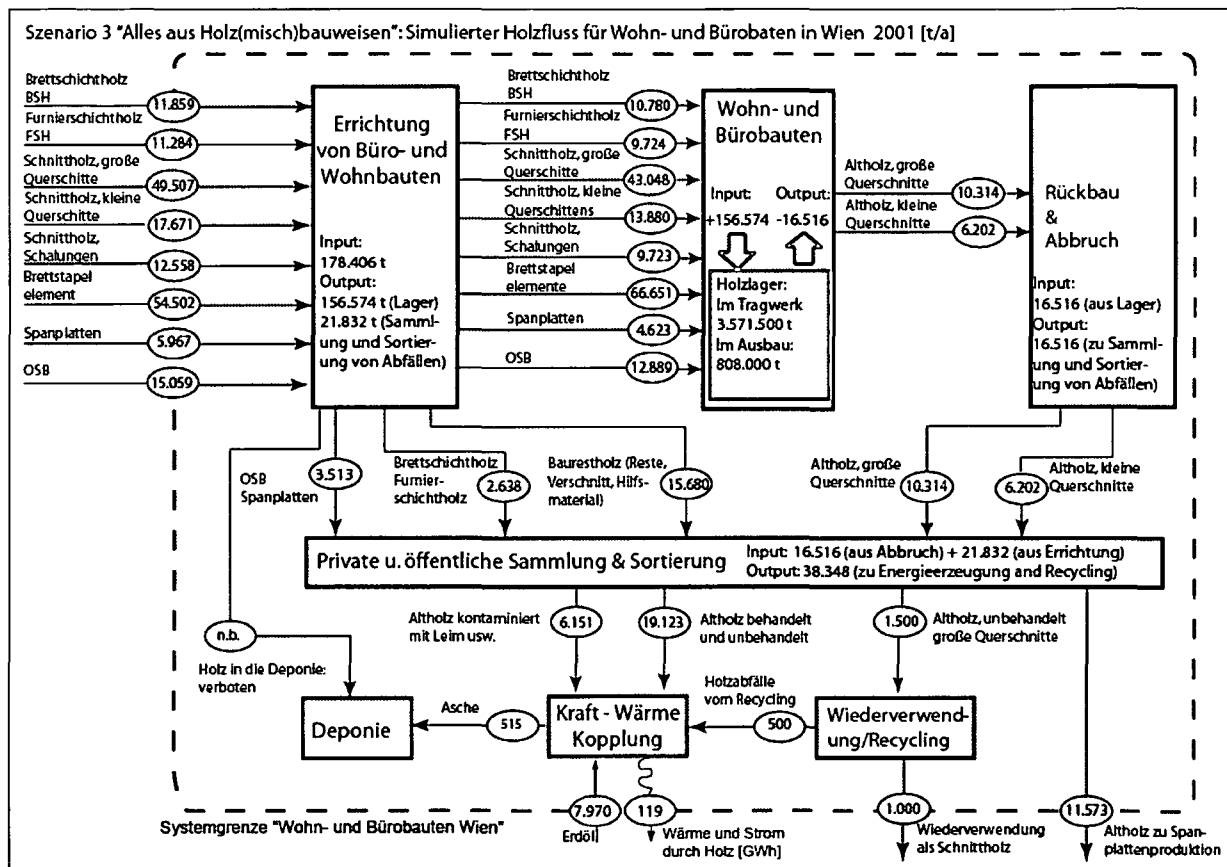


Abbildung 11-3: Simulierter Holzfluss aus dem Wohn- und Büroabau 2001– Szenario 3

Die Berechnung der soeben beschriebenen Holzflüsse und der zugehörigen Prozesse erfolgt mit der Datenbank Ecoinvent 2000 [Frischknecht & Jungbluth 2004] auf Basis der CML – Methode [Guineé et al. 2001]. Die Berechnung der Datensätze erfolgt wie in den Kapiteln 9.6 und 10, es wurden die Daten für die Prozesse „Sammlung und Sortierung“, die erforderlichen Transporte, „KWK – Wien“ und „Deponie“ der hier behandelten Güter herangezogen. Daraus ergeben sich die im Folgenden beschriebenen Ergebnisse.

Für die drei Szenarien ergeben sich für die Sammlung und Sortierung des Altholzes (Transporte), die Deponierung (Asche), Kraft – Wärme – Kopplung Wien (Aufbereiten und Zerkleinern des Altholzes, Emissionen aus Verbrennung) und dem Recycling die folgenden treibhauswirksamen Emissionen, wobei sich die Ergebnisse der einzelnen Szenarien nur durch



die Holzmenngen unterscheiden, da für alle Szenarien die gleichen Transferkoeffizienten gewählt wurden.

Tabelle 11-1: Beiträge des Sekundärressourcen Managements von Altholz zum Treibhauseffekt für die drei Szenarien.

GWP	Szenario 1 [t CO <sub>2</sub> equ.]	Szenario 2 [t CO <sub>2</sub> equ.]	Szenario 3 [t CO <sub>2</sub> equ.]
Sammlung und Sortierung	144	166	199
Deponie	9	12	12
Aufbereitung und Verbrennung	1.572	1.813	2.170
Recycling	170	198	243
Summe	1.895	2.189	2.624

Die graphische Darstellung zeigt (Abbildung 11-4), dass die Aufbereitung und Verbrennung den bedeutendsten Beitrag liefert. Diese Summe setzt sich aus der Zerkleinerung des Altholzes in einer elektrisch betriebenen Zerkleinerungsanlage, den treibhauswirksamen Emissionen im Verbrennungsprozess (ohne neutralen Anteil, dieser wird im nächsten Schritt berücksichtigt) und der Infrastruktur. Bei der Sammlung und Sortierung wurden die Transporte berücksichtigt, ebenso beim Recycling.

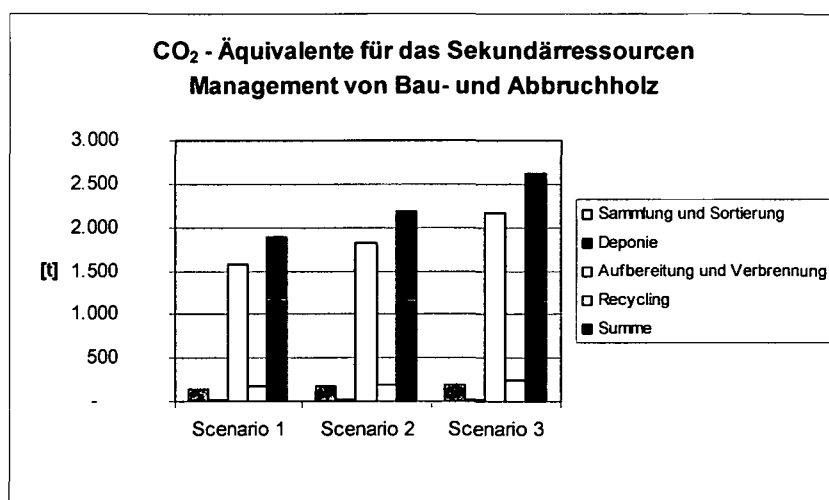


Abbildung 11-4: Darstellung der Beiträge des Sekundärressourcen Managements von Altholz zum Treibhauseffekt für die drei Szenarien.

Somit kann für die drei Szenarien die Treibhausbilanz für die drei Szenarien dargestellt werden.

Tabelle 11-2: Bilanz der CO<sub>2</sub> - Äquivalente für das Subsystem „Sekundärressourcen Management Altholz“ für die drei Szenarien des Wiener Wohn- und Bürobaues 2001.

GWP 100	Szenario 1 [t CO <sub>2</sub> equ.]	Szenario 2 [t CO <sub>2</sub> equ.]	Szenario 3 [t CO <sub>2</sub> equ.]
Sekundärressourcenmanagement	1.895	2.189	2.624
Substitution von Erdöl	-32.150	-37.079	-44.371
Neutrale Emissionen aus dem Lager	34.213	39.458	47.218
CO <sub>2</sub> - Äquivalente gespeichert im Recyclingprodukt	-16.397	-19.022	-23.036
Bilanzsumme	-12.440	-14.453	-17.565

Die Treibhausbilanz setzt sich aus den Emissionen aus den Prozessen des Sekundärressourcen Managements (siehe auch Tabelle 11-1), den Emissionen an CO<sub>2</sub> - Äquivalenten aus der Holzverbrennung für die Erzeugung von Fernwärme, den substituierten Emissionen der Erdölverbrennung (negativ) und der Menge an weiterhin gespeicherten CO<sub>2</sub> - Äquivalenten in den Recyclingprodukten dar. Die an sich als neutral zu bilanzierenden Emissionen aus

der Holzverbrennung müssen in diesem Fall deshalb eingesetzt werden, da im Gesamtsystem die Speicherung der bei der Holzbildung gebundenem CO<sub>2</sub> – Äquivalente als negativer Wert eingesetzt wurde.

Die drei Szenarien unterscheiden sich nur durch die Mengen an in das System kommenden Bau- und Abbruchholz, da für alle Szenarien die gleichen Transferkoeffizienten verwendet werden.

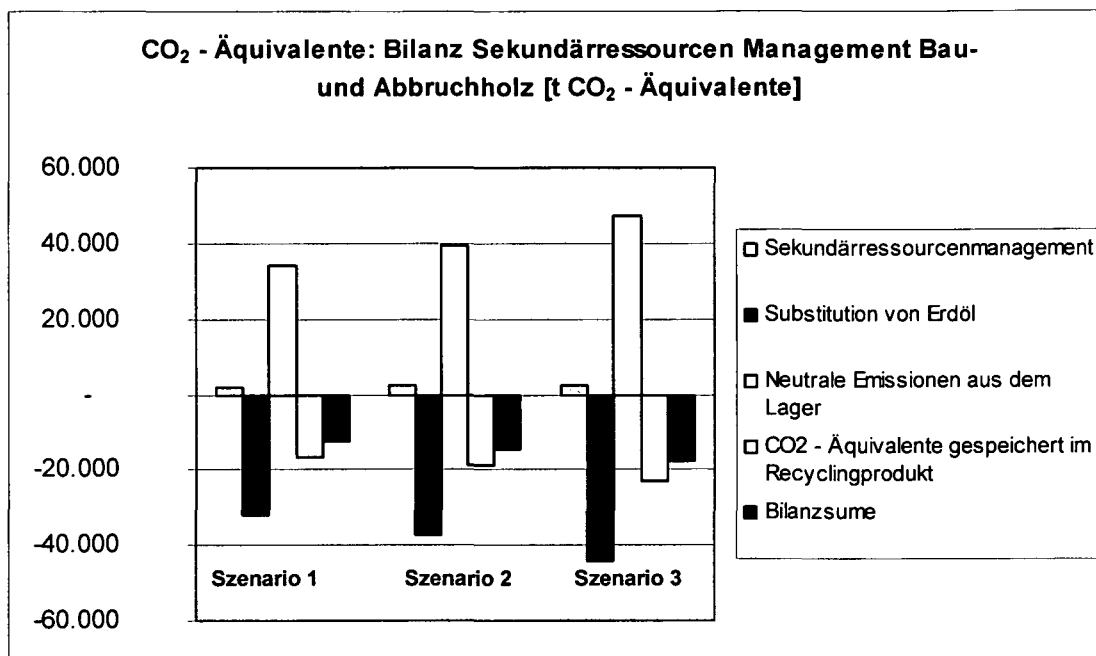


Abbildung 11-5: Bilanzierung der CO<sub>2</sub> – Äquivalente über das Subsystem Sekundärressourcen Management con Bau- und Abbruchholz.

Das Ergebnis zeigt, dass die Substitution fossiler Energieträger und die weitere Speicherung in Produkten aus Abbruchholz zu einer negativen Bilanz im Sekundärressourcenmanagement führen. Voraussetzung dafür ist ein hoher Wirkungsgrad bei der Energieerzeugung, die mögliche Substitution von Erdöl (bei der Substitution von Erdgas ist der Substitutionseffekt entsprechend geringer) und der Verbleib der Produkte aus Sekundärressourcen im System, um sicher zu stellen, dass eine energetische Nutzung am Lebenszyklusende erfolgt. Für Szenario 1 wird in der Folge noch ein Vergleich verschiedener Verwertungsoptionen gezeigt, welcher diese Bedingungen untermauert.

Der Recyclingprozess selbst ist außerhalb des Systems, da die Aufwendungen dafür dem neuen Produkt zugeordnet werden. Der Recyclingprozess muss mit jenen Produkten aus Primärressourcen verglichen werden, welche durch die Recyclingprodukte ersetzt werden.

Für Szenario 1 werden nachfolgend verschiedene Verwertungs- und Entsorgungsoptionen miteinander verglichen. Insgesamt gelangen in Szenario 1 ca. 27.625 t an Bau- und Abbruchholz in das Sekundärressourcen Management. Es werden für die Transportdistanzen und die verwendeten Anlagen die selben Annahmen wie in den Kapiteln 9.6 und 10 verwendet. Es werden drei Fälle miteinander verglichen, wobei Fall 1 eine maximale energetische Verwertung simuliert, Fall 2 maximales Recycling mit einem geringen Anteil an energetischer Verwertung und schließlich Fall 3 die Auswirkungen der Deponierung veranschaulicht.

**Fall 1:**

Die gesamte Menge von 27.625 t wird in einer Kraft – Wärme - Kopplung zur Energieproduktion eingesetzt. Dabei werden 470 TJ an nutzbarer Fernwärme erzeugt, damit werden knapp 12.800 t an Heizöl substituiert werden. Ca. 550 t an Asche müssen deponiert werden. Es entstehen keine Holzprodukte, welche weiterhin CO<sub>2</sub> – Äquivalente speichern. Gegenüber Fall 2 sind allerdings 15.760 ha Waldfläche erforderlich, um jene Holzprodukte produzieren zu können, welche im Fall 2 durch Recyclingprozesse aus Sekundärressourcen erzeugt werden. Es wird die Annahme getroffen, dass die Herstellung der in Fall 2 produzierten Produkte aus Sekundärressourcen die gleichen Emissionen verursacht als die Herstellung aus Primärressourcen und somit nicht verglichen werden müssen.

**Fall 2:**

Von den 27.625 t an Bau- und Abbruchholz wird die unbehandelte Fraktion zur Gänze der stofflichen Verwertung zugeführt (ca. 22.625 t). Die 10.000 t an großen Querschnitten werden der Wiederverwendung und dem Einschneiden zu Schnittholz zugeführt. Dabei entstehen 6.670 t an Schnittholz aus Sekundärprodukten, welche weiterhin CO<sub>2</sub> – Äquivalente speichern, und 3.330 t an Abfällen, welche zur Weiterverwertung in der Spanplattenindustrie gebracht werden (Annahme: 80 km Transport). In die Spanplattenproduktion werden also 12.625 t an Altholz direkt aus der Sammlung und Sortierung und weitere 3.330 t aus dem Schnittholzverwertungsprozess gebracht. Damit wird insgesamt 15.955 t an Holz in Spanplatten gespeichert. Insgesamt 5.000 t an behandeltem Holz bzw. kontaminiertem Holz (Leim, Zement usw.), welches für die stoffliche Verwertung nicht geeignet ist, wird thermisch verwertet. Daraus werden 85 TJ an Fernwärme produziert, zusätzlich müssen 385 TJ an Fernwärme mittels Heizöl erzeugt werden, um die gleiche Energiemenge wie in Fall 1 produzieren zu können. Die Holzprodukte aus Sekundärressourcen substituieren eine Waldfläche von ca. 15.760 ha gegenüber Fall1. Ca. 100 t an Asche müssen zur Deponie transportiert und dort deponiert werden.

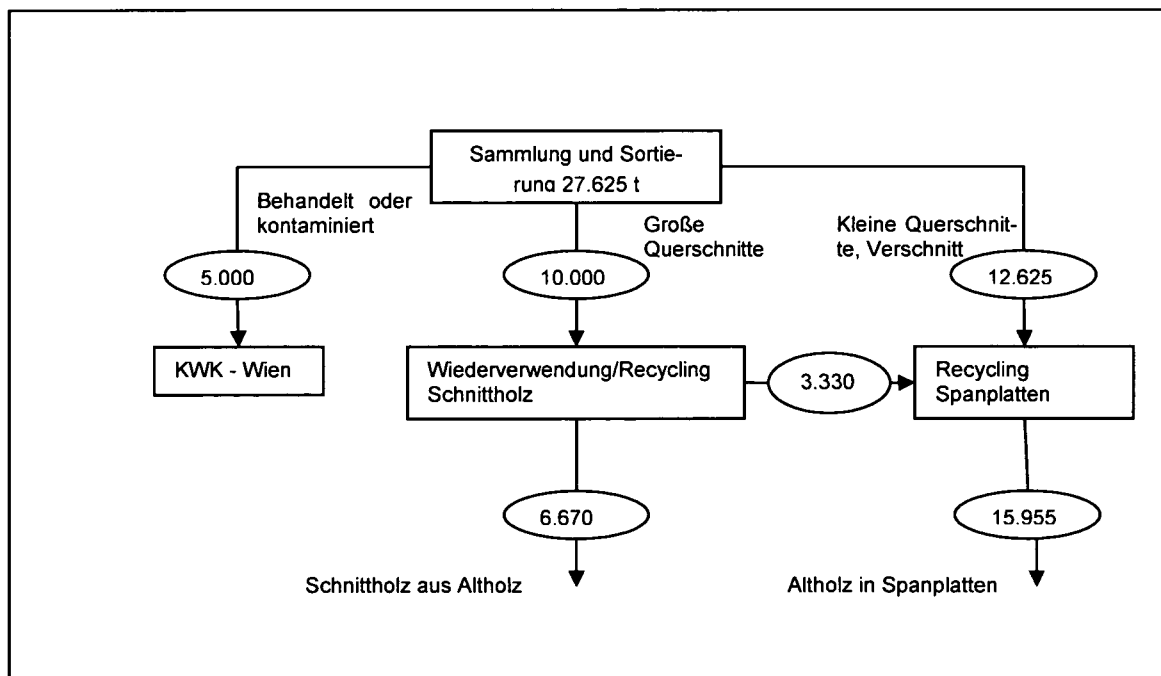


Abbildung 11-6: Darstellung der Altholzflüsse für Fall 2.

**Fall 3:**

Das gesamte anfallende Altholz aus Errichtungsprozess und Abbruch wird deponiert. Diese Option ist durch die Deponieverordnung 1996 in Österreich zwar ausgeschlossen, in anderen Ländern aber noch durchaus üblich. Für diesen Fall müssen im Vergleich zu Fall 1 470 TJ an Fernwärme mittels Heizöl produziert werden. Es gibt dadurch auch keine Flächensubstitution für die Gewinnung von Primärressourcen.

Für die drei Fälle ergeben sich somit für die Prozesse des Sekundärressourcen Managements die in der nachfolgend gezeigten Abbildung folgende CO<sub>2</sub> –Äquivalenzemissionen.

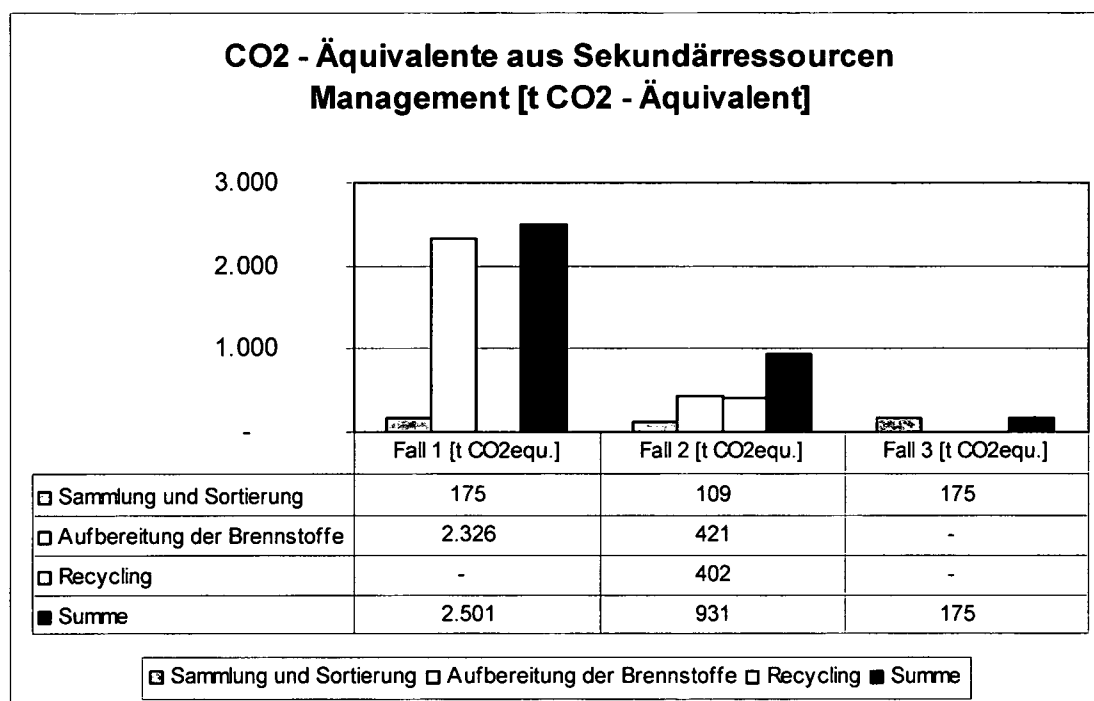


Abbildung 11-7 Darstellung der CO<sub>2</sub> –Äquivalenzemissionen aus dem Sekundärressourcen Management für die drei Fälle.

Die Gesamtbilanz über das gesamte Teilsystem wird in der nachfolgenden Tabelle 11-3 dargestellt.

Tabelle 11-3 Darstellung der CO<sub>2</sub> – Äquivalenzbilanz der 3 untersuchten Fälle.

GWP 100	Fall 1 [t CO <sub>2</sub> equ.]	Fall 2 [t CO <sub>2</sub> equ.]	Fall 3 [t CO <sub>2</sub> equ.]
Sekundärressourcen Management	2.501	931	175
Deponie	13	2	40.667
Substitution von Heizöl	-47.558	-8.608	-
Fossile Emissionen Erdöl	-	38.950	47.558
Neutrale Emissionen aus dem Lager	50.609	9.160	-
CO <sub>2</sub> - Äquivalente gespeichert im Recyclingprodukt	-	-35.352	-
Bilanzsumme	5.565	5.084	88.400

Das Ergebnis zeigt, dass bei ausschließlich thermischer Verwertung mit Fernwärmeproduktion knapp 50.000 t an fossilen CO<sub>2</sub> – Äquivalenzemissionen substituiert werden können. Gleichzeitig werden etwas mehr als 50.000 t an im ursprünglich im Holzlager der Gebäude gespeicherten CO<sub>2</sub> – Äquivalenten in die Atmosphäre emittiert. Diese an sich als neutral zu

bilanzierenden Emissionen aus der Holzverbrennung werden deshalb in die Bilanz aufgenommen, da diese Emissionen bei der Produktion als Speicher mitbilanziert wurden. Für das Gesamtsystem bedeutet das, dass letztlich nur die langfristig im Gebäudelager gespeicherten CO<sub>2</sub> – Emissionen in der Gesamtbilanz verbleiben. Die Bilanzsumme für Fall 1 weist somit die Emissionen für Aufbereitung, Transporte usw. aus und ist auch abhängig von den Wirkungsgraden der Kraft – Wärme - Kopplungen. Es werden 470 TJ an Fernwärme aus Altholz produziert und es wird kein Naturraum in Form von Waldfläche substituiert.

Die Bilanzsumme von Fall 2 bewegt sich im gleichen Bereich wie Fall 1. Durch die Fernwärmeproduktion werden knapp über 8.600 t fossiler CO<sub>2</sub> – Äquivalenzemissionen substituiert, rund 35.000 t an CO<sub>2</sub> – Äquivalenten verbleiben in den Produkten aus Altholz weiterhin gespeichert. Wenn die Produktion aus Sekundärrohstoffen weniger treibhauswirksame Emissionen verursacht als die Herstellung der gleichen Produkte aus Primärressourcen, so kann ein zusätzlicher Substitutionseffekt erzielt werden bzw. umgekehrt. Voraussetzung sind jedoch funktional gleichwertige Produkte, vorhandene Infrastruktur und möglichst geringe Transportdistanzen zu den entsprechenden Fabrikationsanlagen. Eine weitere Unsicherheit stellt die Ungewissheit für den Fall dar, dass das Recyclingprodukt in ein anderes System exportiert wird und dann nicht bekannt ist, was damit am Lebenszyklusende passiert (thermische Verwertung, erneute stoffliche Verwertung oder gar Deponierung). Gesicherte Aussagen können somit nur für im System verbleibende Produkte gemacht werden. Daher sollten stoffliche im Idealfall Verwertungseinheiten regional verfügbar sein und für die Region produzieren, womit auch Transporte minimiert werden.

Damit die gleiche Menge an Fernwärme wie im Fall 1 produziert werden kann, fallen aus der Fernwärmeproduktion mit Heizöl (385 TJ) knapp 39.000 t an fossilen CO<sub>2</sub> – Äquivalenzemissionen an. Die neutralen Emissionen aus dem Lager betragen knapp 9.200 t, aus diesem Prozess werden 85 TJ an Fernwärme gewonnen. Durch die Herstellung von Schnittholz und Spanplatten aus Altholz werden jedoch Primärressourcen substituiert. Für Fall 2, wo knapp 6.700 t zu Schnittholz und knapp 16.000 t Holz zu Spanplatten verarbeitet wird, kann damit eine für die Produktion der Äquivalenzmenge an Holz aus Primärressourcen erforderliche Fläche von 15.760 ha Waldfläche substituiert werden. Diese Fläche steht dann für die Gewinnung zusätzlicher Holzbiomasse zur Verfügung oder kann anderwärtig genutzt werden. Die so geschonte Waldfläche ist zwei Mal so groß wie die Waldflächen in Wien (knapp 8.000 ha).

Fall 3, die Deponierung, verursacht 41.000 t an CO<sub>2</sub> – Äquivalenzemissionen aus der Deponierung und außerdem muss der gesamte Fernwärmebedarf von 470 TJ über Heizöl gedeckt werden. Es wird auch keine Fläche substituiert, für neue Holzprodukte sind Primärressourcen erforderlich. Somit ergibt die Gesamtbilanzsumme rund 88.000 t an CO<sub>2</sub> – Äquivalenzemissionen, um rund 83.000 t mehr als bei den Fällen 1 und 2.

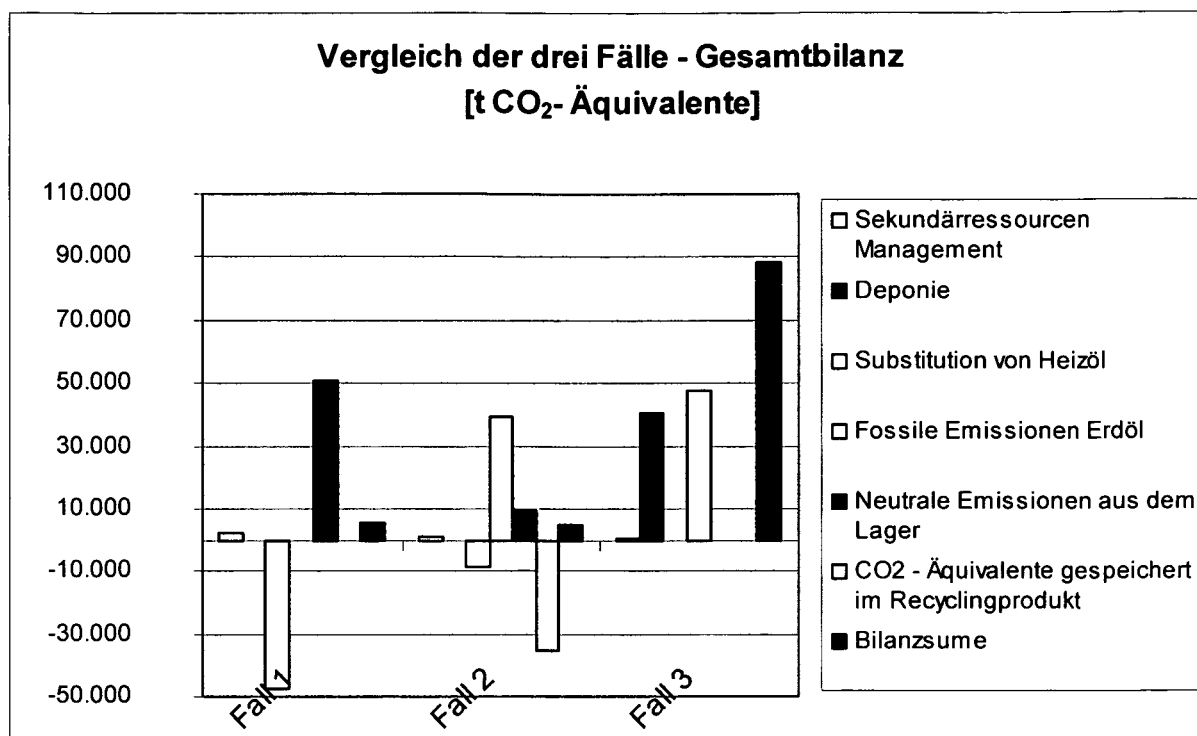


Abbildung 11-8 Vergleich der drei Verwertungs- und Entsorgungsfälle – Gesamtbilanz der CO<sub>2</sub> – Äquivalente.

Das bedeutet, dass Recycling im Falle eines entsprechenden Marktes und vorhandener Technologie und damit verbundener Steigerung der Wertschöpfung pro Tonne Rohstoff sinnvoll ist. Vor allem wenn in Folge erhöhter Nachfrage nach dem Rohstoff Holz, welche sowohl aus dem Bauwesen, aber auch aus der Papierindustrie oder dem Energiesektor kommen kann, effizienterer Umgang mit der Ressource Holz erforderlich ist. Recycling führt somit zu einer Erhöhung der Ressourceneffizienz. Um aber einen Beitrag zum Klimaschutz leisten zu können, ist am Ende der Nutzungskaskade von Holzprodukten die Energieerzeugung anzustreben, um so fossile Energieträger substituieren zu können. Voraussetzung dafür ist die Existenz entsprechend effizienter Anlagen, welche durch entsprechendes regionales Ressourcenmanagement geschaffen werden kann. Je nach regional zur Verfügung stehender Infrastruktur ist daher ein optimierter Mix aus stofflichem Recycling und Energieproduktion anzustreben. Für die so gewonnenen Produkte muss jedoch ein entsprechender Markt vorhanden sein, große Transportdistanzen sollten vermieden werden.

## 12 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Arbeit und die Erkenntnisse daraus führen zu folgenden Schlussfolgerungen:

**Die gewählte methodische Vorgehensweise**, bestehend aus der Stoffflussanalyse zur Erfassung und Darstellung der Prozesse und Materialflüsse sowie deren Interpretation und der Verwendung der Methoden des Kumulierten Energieaufwandes (KEA) und der wirkungsorientierten Methode CML – 2001 lassen eine vielschichtige und umfassende Bewertung zu. Szenarienvergleiche und Variantenvergleiche zwischen verschiedenen Optionen des Ressourcen Managements können aussagekräftig durchgeführt werden. Je nach Zielsetzung und Fragestellung kann die Methode flexibel gehandhabt werden. Auf Basis der Erfassung mit der Stoffflussanalyse können verschiedenste Bewertungsmethoden aufgesetzt werden.

**Zwischen 60 und 80 % der Umweltwirkungen**, welche durch den Wiener Wohn- und Bürobau verursacht werden, finden im die Stadt versorgenden Hinterland statt. Auch Entsorgungsprozesse geschehen teilweise außerhalb des Systems der Stadt Wien.

**Über 95 % der 2001 in Wien eingebauten Materialien** sind mineralischen Ursprungs mit einem Anteil von über 80 Massenprozent an Beton. Stahl hat einen Anteil von 2,3 % und Holz von 1,15 % (Szenario 1). Die Verwendung von Holz unter Ausnutzung der Wiener Bauordnung (Szenario 2) führt zu einer jährlichen Reduktion der nach Wien zu transportierenden Massen um 315.000 t. Dabei sind immer noch 92 % der Materialien mineralisch, 4,6 % sind Holz- und Holzprodukte (Mehrbedarf gegenüber Szenario 1 um 64.000 t) und 2,3 % Stahl. Werden alle Neubauten gemäß Szenario 3 in Holzmischbauweisen gemäß der Wiener Bauordnung in maximal bis zu 5 geschoßigen Gebäuden realisiert, so sinkt der Materialbedarf gegenüber Szenario 1 um 900.000 t pro Jahr. Dabei beträgt der Anteil der mineralischen Baumaterialien ca. 81 %, rund 13,2 % sind Holz und Holzprodukte (der Mehrbedarf gegenüber Szenario 1 ist rund 152.000 t), der Anteil des Stahls macht ca. 2 % aus. Bei Szenario 2 verdoppelt sich der Anteil der Dämm- und Kunststoffe gegenüber Szenario 1.

**Holz soll so eingebaut werden**, dass es unbehandelt bleiben kann, eine lange Lebensdauer aufweist, ökonomisch und ökologisch effizient mit geringen Verlusten wieder ausgebaut und getrennt werden kann und dann wieder verwendet, recycelt oder thermisch verwertet werden kann („Design for Recycling“ und „Design for Energy“). Die letzte Nutzung sollte die Produktion von Energie sein. Bereits im Planungsprozess muss die gesamte Nutzungskaskade bis hin zur finalen thermischen Verwertung mit Energiegewinnung berücksichtigt werden.

**Das Ressourcenpotential von Holz** ist unter den getroffenen Annahmen für alle betrachteten Szenarien ausreichend und kann in den Forstflächen von Niederösterreich und der Steiermark gedeckt werden. Allerdings müssen für ein umfassendes Ressourcen Management auch die Sektoren der Papierindustrie und der Energieerzeugung einbezogen werden.

**Da Holz am globalen Markt gehandelt** wird müssen in einer praktischen Umsetzung auch Importe und Exporte berücksichtigt werden. Die im Rahmen der Studie getroffenen Annah-

men beziehen sich darauf, dass die Angaben der Waldinventur 2003 richtig sind und die zusätzlich erforderlichen Holzpotentiale auch regional eingesetzt werden. Wenn Holz aus entfernteren Regionen importiert wird so ist eine Änderung der Ergebnisse, besonders hinsichtlich erforderlicher Transporte, zu erwarten.

**Ein langfristiger, umweltverträglicher Umbau des städtischen Lagers** mit dem Ziel der Bewirtschaftung und Nutzung der daraus verfügbaren Sekundärressourcen soll angestrebt werden. Dabei müssen schädliche Stoffkonzentrationen vermieden werden und zukünftige Schadstoffverlagerung in Recyclingprodukte darf nicht stattfinden. Das in den Bauwerken eingebaute Baumateriallager wächst, für die nächsten 100 Jahre zeigt der Trend für Szenario 1 eine Verdoppelung, für Szenario 2 ein Wachstum von 70 % und für Szenario 3 ein Wachstum von 50 % gegenüber dem Jahr 2001.

**Wohn- und Bürobau** stellen ca. 50 % des städtischen Baumateriallagers dar. Um das darin gebundene Ressourcenpotential zukünftig stofflich und energetisch nutzen zu können, ist einerseits die Kenntnis der stofflichen Zusammensetzung und die Form der Verfügbarkeit erforderlich und andererseits sind Informationen über die zukünftige Entwicklung erforderlich, um Strategien der Nutzung planen zu können.

**Das Holzlager** ist ein bedeutender CO<sub>2</sub> – Speicher und hat ein hohes nutzbares Energiepotential. Mit dem momentan gespeicherten Holz könnte der Bedarf an Fernwärme in Wien für sieben Jahre gedeckt werden. Daher darf das eingebaute Holz nicht mit diversen Stoffen kontaminiert werden. Momentan schrumpft das Holzlager, im Falle von Szenario 1 um ca. 2.000 t pro Jahr. Szenario 2 würde ein Wachstum des Holzlagers in den nächsten 100 Jahren um 60 % und Szenario 3 würde eine Verdoppelung in 100 Jahren bewirken. Mit dem gewonnenen Altholz aus dem Lager können bedeutende Mengen an fossilen CO<sub>2</sub> - Emissionen mittels Energieproduktion substituiert werden. Die Speicherung von Holz gemäß Szenario 2 würde eine jährliche Minderung des Treibhauseffekts um 37.000 t CO<sub>2</sub> – Äquivalente bewirken, bei Szenario 3 wären es jährlich 100.000 t an CO<sub>2</sub> – Äquivalenten. Wachsende Lager mindern also den Treibhauseffekt, daher muss einerseits dieser Speicherungseffekt in die Bilanz aufgenommen werden, andererseits müssen aber auch die so genannten „neutralen“ Emissionen bei der Verbrennung oder bei sonstiger Verwertung berücksichtigt werden.

**Für die energetische Verwertung des Holzlagers** sind geeignete Kraftwerke mit hohem Wirkungsgrad erforderlich. Für alle drei Szenarien wurde der Idealfall einer existierenden Anlage zur Verwertung von Bau- und Abbruchholz innerhalb von Wien angenommen. Die in Wien tatsächlich angewendeten Technologien und der tatsächliche Verbleib des Bau- und Abbruchholzes können aus bestehenden Statistiken nicht seriös nachvollzogen werden.

**Der Input von heute ist der Abfall von morgen.** Diese simple Feststellung ist noch zu wenig in das Bewusstsein der Planer gerückt. Daher sind im Planungsprozess alle Phasen im Lebenszyklus des Produkts zu integrieren.

**Die Datenverfügbarkeit und die Datengenauigkeit für die Planung eines Ressourcen Management Systems** ist nicht ausreichend. Dies gilt besonders für Bau- und Abbruchholz. In Zukunft müssen statistische Datenlücken geschlossen werden, um anhand der eingebauten Materialien die Zusammensetzung und zukünftige Entwicklung der in den Gebäuden gespeicherten Baumaterialien mit dem Ziel einer effizienten Kreislaufführung besser planen und bewirtschaften zu können.



**Die Einführung einer nationalen „Baumaterialbuchhaltung“**, welche Informationen über die eingebauten Materialien hinsichtlich Menge und potentieller Nutzbarkeit enthält, wäre als Basis einer effizienten Lagerbewirtschaftung im Sinne eines lebenszyklusorientierten Baumaterialmanagements ein wichtiger Schritt zu einer nachhaltigen Gestaltung des Bauwesens und des dazugehörigen Ressourcen Managements.

**Für die in der Region anfallenden Sekundärrohstoffe** muss eine regionale Infrastruktur zur Bewirtschaftung dieser Materialien geschaffen werden. Damit wird die regionale Wertschöpfung erhöht, Arbeitsplätze geschaffen, Transporte vermieden, Primärrohstoffe und Naturraum geschont, die Entsorgungsautarkie gestärkt und die Versorgungsabhängigkeit gemindert. Besonders in einer Region wie Wien und Umgebung mit mehr als 2 Millionen Einwohnern fallen relevante Mengen an, welche eine ökonomisch sinnvolle Umsetzung zur Erhöhung der Regionaleffizienz ermöglichen kann.

**Die derzeit praktizierte Form des Recycling**, vor allem von mineralischen Baustoffen, entspricht einem Downcyclingprozess. Ca. 90 % der mineralischen Sekundärrohstoffe aus dem Hochbau gelangen als ökonomisch im Vergleich zum Ausgangsprodukt minderwertigem Produkt hauptsächlich in Form von Schüttmaterialien in den Tiefbau. Nur rund 1 % der in den Wohn- und Bürobau eingesetzten Materialien sind hochwertige Recyclingprodukte. Für die Entwicklung wieder verwendbarer Bauteile und für hochwertiges Baumaterialrecycling besteht für alle Materialien hoher Forschungsbedarf.

**Mittels Wiederverwendung und Recycling von Altholz** können, wie das Beispiel eines kleinen Sägewerks zeigt, hochwertige Produkte hergestellt werden, welche sogar höhere Preise erzielen können als das Primärprodukt. Damit wird ein wesentlicher Beitrag zur Erhöhung der Wertschöpfung pro eingesetzte Einheit an Ressource erzielt und so zur Ressourceneffizienz beigetragen.

**Wird das Altholzpotalential in Wien** zum Recycling voll genutzt, so kann damit eine Forstfläche von knapp 16.000 ha durch diese Art der „City Forestry“ substituiert werden.

**Der Input in das Sekundärressourcen Management** besteht aus „neuen“ Materialien (Baustellenabfälle, Verschnitt usw.) aus der Errichtung und aus „alten“ Materialien und Stoffen, welche heute teilweise nicht mehr verwendet werden. Es sind Strategien erforderlich, welche einerseits die vorhandenen Altlasten sanieren und andererseits Vorsorge treffen, dass Substanzen mit Schadpotential nicht in Recyclingprodukte gelangen. Viele in den letzten 60 Jahren eingebauten Altlasten werden in den nächsten Jahrzehnten in die Abfallwirtschaft gelangen (chemisch kontaminiertes Holz, FCKW-hältige Dämmstoffe, Asbest, diverse Kunststoffe usw.). Entsorgungs- und Verwertungsstrategien für diese Materialien sind zu entwickeln.

**Dämm- und Kunststoffe** werden in den Baurestmassen in Zukunft um den Faktor 5 zunehmen. Diese Fraktionen sollten möglichst sortenrein rückbaubar sein, Verunreinigungen sollten vermieden werden. Verbundsysteme können diese Anforderungen kaum erfüllen.

**Die thermische Verwertung von Bau- und Abbruchholz** kann für die Fernwärmeproduktion bedeutende Beiträge liefern: In Szenario 1 können 86 GWh, in Szenario 2 ca. 99,3 GWh (im Vergleich zu Szenario 1 können zusätzlich 1.300 t Heizöl substituiert werden) in und Szenario 3 können 119 GWh an Fernwärme produziert werden (im Vergleich zu Szenario 1 kön-

nen zusätzlich 3.200 t Heizöl substituiert werden). Voraussetzung ist ein für Altholz geeignetes Kraft – Wärme Kopplungskraftwerk mit hohem Wirkungsgrad.

**Die Substitution fossiler Energieträger und die Speicherung von CO<sub>2</sub> - Äquivalenten in Produkten aus Abbruchholz** führen zu einer negativen CO<sub>2</sub> - Äquivalenzbilanz im Sekundärressourcenmanagement. Voraussetzung dafür ist ein hoher Wirkungsgrad bei der Energieerzeugung, die mögliche Substitution von Erdöl (bei der Substitution von Erdgas ist der Substitutionseffekt entsprechend geringer) und der Verbleib der Produkte aus Sekundärressourcen im regionalen System, um sicher zu stellen, dass eine energetische Nutzung am Lebenszyklusende erfolgt.

**Die verstärkte Verwendung von Holz trägt zur Deponieraumschonung** bei. So reduziert sich der Bedarf an Deponieraum bei Szenario 3 gegenüber Szenario 1 um 27 %.

**Die Summe des Kumulierten Energieaufwandes** liegt für alle drei Szenarien in der gleichen Größenordnung. Mit der Forcierung des Holzeinsatzes erhöht sich jedoch der Anteil an erneuerbarer Energie, fossile nicht erneuerbare Energie kann reduziert werden. Der Anteil an erneuerbaren Energieträgern beträgt bei Szenario 1 ca. 15 %, bei Szenario 2 rund 20 % und bei Szenario 3 ca. 30 %. 70 – 80 % der nicht erneuerbaren Energie werden bei der Produktion und den Vorketten eingesetzt, gegenüber Szenario 1 wird bei Szenario drei der Bedarf nicht erneuerbarer Energieträger um ca. 15 % reduziert. Die Fernwärmeproduktion mit Altholz reduziert den Anteil nicht erneuerbarer Energieträger im Gesamtsystem um ca. 10 – 15 %. Bei Gebäuden mit einem zum Betrieb erforderlichen jährlichen Energieaufwand von 50 kWh/m<sup>2</sup> wird nach 25 Jahren der Herstellungsaufwand durch den Betriebsaufwand erreicht. Bei einem Gebäude mit Passivhausstandard (15 kWh/m<sup>2</sup>) wird der Herstellungsaufwand durch den Betriebsaufwand erst nach ca. 85 Jahren egalisiert. D.h. dass bei Passivhäusern über den Lebenszyklus gerechnet die Herstellungsenergie in etwa der Betriebsenergie entspricht.

**Transporte** haben bei allen bewerteten Wirkkategorien einen Anteil von 5 – 10 % am Gesamtsystem. Obwohl bei Szenario 1 die größten Gewichte transportiert werden, sind die Gesamttonnenkilometer bei allen Szenarien in etwa gleich. Dies liegt hauptsächlich daran, dass Holz von Wien weiter entfernt gewonnen wird als Kies und Zement. Transporte sollten durch die forcierung regional verfügbarer Materialien und durch regional umgesetzte Recyclingstrategien gering gehalten werden.

**Treibhauseffekt:** Die Produktion, welche auch die gesamte Vorkette der Rohstoffgewinnung auf globaler Ebene beinhaltet, verursacht rund 80 % des Treibhauseffektes (345.000 t pro Jahr in Szenario 1) im Hinterland von Wien. Diese durch die Nachfrage in Wien verursachte Emission müsste gemäß dem Verursacherprinzip eigentlich der Stadt Wien zugerechnet werden und nicht dem Hinterland angerechnet werden. D.h., dass eine Entkopplung der zu versorgenden Region (Wien) von der versorgenden Region (Hinterland) zu verzerrenden Ergebnissen führt. Das gilt für alle Umweltwirkungen. Bei einer maximierten Holzverwendung wie in Szenario 3 werden mehr CO<sub>2</sub> – Äquivalente im langfristig eingebauten Holz gespeichert als für die Prozesskette an treibhauswirksamen Emissionen verursacht werden, daher ergibt sich beim Lageraufbau ein negativer Bilanzwert.

**Der Treibhauseffekt beträgt für das Jahr 2001** bei Szenario 1 ca. 400.000 t CO<sub>2</sub> - Äquivalente, bei Szenario 2 rund 221.000 t (Reduktion um 179.000 t) und bei Szenario drei beträgt

die Bilanzsumme aufgrund der Speicherung im Holzlager der Gebäude minus 20.000 t (Reduktion um ca. 420.000 t CO<sub>2</sub> – Äquivalente gegenüber Szenario 1). Damit könnte der in Wien verursachte Treibhauseffekt (9 Mio. t) um ca. 5 % gemildert werden.

**Die Reduktion des Treibhauseffektes in den Szenarien 2 und 3** ist eine Folge der langfristigen Speicherung von der Atmosphäre entzogenem Kohlenstoff, der Substitution von Zement, Ziegel und Stahl und der Produktion von Fernwärme am Lebenszyklusende bei gleichzeitiger Substitution von fossilen Energieträgern. Voraussetzung ist also der Bedarf an Energie, die Möglichkeit der Substitution von Erdöl und das Vorhandensein einer Kraft – Wärme Kopplung mit hohem Wirkungsgrad. In Wien kann noch Heizöl in geringem Ausmaß substituiert werden, in Zukunft wird Fernwärme aber überwiegend mit Erdgas erzeugt. Der Substitutionseffekt ist dann etwas geringer aber immer noch bedeutend. Zum Wiener Klimaschutzprogramm (2 Mio. t Reduktion der jährlichen treibhauswirksamen Emissionen) könnte Szenario 2 einen Beitrag von knapp 10 % und Szenario 3 einen Beitrag von ca. 20 % leisten. In Szenario 3 wird pro m<sup>2</sup> Nutzfläche im eingebauten Holz um 20 kg CO<sub>2</sub> - Äquivalente/m<sup>2</sup> mehr gespeichert als insgesamt treibhauswirksam emittiert wird. Langfristig stimmt die Bilanz aber nur unter der Voraussetzung, dass nach dem letzten Lebenszyklus aus dem Holz Energie gewonnen wird und damit fossile Energieträger ersetzt werden. Das Holz muss im System bis zum letzten Lebenszyklus verbleiben.

**Die Art der Verwertung oder Entsorgung von Holzprodukten ist hinsichtlich Treibhauseffekt** besonders wichtig. Der Variantenvergleich für Szenario 1 zeigt, dass mit einer Kombination von Recycling und Energiegewinnung gegenüber der Deponierung pro Jahr 83.000 t an treibhauswirksamen CO<sub>2</sub> – Äquivalenzemissionen vermieden werden können.

**Der Beitrag zum Ozonerstörungspotential (ODP) ist gering.** Rund 80 % des Beitrags zum ODP resultiert aus der Dämmstoffproduktion. In den nächsten Jahrzehnten sind Emissionen aus dem in den Gebäuden eingebauten FCKW – hältigen Dämmstoffen sowie bei der Behandlung dieser Dämmstoffe in der Abfallwirtschaft zu erwarten.

**Der Beitrag zum Photooxidantienpotential (POCP)** findet zu 90 – 95 % im Hinterland bei der Produktion statt. Im Vergleich zu Szenario 1 reduzieren sich die ODP – wirksamen Emissionen bei Szenario 2 um ca. 25 % und bei Szenario 3 um rund 56 %.

**Das Versauerungspotential (AP)** liegt bei allen Szenarien in der gleichen Größenordnung bei rund 2.000 t pro Jahr. Den Hauptanteil hat die Produktion im Hinterland mit etwa 70 %.

**Beim Eutrophierungspotential (NP)** hat die Produktion im Hinterland einen Anteil von ca. 60 %, die Errichtung hat einen Anteil von 20 – 25 %. Szenario 1 weist mit ca. 312 t pro Jahr die geringsten Äquivalenzemissionen auf, Szenario 3 mit rund 325 t die höchsten.

**Der Landverbrauch für die Gewinnung der Rohstoffe** ist beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe eine limitierende Größe. Gegenüber Szenario 1 benötigt Szenario 2 die 3,5 – fache Fläche und Szenario 3 die 7 – fache Fläche. Pro Quadratmeter Wohnfläche werden für Szenario 1 knapp 150 m<sup>2</sup> Land, bei Szenario 2 ca. 550 m<sup>2</sup> und bei Szenario 3 ca. 1.030 m<sup>2</sup> Landfläche benötigt. Die Fläche wird fast zur Gänze im Hinterland im Rahmen der Rohstoffgewinnung und Produktion belegt, der Anteil des Transports und der Entsorgungsprozesse sind relativ gering. In allen Szenarien wird die meiste Fläche in Form von Forstflächen zur Holzernte benötigt. Daher trägt Wiederverwendung und Recycling von Altholz vor allem zur

Reduktion des Flächenverbrauchs und zur Naturraumschonung bei. Sollte in Zukunft aufgrund der Verknappung fossiler Energieträger der Bedarf am Rohstoff Holz steigen, so kann eine optimale Nutzungskaskade von der stofflichen bis zur energetischen Verwendung von Holzprodukten zu einer Minderung einer eventuellen Rohstoffknappheit beitragen.

## 13 Ausblick

Um zukünftig eine nachhaltige Gestaltung des Büro- und Wohnbaues, aber auch der anderen Sektoren des Bauwesens, erreichen zu können, müssen noch einige Anstrengungen unternommen werden. Dafür wird es nötig sein, dass alle beteiligten Akteure (alle Sparten der Industrie, Architekten, Ingenieure, Stadtverwaltungen, alle Nutzer der gebauten städtischen Umwelt usw.) an einem Strang in Richtung Nachhaltigkeit und damit in Richtung Schutz des Menschen und der Umwelt ziehen.

Wie diese Studie zeigt, sind die Methoden zur Erfassung und Bewertung sowie zur weiteren Steuerung vorhanden. Als nächster Schritt muss eine Datenbasis geschaffen werden, um ein optimiertes Ressourcenmanagement in Form einer Nutzungskombination von Primär- und Sekundärressourcen umsetzen zu können. Eine Möglichkeit wäre, über die abgerechneten Materialmengen, welche jede ausführende Firma in elektronischer Form zur Verfügung hat, eine Datenbank aufzubauen. Mit diesen Informationen hinsichtlich Art der Materialien und ihrer Verfügbarkeit könnte es gelingen, die Sekundärressourcen erfolgreich und in hoher Qualität einer Wiederverwendung oder einem Recyclingprozess ohne große Verluste zuzuführen.

Gleichzeitig müssen im Planungsprozess Konstruktionen entwickelt werden, die über den gesamten Lebenszyklus oder auch über mehrere Lebenszyklen optimiert entwickelt werden. Besonders die von den Nutzern geforderte höhere Flexibilität an Gebäude und die kürzeren Nutzungsintervalle mit den schnell wechselnden Anforderungen stellen den Planer vor große Herausforderungen zur Entwicklung neuer Baukonzepte.

Diese Studie hat versucht, das komplexe System Büro- und Wohnbau einer Region umfassend zu beschreiben. Dabei ist es vielfach nicht möglich, alle Fragen detailliert zu bearbeiten. Nahezu für jedes verwendete Material können Optimierungspotentiale hinsichtlich Rohstoffgewinnung und Produktion, Transportmanagement, Art des Einbaues und nach Ende der Nutzungsphase des Rückbaues und die anschließende Verwertung als Sekundärrohstoff identifiziert und bearbeitet werden. Auch für den in dieser Studie genauer betrachteten Baustoff Holz sind besonders für die Verwendung in urbanen Räumen noch einige Fragestellungen hinsichtlich der Schaffung guter Wohnqualitäten und einem optimierten Materialmanagement über die gesamte Nutzungskaskade zu beantworten.

## 14 Glossar

**Abraum:** Abraum charakterisiert die Abfallmengen bei der Extraktion von Primärenergien und Rohstoffen (Berge, ‚taubes‘ Gestein, Deckmaterial) [Oswald 2003].

**Aggregation:** Zusammenfassen von Umweltwirkungen zu einer oder mehreren Größen (Zuordnung auf Haupt und Nebenprodukte).

**Aktivitäten:** Art und Weise, wie eine Gesellschaft ihre menschlichen Grundbedürfnisse befriedigt. Zur physiologischen Beschreibung der *Anthroposphäre* unterscheiden [Baccini & Brunner, 1991] vier menschliche Aktivitäten: *Ernähren, Wohnen und Arbeiten, Transportieren und Kommunizieren* sowie *Reinigen*.

**Allokation:** Zuordnung der Input- und Outputflüsse eines Moduls auf das untersuchte Produktsystem. Zuordnung und quantitative Aufteilung der Input- und Outputflüsse eines Prozesses auf die einzelnen Produkte. Erforderlich bei Mehrproduktsystemen, um auch zu einzelnen Produkten Ökobilanzen zu erstellen.

**Anthroposphäre:** Lebensraum des Menschen, in dem seine von ihm gebauten und betriebenen biologischen und technischen Prozesse stehen und in dem seine *Aktivitäten* stattfinden. Dieser Lebensraum kann auch als komplexes *System* von Energie-, Materie- und Informationsflüssen verstanden werden. Sie ist Teil der Biosphäre [Baccini & Bader, 1996].

**atro:** absolut trocken

**Auswertung:** Bestandteil der Ökobilanz, bei dem die Ergebnisse der Sachbilanz und/oder der Wirkungsabschätzung mit dem festgelegten Ziel und Untersuchungsrahmen zusammengeführt werden, um Schlussfolgerungen und Empfehlungen zu geben.

**Bestand:** Kollektiv von Bäumen auf einer zusammenhängenden Mindestfläche, das eine einheitliche Behandlung ermöglicht. In vielen Fällen ist er Bewirtschaftungseinheit und gleichzeitig Zustandserfassungs-, Planungs-, Buchungs- und Kontrolleinheit des laufenden Forsteinrichtungszeitraumes [Kramer 1985]. Ein Reinbestand weist, im Gegensatz zum Mischbestand, nur eine Baumart auf.

**Bewertung:** Auswertungsschritt innerhalb einer Ökobilanz, bei dem die Ergebnisse der Sachbilanz und die Wirkungsanalyse einem gesellschaftlich-politischen Werturteil unterzogen werden. Kann z.B. durch Gewichtung, Benotung oder verbale Argumentation erfolgen. In der vorliegenden Studie wird eine verbale Bewertung mit Bezug auf regionale Referenzgrößen vorgenommen.

**Biomasse:** Stoffe organischer, pflanzlicher oder tierischer Herkunft. Die Abgrenzung der Biomasse gegenüber den fossilen Energieträgern beginnt mit dem Torf, dem fossilen Sekundärprodukt der Verrottung. Torf wird üblicherweise zur Biomasse gezählt, gehört aber streng genommen zu den fossilen Stoffen [Oswald 2003].

**Charakterisierungsfaktor:** Faktor, der aus einem Charakterisierungsmodell abgeleitet wurde, das für die Umwandlung der zugeordneten Sachbilanzergebnisse in die gemeinsame Einheit des Wirkungsindikators angewendet wird [Oswald 2003].

**Emissionen:** Laut "Brockhaus Naturwissenschaft und Technik" fällt darunter das Ablassen oder Ausströmen fester, flüssiger oder gasförmiger Stoffe aus Anlagen oder technischen Abläufen, die die Luft, das Wasser oder andere Umweltbereiche verunreinigen. Emissionen im Sinne der "Technischen Anleitung Luft" sind demnach die von einer technischen Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen sowie Geräusche, Erschütterungen, Licht-, Wärme- und radioaktive Strahlen. Emissionen führen in der Umwelt zu **Immissionen**.

**Endenergie:** Energie, die der Endverbraucher bezieht (z.B. Hackschnitzel an der Feuerungsanlage, elektrische Energie vor dem Stromzähler) [Oswald 2003].

**Feedstockenergie:** Energie, welche in Form von Materie in ein System gebracht wird und im System nicht in eine andere Energieform verwandelt wird, sondern das System wieder als Materie verlässt [Müller 1998].

**Fluss:** Transport von einem Stoff oder Gut zwischen zwei Prozessen, Einheit Masse/Zeit.

**Flux:** Einheit Masse/Zeit und Querschnitt.

**Funktionelle Einheit:** Quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit in einer Ökobilanz.

**Gut:** Systemelement der *Stoffflussanalyse*. Güter sind Stoffe oder Stoffgemische, die gehandelt werden können und einen positiven oder negativen Handelswert haben (z.B. Wasser, Gas, Baumaterial, Baurestmassen...).

**Hinterland:** Externe Gebiete einer Region, welche zur Aufrechterhaltung irgendwelcher Funktionen (z.B. menschlicher Aktivitäten) innerhalb der Region in irgendeiner Form beansprucht werden (z.B. Wälder zur Erholung oder zur Versorgung mit Holz usw.)

**Immission:** Siehe Emissionen.

**Import, Export:** Stoffflüsse über die Systemgrenze in ein System hinein bzw. aus einem System heraus.

**Input, Output:** Stoffflüsse innerhalb des Systems in einen Prozess hinein bzw. aus einem Prozess heraus.

**Kennzahl:** Bewertungsgröße, bei der die Ergebnisse der Sachbilanz aggregiert, gewichtet oder in Bezug zur Leistung des Systems gesetzt werden. [<http://www.umberto.de/de/home/glossary/>].

**Kritische Prüfung:** Ist insbesondere bei Ökobilanzen mit vergleichenden Aussagen (z.B. Produktvergleich) erforderlich. Muss von unabhängigen internen oder externen Sachverständigen vorgenommen werden. (siehe auch [ISO 14.040ff]).

**Kuppelprozess:** Prozess, bei dem mehrere verwertbare Produkte gekoppelt entstehen. Erschwert die Zuordnung von Rohstoffbedarf oder Emissionen auf die einzelnen Produkte (siehe auch Allokation). Beispiel: Holz.

**Kyoto-Protokoll:** Es wurde 1997 beschlossen. Die Industrieländer haben darin zugesagt, bis 2012 ihre Treibhausgas-Emissionen um 5,2 Prozent unter das Niveau von 1990 zu senken. Österreich hat sich zu einer Verminderung von 13 Prozent verpflichtet.

**LCA:** Abkürzung für Life Cycle Assessment, siehe auch Ökobilanz.

**Lebensweg – Life Cycle:** Aufeinanderfolgende und miteinander verbundene Stufen eines Produktsystems von der Rohstoffgewinnung bis zur endgültigen Beseitigung (cradle to grave: "Von der Wiege bis zur Bahre").

**Modul:** Kleinster Teil eines Produktsystems, für den zur Erstellung einer Ökobilanz Daten gesammelt werden. Diese Segmentierung ermöglicht einen effizienten modularen Aufbau von Ökobilanzen unter Verwendung gleicher oder ähnlicher Prozesse. In der vorliegenden Studie wird dafür aufgrund der Verknüpfung mit der Methode der Stoffflussanalyse immer der Begriff Prozess (siehe dort) verwendet.

**Ökobilanz:** Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs. Schritte einer Ökobilanz: Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung. Früher wurden unter betrieblichen Ökobilanzen unternehmens- oder standortbezogene Umweltbilanzen verstanden. In dieser Studie werden die Begriffe gemäß der Norm EN ISO 14.040ff verwendet.

**Prozess:** Systemelement der *Stoffflussanalyse* [Baccini & Brunner, 1991]. Die Umwandlung, der Transport, der Einbau oder die Lagerung von Gütern oder Stoffen. Ein Prozess wird als Black Box betrachtet.

**Sachbilanz:** Bestandteil einer Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines Produktsystems umfasst. Eine Wirkungsanalyse oder Bewertung erfolgt in einer Sachbilanz noch nicht. Die Erstellung der Sachbilanz erfolgt in dieser Studie in Kombination mit der Datenerfassung für die Massenflussanalyse.

**Stoff:** Stoffe sind Chemische Elemente oder chemische Verbindungen (z.B.: C, CO<sub>2</sub>,...).

**Stoffflussanalyse:** Methode zur Erfassung, Beschreibung und Interpretation von Stoffhaushaltssystemen [Baccini & Brunner, 1991].

**System:** [gr.-lat.: „Zusammenstellung“] Menge von Elementen, zwischen denen Bestimmte Beziehungen bestehen [Duden, 1982]. Bei der Stoffflussanalyse ist es eine räumlich und zeitlich abgegrenzte Einheit von Prozessen, die für die behandelte Fragestellung wesentlich sind, inklusive der Flüsse (Güter und Stoffe) zwischen den Prozessen.

**Systemgrenze:** Schnittstelle zwischen einem Produktsystem und der Umwelt oder anderen Produktsystemen. Klare Systemgrenzen sind erforderlich, um Ökobilanzen nachvollziehbar und den Aufwand vertretbar zu halten.

**Transferkoeffizienten:** Die Grundlage der Stoffflussanalyse ist der Massenerhaltungssatz. Die Transferkoeffizienten (TK) geben die Verteilung des Inputgutes oder –stoffes (Edukt) auf die Outputgüter oder –stoffe (Produkte) an.

**Treibhausgase:** Die bedeutendsten sind Wasserdampf, Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas aus der Landwirtschaft, Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) aus der chemischen Industrie und Ozon. Sie lassen Sonnenstrahlen nahezu ungehindert passieren, blockieren aber die Wärmeabstrahlung der Erde zurück ins Weltall. Ohne Treibhausgase wäre es deshalb auf der Erde um ca. 20 bis 30 Grad Celsius kälter. Anthropogen verursachte Treibhausgase sind dagegen aufgrund der raschen Veränderungen ein großes Klimaproblem, wobei Kohlendioxid die bedeutendste Rolle spielt.



**Umtriebszeit:** Planmäßig festgelegter Zeitraum zwischen Begründung und Endnutzung eines *Bestandes*. Aus der Umtriebszeit lässt sich die jährliche nachhaltige Verjüngungsfläche ableiten (= Fläche/Umtriebszeit) [Bachmann, 1996].

**Wirkungsbilanz:** Bestandteil einer Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung von potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems dient. Die Wirkungsabschätzung ist, oft im Gegensatz zur Bewertung, eine (natur)wissenschaftliche Analyse.

**Ziel- und Untersuchungsrahmen:** Erster Schritt einer Ökobilanz, bei dem die Gründe der Studie und wichtige Festlegungen für Sachbilanz und Wirkungsabschätzung beschrieben werden.

# 15 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 4-1: Waldflächenanteil als Prozentsatz zur Gesamtlandfläche [FRA, 2000].
- Abbildung 4-2: Verteilung der weltweiten Waldfläche nach den wichtigsten ökologischen Zonen (Boreale, gemäßigte, subtropische und tropische Zone [FRAU 2000]
- Abbildung 5-2: Der Güterhaushalt der Stadt Wien 1991. [Daxbeck et al. 1996]. Flüsse in (Mg/E.a); Lager in (Mg/E), Einwohner Wien: 1,5 Mio.
- Abbildung 6-1: Bewaldungsprozent des österreichischen Waldes [BFW 2004]
- Abbildung 6-2: Systematik der stofflichen Verwertung von Holz [Jungmeier & Merl, 2001], [Merl, 2003].
- Abbildung 6-3: Systematik der energetischen Verwertung von Holz [Jungmeier & Merl, 2001], [Merl, 2003].
- Abbildung 6-4 Geplante Reduktion der Treibhausgase in Österreich bis zum Jahr 2012  
[<http://www.lebensministerium.at/umwelt/>, 2004].
- Abbildung 6-5: Jährliche Kohlenstoffbindung durch den Zuwachs und jährliche Kohlenstofffreisetzung durch die Nutzung im österreichischen Wald [Weiss 2000].
- Abbildung 8-1: Ermittlung der Transferkoeffizienten (TK)
- Abbildung 8-2: Bestandteile einer Ökobilanz nach EN ISO 14040, 1997. Iterative Vorgehensweise.
- Abbildung 9-1: Einbettung des Systems „Wien mit Hinterland“ in die Umwelt
- Abbildung 9-2: Darstellung der erfassten Güterflüsse für die drei Szenarien des Wiener Büro- und Wohnbaues.
- Abbildung 9-3: Systematik und Optionen im Sekundärressourcenmanagement bzw. in der Abfallwirtschaft in Wien.
- Abbildung 9-4: Grobbilanz des Hoch- und Tiefbaues in Wien. Datenquellen: [Daxbeck et al., 1996], [GUA 2003], [Statistik Austria 2003], [MA 66 2002a], [AWK – Wien 2002], [Bundes-Abfallwirtschaftsplan Bundesabfallbericht 2001] und eigene Berechnungen.
- Abbildung 10-1: System „Wohn- und Bürobau Wien mit Hinterland“ in [1.000 t] – Szenario 1 (Ist – Stand 2001)
- Abbildung 10-2: System „Wohn- und Bürobau Wien mit Hinterland“ in [1.000 t] – Szenario 1 (Maximale Verwendung von Holz gemäß Bauordnung 2001)
- Abbildung 10-3: System „Wohn- und Bürobau Wien mit Hinterland“ in [1.000 t] – Szenario 3 (Alles aus Holz(misch)Bauweisen 2001)
- Abbildung 10-4: Materialverbrauch 2001 für den Wohn- und Bürobau in Wien 2001, Darstellung der drei Szenarien.
- Abbildung 10-5 Materialzusammensetzung der Baurestmassen aus dem Abbruch 2001 im Vergleich zur abgeschätzten zukünftigen Zusammensetzung für die drei Szenarien
- Abbildung 10-6: Zusammensetzung des Abbruchholzes 2001 und Abschätzung der zukünftigen Zusammensetzung in mehr als 100 Jahren für die drei Szenarien.
- Abbildung 10-7: Zukünftiger Bedarf an Deponievolumen der drei Szenarien.
- Abbildung 10-8: Lagerveränderung des Wiener Büro- und Wohnbaues von 2001 bis 2101, berechnet über alle im System betrachteten Materialien.
- Abbildung 10-9: Gespeichertes Holz im Wiener Wohn- und Bürobau sowie die darin enthaltenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente und der Energieinhalt.
- Abbildung 10-10: Lagerentwicklung des in den Tragwerken gespeicherten Massivholzes.
- Abbildung 10-11: Veränderung der gespeicherten CO<sub>2</sub> – Äquivalente im Holzlager der Tragwerke im Wiener Büro- und Wohnbau.
- Abbildung 10-12 Anteil der Prozesse am kumulierten Energieaufwand erneuerbarer Energieträger.
- Abbildung 10-13: Darstellung des kumulierten Energieaufwandes der einzelnen Prozesse.
- Abbildung 10-14: Anteil der Materialgruppen am KEAe des Prozesses Produktion.
- Abbildung 10-15: Kumulierter Energieaufwand erneuerbar bezogen auf 1 m<sup>2</sup> geschaffener Nutzfläche.
- Abbildung 10-16: Anteil der einzelnen Prozesse an kumulierten Energieaufwand nicht erneuerbar.

Abbildung 10-17 Darstellung des nicht erneuerbaren kumulierten Energieaufwandes für die einzelnen Prozesse der drei Szenarien.

Abbildung 10-18: Beitrag der Materialgruppen zum KEA<sub>ne</sub> für die drei Szenarien.

Abbildung 10-19: Kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar bezogen auf 1 m<sup>2</sup> geschaffener Nutzfläche.

Abbildung 10-20: Vergleich des erneuerbaren und nicht erneuerbaren kumulierten Energieaufwandes und Summendarstellung bezogen auf einen Quadratmeter Nutzfläche.

Abbildung 10-21: GWP 100 – Anteile der Prozesse für die drei Szenarien.

Abbildung 10-22: Darstellung des Treibhauseffektes der einzelnen Prozesse für die drei Szenarien.

Abbildung 10-23: Beitrag des Prozesses Produktion zum Treibhauspotential für die drei Szenarien.

Abbildung 10-24: Darstellung des GWP 100 pro Quadratmeter geschaffener Nutzfläche für die drei Szenarien.

Abbildung 10-25: Darstellung des Ozonzerstörungspotentials, Anteil der Prozesse für die drei Szenarien.

Abbildung 10-26: Ozonabbaupotential, Darstellung der Beiträge der einzelnen Prozesse der drei Szenarien.

Abbildung 10-27: Darstellung des Ozonzerstörungspotentials des Prozesses Produktion für die drei Szenarien.

Abbildung 10-28: Prozentanteile der einzelnen Prozesse beim Photooxidantienpotential für die drei Szenarien

Abbildung 10-29 Darstellung der Beiträge der einzelnen Prozesse zum Photooxidantienpotential der drei Szenarien.

Abbildung 10-30: Darstellung des Photooxidantienpotentials verursacht durch die einzelnen Materialgruppen des Prozesses Produktion für die drei Szenarien.

Abbildung 10-31: Photooxidantienpotential pro Quadratmeter Nutzfläche für die drei Szenarien.

Abbildung 10-32: Anteile der Prozesse am Versauerungspotential für die drei Prozesse.

Abbildung 10-33: Beiträge der einzelnen Prozesse zum Versauerungspotential für die drei Szenarien.

Abbildung 10-34: Beiträge des Prozesses Produktion zum Versauerungspotential für die drei Szenarien.

Abbildung 10-35 Versauerungspotential pro Quadratmeter Nutzfläche.

Abbildung 10-36: Darstellung der Prozentanteile der einzelnen Prozesse am Eutrophierungspotential für die drei Szenarien.

Abbildung 10-37 Anteil der einzelnen Prozesse am Eutrophierungspotential für die drei Szenarien.

Abbildung 10-38: Beiträge der einzelnen Materialgruppen zum Eutrophierungspotential des Prozesses Produktion für die drei Szenarien.

Abbildung 10-39: Darstellung der Überdüngung bezogen auf einen Quadratmeter Nutzfläche für die 3 Szenarien.

Abbildung 10-40: Anteile der Prozesse am Landverbrauch.

Abbildung 10-41: Darstellung des Landverbrauchs für die einzelnen Prozesse.

Abbildung 10-42: Darstellung des Landverbrauchs für den Prozess Produktion

Abbildung 10-43 Darstellung des Landverbrauch pro Quadratmeter Nutzfläche für die drei Szenarien.

Abbildung 11-1: Holzflüsse aus dem Wohn- und Bürobau 2001 Ist - Stand – Szenario 1

Abbildung 11-2: Simulierte Holzflüsse aus dem Wohn- und Bürobau 2001 – Szenario 2

Abbildung 11-3: Simulierter Holzfluss aus dem Wohn- und Bürobau 2001 – Szenario 3

Abbildung 11-4: Darstellung der Beiträge des Sekundärressourcen Managements von Altholz zum Treibhauseffekt für die drei Szenarien.

Abbildung 11-5: Bilanzierung der CO<sub>2</sub> – Äquivalente über das Subsystem Sekundärressourcen Management von Bau- und Abbruchholz.

Abbildung 11-6: Darstellung der Altholzflüsse für Fall 2.

Abbildung 11-7 Darstellung der CO<sub>2</sub> – Äquivalenzemissionen aus dem Sekundärressourcen Management für die drei Fälle.

Abbildung 11-8 Vergleich der drei Verwertungs- und Entsorgungsfälle – Gesamtbilanz der CO<sub>2</sub> – Äquivalente.

## 16 Tabellenverzeichnis

- Tabelle 4-1: Bruttoinlandsprodukt nach Wirtschaftsbereichen, laufende Preise 1998 – 2002 aus der österreichischen Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung [Statistik Austria, 2003a]*
- Tabelle 4-2: Fortsetzung von Tabelle 4-1 Bruttoinlandsprodukt nach Wirtschaftsbereichen, laufende Preise 1998 – 2002 aus der österreichischen Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung [Statistik Austria, 2003a]*
- Tabelle 4-3 Jährliche Veränderung der Waldflächen weltweit von 1990-2000 [FAO, 2001]*
- Tabelle 5-1 Zusammenstellung der angestrebten Erfassungs- und Bewertungsmethoden und der Bewertungsindikatoren.*
- Tabelle 5-2: Jährlicher Konsum von Produkten aus der Forstwirtschaft sowie mineralischen Baurohstoffen in Wien [Daxbeck et al. 2001].*
- Tabelle 5-3: Verbrauch von Erdöl zur Erzeugung von Kunststoffen und Chemikalien [Daxbeck et al. 2001], [Fehringer & Brunner 1996], eigene Berechnungen.*
- Tabelle 5-4: Ablagerungsmengen und -volumina in Wien, Bezugsjahr 1997; Zeitraum 20 Jahre; [Fischer 1999], Das Wiener Abfallwirtschaftskonzept [MA48 1998], [Daxbeck et al. 2001]*
- Tabelle 5-5: Jährliche THG-Emissionen der Wiener Abfallwirtschaft, berechnet aufgrund der Daten von [Baumeler et al. 1998]; klimarelevanten Emissionen (KRE). Bezugsjahr: 1996.*
- Tabelle 6-1: Waldbestände in Österreich in den Inventurzeiträumen, zeitliche Entwicklung. Für den letzten Inventurzeitraum sind 3.960 Mio. ha 100 %. [BFW 2004]*
- Tabelle 6-2: Ermittlung des zusätzlich in Wien einsetzbaren Ressourcenpotentials an Bauholz über die Baumartenverteilung [[http://www.proholz.at/wald\\_holz/statements/statement3.htm](http://www.proholz.at/wald_holz/statements/statement3.htm), 2005] der bewirtschafteten österreichischen Waldflächen bezogen auf die gesamte Waldfläche Österreichs.*
- Tabelle 6-3: Dichte- und Feuchtegehalt von Holzbaustoffen [Gann 2002]*
- Tabelle 6-4: Bereiche für Elementargehalte im Holz einer Rottanne. Aus [Fengel und Wegener 1984].*
- Tabelle 6-5: Elementanalyse von naturbelassenem Holz, bezogen auf die Trockenmasse [Bauer 2003]*
- Tabelle 6-6: Qualitätsklassen von Altholz mit den Verwertungsmöglichkeiten [Piringer und Fischer, 2003].*
- Tabelle 6-7: Business as usual Werte der Sektoren und Branchen sowie Reservefaktor und Klimaschutzbeiträge [NAPfÖ 2004]*
- Tabelle 6-8: Österreichs Klimastrategie der Bundesregierung, Treibhausgas-Reduktionsziele [BMLFUW 2002]*
- Tabelle 6-9: Bilanz der mengenmäßig wichtigsten Stoffflüsse bei der Holzbildung [Frühwald et al., 1997]*
- Tabelle 6-10: Kohlenstoffspeicherung in Österreichs Wäldern 1990 [Weiss, 2000]*
- Tabelle 6-11 Gespeicherte CO<sub>2</sub> – Äquivalenzwerte in verschiedenen Schnittholzprodukten und Holzwerkstoffen laut der Datenbank Ecoinvent 2000 [Frischknecht und Jungbluth et al. 2004] und gemäß Wirkungsbilanzdaten nach CML 2001 [Guinée et al., 2001]. Trockenrohlichten nach [Gann und Zegler 2002].*
- Tabelle 7-1: Flächenkennzahlen des Holzskelettbau*
- Tabelle 7-2: Baumaterialmengen für einen Holzskelettbau bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Kellergeschossdecke Unterkante).*
- Tabelle 7-3: Flächenkennzahlen des Holzrahmenbau*
- Tabelle 7-4 Baumaterialmengen für einen Holzrahmenbau bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Kellergeschossdecke Unterkante).*
- Tabelle 7-5 Flächenkennzahlen des Holzskelettbau mit Massivholzwandelementen*
- Tabelle 7-6 Baumaterialmengen für einen Holzskelettbau kombiniert mit Massivholzelementen bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Erdgeschossdecke Unterkante).*
- Tabelle 7-7: Flächenkennzahlen des Holzmassivbau*
- Tabelle 7-8 Baumaterialmengen für eine Holzmassivbauweise (Brettstapel für Decken und Wände) bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Erdgeschossdecke Unterkante).*
- Tabelle 7-9: Flächenkennzahlen des Holzmassivbau*

*Tabelle 7-10: Baumaterialmengen für eine Holzmassivmischbauweise (Brettstapel für Decken in Kombination mit Beton, die Wände sind als Kombination zwischen Massiv- und Skelettbauweise konzipiert) bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Erdgeschossdecke Unterkante).*

*Tabelle 7-11: Flächenkennzahlen des Holzmassivbaues*

*Tabelle 7-12 Baumaterialmengen für eine Ziegelbauweise (Beton für, Wände in Poroton Ziegeln) bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Erdgeschossdecke Unterkante).*

*Tabelle 7-13: Flächenkennzahlen des Betonmassivbaues*

*Tabelle 7-14 Baumaterialmengen für eine Betonbauweise mit Fertigteilelementen, welche mit Transportbeton vergossen werden (System Katzenberger) bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Erdgeschossdecke Unterkante).*

*Tabelle 7-15: Flächenkennzahlen des Betonmassivbaues*

*Tabelle 7-16: Baumaterialmengen für eine Betonbauweise mit Fertigteilelementen, welche mit Transportbeton vergossen werden (System Katzenberger) bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Erdgeschossdecke Unterkante).*

*Tabelle 7-17: Baumaterialmengen für eine historische Ziegelbauweise mit Holztramdecke, bezogen auf die Nutzfläche bzw. Bruttogeschossfläche ohne Kellergeschoss (Systemgrenze: Erdgeschossdecke Unterkante) und mit Kellergeschoss.*

*Tabelle 7-18 Durchschnittlicher Materialbedarf für ein Kellergeschoss in Betonbauweise.*

*Tabelle 8-1: Vorgeschlagene Indikatoren gemäß dem Normenentwurf ISO DIS 21 930 [2005]*

*Tabelle 8-2: Prüfungs-/Bewertungsbogen bei Bauträgerwettbewerben. Kriterien und Erläuterungen [Korab 2001].*

*Tabelle 8-3: Auswahl der ökologischen Bewertungskriterien auf Basis der allgemein anerkannten Nachhaltigkeitskriterien.*

*Tabelle 8-4: Auswahl der ökologischen Bewertungskriterien auf Basis der Ziele und Grundsätze des Abfallwirtschaftsgesetzes.*

*Tabelle 9-1: Bauproduktion Hoch- und Tiefbau 2001. Österreich nach Sparten. Zahlenwerte aus Tabelle in [Fachverband der Bauindustrie, 2003] für das Jahr 2001 rückgerechnet.*

*Tabelle 9-2: Multiplikatorwirkung und Beschäftigungswirkung von Investitionen in verschiedenen Sektoren des Bauwesens und dem privaten Konsum [WIFO 1995 zitiert in: Bundesarbeitskammer et al., 2003]*

*Tabelle 9-3: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses „Rohstoffgewinnung und Veredelung“.*

*Tabelle 9-4: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses „Baumaterialproduktion und Vorfertigung“.*

*Tabelle 9-5: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses „Verteilung von Baumaterialien und vorgefertigten Bauteilen“.*

*Tabelle 9-6: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses Errichtung von Hochbauten.*

*Tabelle 9-7: Energieverbrauch der einzelnen Prozesse während der Errichtung anhand eines Referenzhauses [Schüchtermann & Wagner 1996].*

*Tabelle 9-8: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses Nutzung – Lager von Wohn- und Bürobauten*

*Tabelle 9-9: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses Rückbau und Abbruch von Wohn- und Bürobauten.*

*Tabelle 9-10: Anwendungsgebiete im Erdbau (nach ZTV E) [Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau 2003]*

*Tabelle 9-11: Anwendungsgebiete im Straßenoberbau nach RStO und im sonstigen Verkehrswegebau, z. B. Garten- und Landschaftsbau, landwirtschaftlichen Wegebau*

*Tabelle 9-12: Sonstige Anwendungsgebiete [Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau 2003].*

*Tabelle 9-13: Entwicklung des Altlastensanierungsbeitrages in den Jahren 2001 bis 2004 [AWK – Wien 2002]*

*Tabelle 9-14: Trennung der Stoffgruppen und Mengenschwellen bei der Trennung und Sammlung der bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien [Bausrestmassentrennverordnung 1991] und berechnetes dazugehöriges Volumen (Bezogen auf die Rohdichte, bezogen auf Schüttdichte können Volumina wesentlich größer sein).*

*Tabelle 9-15: Bau- und Abfallholz in Österreich aus unterschiedlichen Datenquellen und eine Umrechnung auf Wien über statistische Kennzahlen.*

*Tabelle 9-16: Holzabfälle gegliedert nach Abfallart in Wien im Jahr 2000 laut [AWK – Wien 2002]*

*Tabelle 9-17: Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung.*

*Tabelle 9-18: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses thermische Verwertung von Baurestmassen und Baustellenabfällen-*

*Tabelle 9-19: Kapazität thermische Anlagen in Wien – („öffentliche Anlagen und ausgewählte Dritte“) [Umweltbundesamt, 2003]*

*Tabelle 9-20: Schema der Herkunfts-, Zielprozesse und Güterflüsse des Prozesses Deponie.*

*Tabelle 9-21: Vergleich statistischer Kennzahlen zwischen Wien und Österreich [Statistik Austria, 2003], [http://www.statistik.at/gz/vz.shtml, 29.8.2003], [MA66, 2002a].*

*Tabelle 9-22: Gebäudebestand und darin befindliche Wohnungen in Wien nach der Bauperiode [MA 66, 2002] und [Statistik Austria 2004].*

*Tabelle 9-23: Errichtung von Wohnungen in Wien von 1991 bis 2001 [Statistik Austria 2003].*

*Tabelle 9-24: 2001 errichtete Gebäude, Geschossanzahl und verbaute Fläche [Statistik Austria 2003] und daraus abgeleitete Kellergeschossflächen.*

*Tabelle: 9-25 2001 fertig gestellte Gebäude nach überwiegend verwendeten Materialien in den Außenmauern und Anzahl der Wohnungen [Statistik Austria 2003].*

*Tabelle 9-26: Darstellung der 2001 in Wien errichteten Wohngebäude und deren Wohnfläche getrennt nach Ein- und Zweifamilienhäuser, Häuser mit 3 und mehr Wohnungen bis zu fünf Geschossen (Bereich der durch Holz substituierbaren Konstruktionen) und Gebäuden mit mehr als fünf Geschossen. Substitutionspotential für Szenario 2 wird angegeben, für Szenario 3 beträgt es 100 %.*

*Tabelle 9-27: Darstellung der 2001 in Wien errichteten 409.000 m<sup>2</sup> Büroflächen getrennt nach Bauweisen und der durch Holzkonstruktionen substituierbaren Büroflächen.*

*Tabelle 9-28: Baumaterial Input aus Baugewerbe und Bauindustrie nach Wien [ÖSTAT 1992], [Daxbeck et al. 1996]*

*Tabelle 9-29: Bandbreite: Baumaterialienverbrauch (ohne Wasser, Luft und Energieträger / gerundet) in kg/E.a des Bauwesens nach verschiedenen Literaturstellen, 1991 [Daxbeck et al. 1996]*

*Tabelle 9-30: Bauproduktion Hoch- und Tiefbau 2001. Österreich nach Sparten. Zahlenwerte aus Tabelle in [Fachverband der Bauindustrie, 2003] für das Jahr 2001 rückgerechnet.*

*Tabelle 9-31: Flächen- und Raumgewichte der untersuchten Gebäude in verschiedenen Bauweisen. Die Spalten 2 bis 8 repräsentieren die Flächen- und Raumgewichte unterschiedlich gewählter Systemgrenzen.*

*Tabelle 9-32: Abgeschätztes Holzlager im Wiener Gebäudebestand auf Basis von [MA 66 2002a] und [Schuh 2004]. Es wurde eine mittlere Dichte von 470 kg/m<sup>3</sup> angenommen, es handelt sich hauptsächlich um Fichten- und Lärchenholz.*

*Tabelle 9-33: Grobabschätzung des Lagers der Stadt Wien, Bestimmung des Stellenwertes des Wohn- und Bürobaues im Vergleich zum Gesamtlager des Hoch und Tiefbaues.*

*Tabelle 9-34: Abschätzung des Abfallaufkommens in Wien aus dem Bauwesen auf Basis des Abfallwirtschaftskonzepts Wien 2002 [AWK - Wien 2002].*

*Tabelle 9-35: 2001 in Wien errichtete Kellergeschossflächen und dabei eingesetzte Materialmenge für den Ist – Stand, Szenario 2 und Szenario 3.*

*Tabelle 9-36: Gesamter Baumaterialinput für den Ist - Stand in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Ein- und Zweifamilienhäuser 2001 – Szenario 1.*

*Tabelle 9-37: Gesamter simulierter Baumaterialinput für Szenario 1 in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Ein- und Zweifamilienhäuser 200 Szenario 21.*

- Tabelle 9-38: Gesamter Baumaterialinput für den Ist - Stand in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Zweigeschoßige Wohnhäuser 2001 Szenario 1.*
- Tabelle 9-39: Gesamter simulierter Baumaterialinput für den Ist - Stand in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien - Zweigeschoßige Wohnhäuser 2001.*
- Tabelle 9-40: Gesamter Baumaterialinput für den Ist - Stand in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – 3 – 5-geschoßige Wohnhäuser 2001.*
- Tabelle 9-41: Gesamter simulierter Baumaterialinput für Szenario 2 in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – 3 – 5-geschoßige Wohnhäuser 2001.*
- Tabelle 9-42: Gesamter Baumaterialinput für den Ist – Stand (Szenario 1) und für Szenario 2 in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Wohngebäude mit 6 und mehr Geschoßen 2001.*
- Tabelle 9-43: Gesamter Baumaterialinput für den Ist - Stand in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Wohnungen in sonstigen Gebäuden, Dachgeschoßausbauten und Auf-, Zu- und Umbauten 2001, Szenario 1.*
- Tabelle 9-44: Gesamter simulierter Baumaterialinput für Szenario 2 in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Wohnungen in sonstigen Gebäuden, Dachgeschoßausbauten und Auf-, Zu- und Umbauten 2001.*
- Tabelle 9-45: Gesamter Baumaterialinput für den Ist – Stand (Szenario 1) in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Büroflächen und sonstige Raumnutzungen in Wohnbauten 2001.*
- Tabelle 9-46: Gesamter simulierter Baumaterialinput für Szenario 2 in den Wohnungs- und Siedlungsbau in Wien – Büroflächen und sonstige Raumnutzungen in Wohnbauten 2001.*
- Tabelle 9-47: Gesamter Baumaterialinput für den Ist – Stand (Szenario 1) der 2001 in Wien errichteten 409.000 m<sup>2</sup> Büroflächen.*
- Tabelle 9-48: Gesamter simulierter Baumaterialinput für Szenario 2 der 2001 in Wien errichteten 409.000 m<sup>2</sup> Büroflächen.*
- Tabelle 9-49: Gesamter simulierter Baumaterialinput für Szenario 2 der 2001 in Wien errichteten 924.917 m<sup>2</sup> Wohn- und Büroflächen.*
- Tabelle 9-50: Eingebaute Baumaterialmengen für den Ist – Stand, Szenario 1 und Szenario 2 für das Jahr 2001.*
- Tabelle 9-51: 2001 in Wien umbauter Raum im Hochbau, gegliedert nach Gebäudearten.*
- Tabelle 9-52: Österreichische Waldinventur 2000/02 – Waldflächen und Holzvorräte der einzelnen Bundesländer.*
- Tabelle 9-53: Rundholzoutput 2001 für die drei Szenarien sowie Mehrverbrauch an Holzbiomasse für die Szenarien 2 und 3.*
- Tabelle 9-54: Bedarf an Rohstoff (Rundholz für Massivholz, BSH, FSH; Industrierestholz und andere Holzreste für Spanplatten und OSB) für die einzelnen Szenarien, berechnet über den Bedarf der Endprodukte, welche gleichzeitig der Prozessoutput sind.*
- Tabelle 9-55: Im Hinterland Wiens produzierte Baumaterialien für den Verbrauch im Wiener Wohn- und Bürobau 2001 für die 3 Szenarien. Output des Prozesses Baumaterialproduktion.*
- Tabelle 9-56: Wirkungsbilanzdaten des Kumulierten Energieaufwands erneuerbarer (KEA e) und nicht erneuerbarer (KEA ne) Energieträger, Treibhauseffekt (GWP 100) und Landverbrauch.*
- Tabelle 9-57: Wirkungsbilanzdaten des Ozonerstörungspotentials (ODP), des Photooxidantienbildungspotentials (POCP), des Versauerungspotentials (AP) und des Überdüngungspotentials (AP).*
- Tabelle 9-58: Wirkungsbilanzdaten des Prozesses Produktion aufgeteilt auf die einzelnen Materialgruppen für Szenario 1.*
- Tabelle 9-59: Wirkungsbilanzdaten des Prozesses Produktion aufgeteilt auf die einzelnen Materialgruppen für Szenario 2.*
- Tabelle 9-60: Wirkungsbilanzdaten des Prozesses Produktion aufgeteilt auf die einzelnen Materialgruppen für Szenario 3.*
- Tabelle 9-61: Transportdistanzen Produktion - Wien*
- Tabelle 9-62: Wirkungsbilanzdaten des Kumulierten Energieaufwands erneuerbarer (KEA e) und nicht erneuerbarer (KEA ne) Energieträger, Treibhauseffekt (GWP 100) und Landverbrauch.*

- Tabelle 9-63: Wirkungsbilanzdaten des Ozonerstörungspotentials (ODP), des Photooxidantienbildungspotentials (POCP), des Versauerungspotentials (AP) und des Überdüngungspotentials (AP).*
- Tabelle 9-64: Eingebaute Baumaterialien und Bauweisen für Szenario 1 in Tonnen.*
- Tabelle 9-65: Ermittlung des Verschnitts, der In- und Outputmengen und des Lagers in [t] – Szenario 1.*
- Tabelle 9-66: Anfallende Baustellenabfälle und deren durchschnittliche Zusammensetzung pro m<sup>3</sup> umbauten Raum auf Basis von Tabelle 9-65.*
- Tabelle 9-67: Eingebaute Baumaterialien und Bauweisen für Szenario 2 in Tonnen.*
- Tabelle 9-68: Ermittlung des Verschnitts, der In- und Outputmengen und des Lagers in [t] – Szenario 2.*
- Tabelle 9-69: Eingebaute Baumaterialien und Bauweisen für Szenario 3 in Tonnen.*
- Tabelle 9-70: Ermittlung des Verschnitts, der In- und Outputmengen und des Lagers in [t] – Szenario 3.*
- Tabelle 9-71: Kennzahlen bezüglich Diesel und Stromeinsatz für den Errichtungsprozess exklusive Transporte und Bodenaushub. Die Basis für die hier angegebenen Kennzahlen liefern [Pohlmann 2002], [Schüchtermann & Wagner 1996], [Krotschek 1997] und [Eyerer & Reinhardt 2000]*
- Tabelle 9-72: Umweltwirkungen bei der Errichtung von Büro- und Wohnbauten 2001 bewirkt durch den Strom- und Dieselverbrauch, für alle Szenarien gleich angenommen.*
- Tabelle 9-73: Berechnete Lagerentwicklung von 2001 – 2101 für Szenario 1*
- Tabelle 9-74: Berechnete Lagerentwicklung von 2001 – 2101 für Szenario 2*
- Tabelle 9-75: Berechnete Lagerentwicklung von 2001 – 2101 für Szenario 3*
- Tabelle 9-76: Materialflüsse aus dem Prozess Rückbau des Wiener Büro- und Wohnbaues im Jahr 2001 für alle 3 Szenarien.*
- Tabelle 9-77 Materialien aus dem Jahr 2001 im Vergleich zur möglichen zukünftigen Zusammensetzung in mehr als 100 Jahren, Abschätzung für die drei Szenarien.*
- Tabelle 9-78: Inputgüter in den Prozess Sammlung und Sortierung aus dem Prozess „Errichtung von Büro- und Wohnbauten“ – neu und dem Prozess „Rückbau und Abbruch“ - alt für Szenario 1.*
- Tabelle 9-79: Inputgüter in den Prozess Sammlung und Sortierung aus dem Prozess „Errichtung von Büro- und Wohnbauten“ – neu und dem Prozess „Rückbau und Abbruch“ - alt für Szenario 2.*
- Tabelle 9-80: Inputgüter in den Prozess Sammlung und Sortierung aus dem Prozess „Errichtung von Büro- und Wohnbauten“ – neu und dem Prozess „Rückbau und Abbruch“ - alt für Szenario 3.*
- Tabelle 9-81 Zielprozesse der sortierten Baurestmassen und Baustellenabfälle für Szenario 1.*
- Tabelle 9-82: Zielprozesse der sortierten Baurestmassen und Baustellenabfälle für Szenario 2.*
- Tabelle 9-83: Zielprozesse der sortierten Baurestmassen und Baustellenabfälle für Szenario 3.*
- Tabelle 9-84: Umweltwirkungen des Prozesses Sammlung und Sortierung, Szenario 1.*
- Tabelle 9-85: Umweltwirkungen des Prozesses Sammlung und Sortierung, Szenario 2.*
- Tabelle 9-86: Umweltwirkungen des Prozesses Sammlung und Sortierung, Szenario 2.*
- Tabelle 9-87: Inputgüter aus dem Herkunftsprozess „Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung“ in den Prozess „Tiefbau“.*
- Tabelle 9-88: Exportgüter aus dem Herkunftsprozess „Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung“ in die Prozesse der stofflichen Verwertung außerhalb des betrachteten Systems.*
- Tabelle 9-89: Inputgüter aus dem Herkunftsprozess „Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung“ in den Prozess „Deponie“.*
- Tabelle 9-90: Umweltwirkung des Prozesses Deponie für Szenario 1.*
- Tabelle 9-91: Umweltwirkung des Prozesses Deponie für Szenario 2.*
- Tabelle 9-92: Umweltwirkung des Prozesses Deponie für Szenario 3.*
- Tabelle 9-93: Inputgüter aus dem Herkunftsprozess „Private und öffentliche Abfallsammlung und Sortierung“ in den Prozess „Müllverbrennungsanlage“.*
- Tabelle 9-94: Umweltwirkungen des Prozesses Müllverbrennung für Szenario 1.*
- Tabelle 9-95: Umweltwirkungen des Prozesses Müllverbrennung für Szenario 2.*
- Tabelle 9-96: Umweltwirkungen des Prozesses Müllverbrennung für Szenario 3.*



- Tabelle 9-97: Inputmengen an Bau- und Abbruchholz in den Prozess „Kraft – Wärmekopplung Wien“, substituiertes Heizöl und erzeugte Energie für Fernwärme für die drei Szenarien.*
- Tabelle 9-98: Umweltwirkungen des Prozesses „Thermische Verwertung Kraft – Wärmekopplung“ unter Berücksichtigung der Heizölsubstitution für Szenario 1.*
- Tabelle 9-99: Umweltwirkungen des Prozesses „Thermische Verwertung Kraft – Wärmekopplung“ unter Berücksichtigung der Heizölsubstitution für Szenario 2.*
- Tabelle 9-100: Umweltwirkungen des Prozesses „Thermische Verwertung Kraft – Wärmekopplung“ unter Berücksichtigung der Heizölsubstitution für Szenario 3.*
- Tabelle 10-1: Baumaterialmengen für die drei Szenarien zusammengefasst in die wichtigsten Materialgruppen.*
- Tabelle 10-2: Abschätzung des zukünftigen Anfalls an Baurestmassen aus den Prozessen „Errichtung“ und „Abbruch und Rückbau“ für die drei Szenarien mit den heutigen Verwertungsquoten.*
- Tabelle 10-3: Deponieraumbedarf der drei Szenarien für den Wiener Büro- und Wohnbau in Zukunft.*
- Tabelle 10-4: KEA erneuerbar für die drei Szenarien für das Jahr 2001.*
- Tabelle 10-5: KEA erneuerbar: Beiträge der einzelnen Baumaterialgruppen im Prozess Produktion für die drei Szenarien*
- Tabelle 10-6: KEA nicht erneuerbar für die drei Szenarien für das Jahr 2001*
- Tabelle 10-7: Beitrag der Materialgruppen zum Bedarf nicht erneuerbarer Energie KEAne für die drei Szenarien des Prozesses Produktion.*
- Tabelle 10-8: GWP 100 für die drei Szenarien für das Jahr 2001*
- Tabelle 10-9: Beitrag der einzelnen Baumaterialgruppen zum Treibhauseffekt durch den Prozess Produktion für die drei Szenarien.*
- Tabelle 10-10: Ozonzerstörungspotential der drei Szenarien für das Jahr 2001.*
- Tabelle 10-11: Darstellung der Beiträge des Prozesses Produktion zum Ozonzerstörungspotential für die drei Szenarien.*
- Tabelle 10-12: Darstellung des Photoxidantienpotential der drei Szenarien.*
- Tabelle 10-13: Darstellung der Beiträge der einzelnen Materialgruppen des Prozesses Produktion zum Photoxidantienpotential für die drei Szenarien.*
- Tabelle 10-14: Anteile der einzelnen Prozesse am Versauerungspotential für die drei Szenarien.*
- Tabelle 10-15: Beiträge der einzelnen Materialgruppen des Prozesses Produktion zum Versauerungspotential für die drei Szenarien.*
- Tabelle 10-16: Beiträge der einzelnen Prozesse zum Eutrophierungspotential der einzelnen Prozesse.*
- Tabelle 10-17: Beitrag der Materialgruppen des Prozesses Produktion zum Eutrophierungspotential der drei Szenarien.*
- Tabelle 10-18: Darstellung des Landverbrauchs für die drei Szenarien.*
- Tabelle 10-19: Landverbrauch im Prozess Produktion für die drei Szenarien*
- Tabelle 11-1: Beiträge des Sekundärressourcen Managements von Altholz zum Treibhauseffekt für die drei Szenarien.*
- Tabelle 11-2: Bilanz der CO<sub>2</sub> – Äquivalente für das Subsystem „Sekundärressourcen Management Altholz“ für die drei Szenarien des Wiener Wohn- und Bürobaues 2001.*
- Tabelle 11-3 Darstellung der CO<sub>2</sub> – Äquivalenzbilanz der 3 untersuchten Fälle.*
- Tabelle 21-1 Grundprinzipien des Nationalen Allokationsplans für Österreich 2004 für die Periode 2005 – 2007 [NAPfÖ 2004]*

## 17 Literaturverzeichnis

- Abfallnachweisverordnung 2003 (2003): *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Nachweispflicht für Abfälle*. BGBl. II Ausgegeben am 30. Dezember 2003 Nr. 618.
- AISAG (1989): *Altlastensanierungsgesetz*. BGBl. Nr. 299/1989 in der Fassung von BGBl. Nr. 163/2001.
- Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau (2003): „3. Monitoring – Bericht Bauabfälle (Erhebung 2000)“. Berlin/Düsseldorf/Duisburg, 31. Oktober 2003.
- Auer H. (2004): *Kalkulation Hochbau – Baumeisterarbeiten*. Österreichischer Wirtschaftsverlag, Wien 2004. ISBN 3-85212-121-3.
- AWG 2002 (2002): *102. Bundesgesetz: Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002 und Änderung des Kraftfahrzeuggesetzes 1967 und des Immissionsschutzgesetzes – Luft*. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. 16. Juli 2002. GZ 02Z034232 M
- AWK – Wien (2002): *Das Wiener Abfallwirtschaftskonzept*. G. Spet et al., Magistratsabteilung 48. Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und Fuhrpark. November 2002, Wien.
- Ayres, R.U. (1989): *Industrial Metabolism. Technology and Environment*. 1989. Pp. 23-49. Washington, DC. National Academy Press.
- Ayres, R.U., Ayres, L.W., McCurley, J., Small, M.J., Tarr, J.A., Widgery, R.C. (1985): *A Historical Reconstruction of Major Pollutant Levels in the Hudson-Raritan Basin: 1880-1980*, Variflex Corporation, March 1985.
- Baccini P. (1999): *Urbane Regionen umbauen: Warum und wie?* Vortrag an der TU – Wien im Rahmen des Umwelttechnik Seminars der Abteilung Abfallwirtschaft.
- Baccini, P.; Bader, H.-P. (1996) *Regionaler Stoffhaushalt. Erfassung, Bewertung und Steuerung*. Heidelberg Berlin Oxford. Spektrum Akademischer Verlag.
- Baccini, P, Brunner, P.H. (1991): *The Metabolism of the Anthroposphere*. Springer-Verlag. Berlin – Heidelberg - New York - Tokyo.
- Bachhiesl M. (2005): Persönliche Mitteilung via Email am 22.2.2005, Österreichische Bundesforste.
- Bachmann P. (1996): „*Forstliche Planung I/II*. Vorlesungsmanuskript an der Abteilung für Forstwesen der ETH Zürich.“ Zürich.
- Barnthouse, L.; Fava, J.; Humphreys, K.; Hunt, R.; Laibson, L.; Noesson, S.; Norris, G.; Owens, J.; Todd, J.; Vigon, B.; Weitz, K.; Young, J. (1998): *Life-Cycle Impact Assessment: The State-of-the-Art*. 2nd edition, Report of the SETAC Life-Cycle Assessment (LCA) Impact Assessment Workshop, SETAC LCA Advisory Group.
- Bauer C. (2003): *Holzenergie*. In: Dones, R. (Ed.) et al., *Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von*

- Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Final report ecoinvent 2000 No. 6-IX, Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- Baumeler A., P.H. Brunner, R. Fehringer, A. Kisiakova, E. Schachermayer (1998): *Reduktion von Treibhausgasen durch Optimierung der Abfallwirtschaft*. Projekt Methan. Energieforschungsgemeinschaft. Schriftenreihe der Energieforschungsgesellschaft im Verband der E-Werke Österreichs. Wien. Verband der Elektrizitätswerke Österreichs (VEÖ).
- Baurestmassentrennverordnung (1991): *Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Trennung von bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien*. BGBl. Nr. 259/1991.
- Bergbäck, B. (1992): *Industrial Metabolism. The Emerging Landscape of Heavy Metal Immission in Sweden*. Linköping University, Linköping, Sweden.
- BFW (2004): *Österreichische Waldinventur 2000/02*. Bundesamt und Forschungszentrum für Wald. BFW Praxis und Information Nr. 3 – 2004. Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien.
- BMLFUW (2002): *Strategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels*. Klimastrategie 2008/2012 vom Ministerrat angenommen am 18. Juni 2002. BMLFUW Abteilung V/4, 1010 – Wien.
- BMLFUW (2003): *Österreichs Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2003*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. AV-Druck Wien.
- Boustead, I. (1972): *The Milk Bottle*, Open University Press, Milton Keynes, 1972.
- BO Wien (2001): 37. Gesetz: *Bauordnung für Wien (Techniknovelle)*; Änderung [CELEX-Nrn.: 393L0076 und 395L0016]. Landesgesetzblatt für Wien. 26.4.2001.
- Brandstätter M. (1994): *Untersuchungen zu Fragen der Wiederverwendbarkeit von altem Konstruktionsholz – Insektenresistenz, Oberflächenbehandlung, Quellen und Schwinden*. Im Auftrag des Österreichischen Baustoff-Recycling-Verbandes, des Fachverbandes der Bauindustrie und der Bundesinnung Baugewerbe
- Bröthaler J., W. Blaas und H. Wernhart (2001): *Gewerbehöfe im dicht verbauten Stadtgebiet Wien*. Workingpaper Nr. 1/2001. Institut für Finanzwissenschaften und Infrastrukturpolitik. ifip, TU-Wien. Wien.
- Brunner, P.H., Daxbeck, H., Henseler, G., von Steiger, B., Beer, B., Piepke, G. (1990): *RESUB, Der regionale Stoffhaushalt im Unteren Bünztal*. Die Entwicklung einer Methodik zur Erfassung des regionalen Stoffhaushaltes. ETH - Zürich, EAWAG, Abteilung Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt, Dübendorf, Schweiz.
- Brunner P.H., H. Daxbeck, A. Merl & R. Obernosterer (1994): *Die Stoffflussanalyse als Instrument für eine nachhaltige urbane Entwicklung*. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft. TU - Wien, Wien.
- Bundes-Abfallwirtschaftsplan Bundesabfallbericht 2001 (2001): *Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung III/3 U; Stubenbastei 5, 1010 Wien. ISBN 3-902010-70-3. Wien, 30. Juni 2001.

- Bundesarbeitskammer et al. (2002): *Mehr Beschäftigung in der Bauwirtschaft*. Ein Memorandum an die neue Bundesregierung. Download am 24.11.2003: <http://www.akwien.at/dat/baumemorandum2002.pdf>. Hrsg.: Bundeskammer für Arbeiter und Angestellte, Gewerkschaft Bau-Holz und Gewerkschaft der Privatangestellten. Eingendruck der Herausgeber, Wien am 22.11.2002.
- Carlowitz H.C. von (1713): „*Sylvicultura Oeconomica*“. Oder hauswirthliche Nachricht und naturgemässe Anweisung zur wilden Baum-Zucht etc. Leipzig.
- Consoli, F., D. Allen, I. Boustead, J. Fava, W. Franklin, A.A. Jensen, N. de Oude, R. Parrish, R. Perriman, D. Postlethwaite, B. Quay, J. Séguin & B. Vigon (1993): *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A „Code of Practise“*, Edition 1, from Setac Workshop held at Setimbra, Portugal 31 March – 3 April 1993, Brusseles, Pensacola: Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
- Cotta H. (1804): *Systematische Anleitung zur Taxation der Waldungen*. 2 Abtlgn., Berlin.
- Cotta H. (1820): *Anweisung zur Forst-Einrichtung und Abschätzung*. 1. TI. Dresden Arnoldsche Buchhandlung, Dresden.
- CSIRO (2004): *Pressemitteilung*. Paul Fraser. Forschungsinstitut der Australischen Regierung. Sydney 2004.
- Daxbeck H., A. Kisliakova, R. Obernosterer (2001): *Der Ökologische Fußabdruck der Stadt Wien (Projekt Footprint)*. Im Auftrag der Magistratsabteilung 22 – Umweltschutz der Stadt Wien. Wien, Mai 2001.
- Daxbeck et al. (1996): Daxbeck H., C. Lampert, L. Morf, R. Obernosterer, H. Rechberger, I. Reiner, P.H. Brunner (1996): *Der anthropogene Stoffhaushalt der Stadt Wien. Projekt Pilot*. Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Abteilung Abfallwirtschaft. Wien.
- Daxbeck H., Merl A., Obernosterer R. & Brunner P.H. (1994) „Die Stoffflussanalyse als Instrument für eine nachhaltige urbane Entwicklung“. Hrsg. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft, TU-Wien, Wien.
- Daxbeck H. & P.H. Brunner (1993): *Stoffflussanalysen als Grundlage für effizienten Umweltschutz*; Österreichische Wirtschaft, Jahrgang 45, Heft 3/4, S 90–95, Wien.
- derStandard (2004): „*Blei aus Armaturen im Trinkwasser (APA)*.“ Printausgabe vom 15.9.2004.
- DER STANDARD (2004): Interview mit Wolfgang Sailer, Leiter des Instituts für Atmosphärische Umweltforschung des Klimaforschungszentrums Karlsruhe. Eva Stanzl, Printausgabe vom 30.3.2004.
- DERSTANDARD (2004): „*Handel mit CO<sub>2</sub>-Ausstoß*“. Printausgabe 28.1.2004, stro.
- Die Presse (2004): „*Wohnbauförderung: 55.000 neue Wohnungen bis zum Jahr 2014*. (Die Presse) 01.09.2004
- Doka, G. (2000): *Ökoinventar der Entsorgungsprozesse von Baumaterialien Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen von Gebäuden*. Untersuchung im Rahmen

- des IEA BCS Annex 31: Energy Related Environmental Impact of Buildings. Bundesamt für Energie. Zürich.
- Dones et al. (2004): Dones R., Bauer C., Bolliger R., Burger B., Faist Emmenegger R., Frischknecht R., Heck T., Jungbluth N. and Röder A. (2004): *Life Cycle Inventories of Energy Systems: Results for Current Systems in Switzerland and other UCTE Countries*.ecoinvent report No. 5. Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf 2004.
- Duden (1982): Duden Fremdwörterbuch. Dudenverlag, ISBN 3-411-20905-4 Mannheim/Wien/Zürich.
- Duvigneaud, P., Denayer-De Smet, S. (1975): *L'Écosystème Urbs, L'Écosystème Urbain Bruxellois*. In: Productivité biologique en Belgique (édité par P. Duvigneaud et P. Kestemont). Travaux de la Section belge du Programme Biologique International. S. 581-597.
- DVO 1996 (1996): *Verordnung des Bundesministers für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen (Deponieverordnung)*. BGBl. 164/1996.
- EN ISO 14.040 (1997): *Life Cycle Assessment – Principles and Framework* (Ökobilanzen – Prinzipien und Verfahren)
- EN ISO 14.041 (1998): *Life Cycle Assessment – Goal and Scope Definition and Life Cycle Inventory* (Ökobilanzen – Sachbilanz)
- EN ISO 14.042 (1998): *Life Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment* (Ökobilanzen – Wirkungsabschätzung)
- EN ISO 14.043 (1998): *Life Cycle Assessment – Interpretation*
- EN ISO/TS 14048 (2002): *Environmental management – Life cycle assessment - Data documentation format* [ISO/TS 14048:2002 (E)]
- EN ISO/TR (2000): *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Examples of the Application of ISO 14041 to Goal and Scope Definition and Inventory Analysis*
- Eyerer, P. (1996): *Die ganzheitliche Bilanzierung – Ein Werkzeug zum Planen und Wirtschaften in Kreisläufen*. Springer Verlag Berlin
- Eyerer P., Reinhardt H.-W., (2000): *Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden. Wege zu einer ganzheitlichen Bilanzierung*. Unter Mitarbeit von: J. Kreißig, M. Baitz, M. Betz, H. Schöch. Basel; Boston; Berlin: Birkhäuser, 2000 (Baupraxis) ISBN 3-7643-6207-3
- Fachverband der Bauindustrie Österreichs (2003): *Zahlen – Daten – Fakten. Statistik 1 – 12 2002*. Download der Homepage der Wirtschaftskammer Österreich am 19.11.2003: <http://www.wk.or.at/fvbi/statistik/2002>
- Fallscheer F.C. (1997): *Ökoeffizienter Einsatz von Primär- und Recyclingstoffen für die Papier- und Kartonherstellung*. Dissertation ETH Nr. 12341. ETH Zürich.
- FAO (2001): *State of the World's Forests 2001*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2001. ISBN 92-5-104590-9.
- FAO. (2000): *Commodity market review 1999-2000*. Rome. Available at [www.fao.org/](http://www.fao.org/)

- Fava, J.A., R. Denison, B. Jones, M.A. Curran, B. Vigon, S. Selke und J. Barnum (1990):  
Editors: *A technical framework for life cycle assessment*.
- Fehringer R., P.H. Brunner (1996): *Kunststoffflüsse und Möglichkeiten der Kunststoffverwertung in Österreich*. Monografie. Wien. Umweltbundesamt Wien.
- Fengel D., Wegener G. (1984): *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Berlin, Deutschland.
- Fischer, T. (1999): *Zur Untersuchung verschiedener methodischer Ansätze zur Bestimmung entnommener mineralischer Rohstoffmengen am Beispiel des Aufbaus von Wien*. Diplomarbeit. Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Abt. Abfallwirtschaft. Wien.
- Forstgesetz 1975 (2002): Das Forstgesetz 1975, BGBl. Nr. 440, in der Fassung von BGBl. I Nr. 59/2002, Änderung des Forstgesetzes 1975. 2002.04.12.
- FRA (2000): *Global Forest Resource Assessment. State and conditions of forest resources for the year 2000, and their changes over the last 20 years*.  
<http://edcdaac.usgs.gov/glcc/fao/>
- Frankl, P.; Rubik, F. (2000): *Life Cycle Assessment in Industry and Business: Adoption Patterns, Applications and Implications*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 280 S., ISBN 3-540-66469-6.
- Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Heck T., Hellweg S., Hischer R., Nemecek T., Rebitzer G., Spielmann M. (2004) Overview and Methodology.ecoinvent report No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2004. [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch).
- Fritsche U. R., W. Jenseit, C. Hochfeld (1999): *Methodikfragen bei der Berechnung des Kumulierten Energieaufwands (KEA)*. Arbeitspapier im Rahmen der UBA – F&E – Vorhabens Nr. 104 01 123. Öko – Institut. Darmstadt, Mai 1999.
- Frühwald A., M. Scharai-Rad, J. Hasch, G. Wegener, B. Zimmer (1997): *Erstellung von Ökobilanzen für die Forst- und Holzwirtschaft*. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., München.
- Frühwald A., Speckels L., Scharai-Rad M., Welling J. (2000): *Ökologische Bilanzierung von Bauschnittholz und veredelten Vollholzprodukten*. Ordinariat für Holztechnologie der Universität Hamburg, gefördert durch die DGfH-Innovations- und Service GmbH aus Mitteln des Holzansatzfonds, 2000.
- Frühwald A. (2005): "Introduction to LCA of Wooden Products". Vortrag im Rahmen des COST E31 Training Course Recovered Wood Management 7.6. – 10.6.2005. University of Hamburg, Bergedorf.
- Gaisberger A., M. Schwarzthans (2003): *Kuppelraum 2 TU – Wien*. Gutachten über die Tragfähigkeit des Kuppelraumes 2 der Technischen Universität Wien, unter Berücksichtigung unterschiedlicher Lastfälle und Brandlasten. Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau. Technische Universität Wien.
- Gann M., T. Ziegler (2002): *Ökologische Kennwerte von Holz und Holzwerkstoffen in Österreich*. Endbericht im Rahmen des Forschungsprojektes „Erhebung bauphysikalischer

- sowie ökologischer Kennwerte von Holz und Holzwerkstoffen', Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH (IBO), 2002.
- Geissler S., Bruck M. (2001): ECO-Building. Optimierung von Gebäuden durch Total Quality Assessment (TQ-Bewertung). Österreichisches Ökologieinstitut und Kanzlei Dr. Bruck. Wien, April 2001.
- Gilgen D., Gugerli H., Koch, P., Lalive d'Epany A., Ott, W., Seiler, B. (1998): *Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich*. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie bearbeitet durch: econcept – ETH – Zürich, Gruppe S&U – Intep AG.
- Glenck E., T. Lahner, W. Lauber (1996): *Güterbilanz des Bauwesens, Baurestmassen in Oberösterreich*. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft, TU - Wien. Wien.
- GUA (2003): Autoren W. Stark, T. Vogel-Lahner, W. Frühwirth: „*Bauwerk Österreich Management von Baurestmassen nach den Gesichtspunkten der optimalen Ressourcennutzung und des langfristigen Umweltschutzes anhand der Güter- und Stoffbilanz des „Bauwerks Österreich“*“. GUA Gesellschaft für umfassende Analysen GmbH, Sechshäuser Straße 83, A-1150 Wien. Wien, Dezember 2003.
- Guinée J., M. Gorrée, R. Heijungs, G. Huppes, R. Kleijn, A. de Koning, L. van Oers, A.W. Sleeswijk, S. Suh, H.A.U. de Haes, H. de Bruijn, R. van Duin, M.A.J. Huijbregts, E. Lindeijer, A.A.H. Roorda, B.L. van der Ven and B.P. Weidema (2001): Life cycle assessment – An operational guide to the ISO standards. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment and Centre of Environmental Science - Leiden University, 2001.
- Haeblerlin, N. (1997): „Abfallarmer und recyclinggerechter Baustellenbetrieb – Entwicklung eines Abfallmanagementsystems für den Bau(stellen)-betrieb“, Promotionsvorhaben im Rahmen des Graduiertenkollegs „Interdisziplinäre Strategien zum Schutz der Umwelt“ der RWTH Aachen
- Haefele G., W. Oed und B.M. Sambeth (1996): *Baustoffe und Ökologie. Bewertungskriterien für Architekten und Bauherren*. Ernst Wasmuth Verlag GmbH & Co Thübingen / Berlin. ISBN 3 8030 0165 X.
- Hartig G.L. (1795): *Anweisung zur Taxation und Beschreibung der Forste, oder zur Bestimmung des Holzertrages der Wälder*. Giessen.
- Hartig G.L. (1808) *Anweisung zur Holzzucht für Förster*. Marburg.
- Hasch J. (2002): *Ökologische Betrachtungen von Holzspan- und Holzfaserplatten*. Dissertation am Ordinariat Holztechnologie und Holzwirtschaft der Universität Hamburg, Mai 2002.
- Heijungs, R. et al (2001): *Environmental Life Cycle Assessment of Products – Guide*. Ed. CML (Centre of Environmental Science), Universität Leiden, Leiden 2001
- Heijungs R., Guinée J.B., Huppes G., Lankreijer R.M., Udo de Haes H.A. & Wegener Sleeswijk (1992): *Environmental life cycle assessment of products*. Guide. Leiden: Centrum voor Milieukunde.

- Herry M. (1994): „Güterverkehr in Österreich, 1991“. Österreichische Raumordnungskonferenz (ÖROK), Schriftenreihe Nr. 100, Wien.
- Hermann R. (1981): *Baurestmassen gehören nicht auf die Deponie, Rückführung des Abbruchmaterials in den Stoffkreislauf*. Müll und Abfall 9/81, Erich Schmidt Verlag, Seiten 262 – 270.
- Hundeshagen J.Ch. (1826): *Die Forstabschätzung auf neuen wissenschaftlichen Grundlagen, nebst einer Charakteristik und Vergleichung aller bisher bestandenen Forsttaxationsmethoden*. Tübingen, Lauppsche Buchhdlg., 2 Abtln.
- Hunt, R.G.; W.E. Franklin (1974): Resource and environmental profile analysis of nine beverage container alternatives, Technical report, U.S. Environmental Protection Agency, Springfield.
- IDARio (1996): Nachhaltige Entwicklung in der Schweiz. Bericht. Positionen des Bundes zur nachhaltigen Entwicklung.
- ISO DIS 21930 (2005): Europäischer Normenentwurf: Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products.
- IUCN, UNEP und WWF (1980): *World Conservation Strategy – Living Resource Conservation for Sustainable Development*.
- Jungmeier & Merl (2001): G. Jungmeier, A. Merl with contributions from: C. Gallis, C. Hohenthal, F. McDarby, A.K. Petersen, K. Spanos: „*End of Use and End of Life Aspects in LCA of Wood Products – Selection of Waste Management Options and LCA Integration*“. In: Achievements of COST Action E9 Working Group 3 “End of Life: Recycling, Disposal and Energy Generation”. G. Jungmeier (eds.) Joanneum Research Report No.: IEF-B-11/01, p. 4/1 – 4/25, Graz, 23.11.2001, Austria.
- K.K. Ackerbauministerium (1903): Statistisches Jahrbuch, Druck und Verlag d. K.K. Staatsdruckerei, Wien.
- Koch, P., Ott, W., Seiler, B. (1998): *Funktionale Einheit und Systemgrenzen bei Ökobilanzen im Bauwesen*.
- Kohler N. & Klingele M. (1995): *Baustoffdaten - Oekoinventare*. Projekt OGIP. Projekt KO-BEK. Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib) Universität Karlsruhe (TH). Lehrstuhl für Bauklimatik und Bauökologie, Hochschule für Architektur und Bauwesen (HAB) Weimar. Institut für Energietechnik (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich. M. Holliger, Holliger Energie Bern.
- Korab R. (2001): *Qualitätswettbewerb im geförderten Wohnbau – Das Wiener Modell*. raum & kommunikation. 20.5.2001.
- Kramer H. (1985): *Begriffe der Forsteinrichtung*. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M.
- Krotscheck C. & König F. (1997): *Ökoprotif Graz – Modul 6 – Prozessbewertung/SPI: Ökologischer Fußabdruck des Bausektors Graz – Endbericht*. Im Auftrag der Stadt Graz (MA 23 – Amt für Umweltschutz), Graz 1997.



- Lindfors, I.-G.; Christiansen, K.; Hoffmann, L.; et al. (1995): *LCA-NORDIC Technical Reports No 10 and Special Reports No 1-2*. Nordic Council of Ministers, Kopenhagen, 67 S., ISBN 92-9120-609-1
- Lohm U. (1993): *Industrial metabolism at the National Level: A Case Study of Cadmium, Chromium and Lead Pollution in Sweden*. Department of Water and Environmental Studies, University of Linköping, Linköping, Sweden.
- MA 48 (2003): *Das Wiener Abfallwirtschaftskonzept 2002*. Kurzfassung. Magistratsabteilung 48. Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und Fuhrpark.
- MA 48 (1998): *Das Wiener Abfallwirtschaftskonzept*. Bericht Nr. Band XXII. MA48 Magistrat der Stadt Wien: Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und Fuhrpark. Wien.
- MA 66 (2002): *Ergebnisse der Volkszählung 2001 für Wien*. Statistisches Amt der Stadt Wien. <http://www.wien.gv.at/ma66/volkszaehlungsergebnisse.htm>, 5.12.2002
- MA66 (2002a): *Statistisches Jahrbuch der Stadt Wien*. Statistisches Amt der Stadt Wien. Ausgabe 2002. November 2002.
- MA66 (1998): *Statistisches Jahrbuch der Stadt Wien 1997*. MA66 Magistrat der Stadt Wien: Statistisches Amt. Wien.
- Maydl P. (2005): Persönliche Mitteilung am 24.8.2005, Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie (IMBT), TU – Graz.
- Maydl P. (1995): *Technisch – wirtschaftliche Wiederverwertung von Hochbaurestmassen*. Schlussbericht. Im Auftrag der ILBAU Ges.m.b.H. Direktion 33 Tiefbau. In Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Baustoff-Recycling-Verband. Fachverband der Bauindustrie. Bundesinnung Baugewerbe. Wien, März 1995.
- Maydl P. (1994): *Verwertungsmöglichkeiten für Hochbaurestmassen*. Erstellt vom Österreichischen Baustoff-Recycling Verband. Im Auftrag von Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie und Gemeinde Wien – Magistratsabteilung 24. Band 13, Schriftenreihe der Sektion V. Wien, 1994.
- Maydl P. (1993): *Technisch – wirtschaftliche Wiederverwertung von Hochbaurestmassen – Eignungsprüfung von Mauersteinen. Bauprakt. Erprobung (Künetten und Leitungsräben)*. Ergänzungen zum Schlussbericht. Im Auftrag der Asphalt + Betonbau Ges.m.b.H. In Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Baustoff-Recycling-Verband. Fachverband der Bauindustrie. Bundesinnung Baugewerbe. Wien, September 1993.
- Meadows et al. (1972): Limits Meadows, D., D. Meadows and J. Randers. 1972. *The Limits to growth*. Universe books, New York.
- Meadows et al. (1992): Beyond Meadows, D., D. Meadows and J. Randers. 1992. *Beyond the Limits: Confronting Global Analysis, Envisioning a Sustainable Future*. Chelsea Green Publishing Company, Post Mills, Vt.
- Merl A. (2004): *Sustainable Resource Management in the Building Sector – Management of Recovered Wood in the City of Vienna*. European COST E31 Conference. Management of Recovered Wood. Recycling, Bioenergy and other Options. Proceedings. Editor Dr. C. Gallis. University Studio Press. ISBN 960-12-1275-2. 22.-24 April 2004, Thessaloniki.

- Merl A. (2003): *Waste Management Options in Life Cycle Assessment of Buildings and Building Materials. Criteria for the Selection of Waste Management Options and Findings for LCA Applications*. Vienna University of Technology, Department of Structural Design, Vienna, Austria.
- Merl A., Millonig S. (2003): *Wahlseminar Ökologische Bewertung von Tragwerken*. Lehrunterlagen, Nachlese und Vorträge. CD am Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau erhältlich. TU – Wien.
- Merl A. (2001): *Ökobilanzen (Life Cycle Assessment). Eine komprimierte Methodenbeschreibung angelehnt an die Norm EN ISO 14.040 ff*. Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau. TU-Wien. Erhältlich beim Autor oder von der ITI – Homepage: [www.iti.tuwien.ac.at](http://www.iti.tuwien.ac.at) (Download).
- Merl A. (1996): *Vergleich der methodischen Ansätze von Stoffhaushaltsstudien*, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft, TU-Wien, Diplomarbeit.
- Millonig S. (2004): *Persönliche Mitteilung*. Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau. TU – Wien.
- Millonig S. (2003): *Der Wald im Wandel der Zeit*. Arbeitsbericht am Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau. TU-Wien. Wien, 30.10.2003.
- Müller, A. (1997): *Holz im mehrgeschoßigen Wohnungsbau. Ein Vergleich unter Berücksichtigung ökologischer Kriterien*. Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau. TU – Wien. Chaire de construction bois, Ecole polytechnique, Lausanne.
- Müller, D. (1998): *Modellierung, Simulation und Bewertung des regionalen Holzhaushaltes. Untersuchung zur Wald- und Holzbewirtschaftung in einer nachhaltigen Regionalentwicklung*. Dissertation an der ETH Zürich, Diss ETH Nr.12990. Zürich.
- NAPfÖ (2004): *Nationaler Allokationsplan für Österreich*. Entwurf, öffentliche Konsultation. 22. März 2004. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- NCM (Nordic Council of Ministers) (1992): *Product Life Cycle Assessments –Principles and Methodology*. Nordic Council of Ministers, Kopenhagen, 289 S., ISBN 92-9120-012-3
- Newcombe, K., Kalma, I. D., Aston, A R. (1978): *The Metabolism of a City: The Case of Hong Kong*. AMBIO, Volume VII Nr.1, 1978, page 3-16.
- Nölte, M. (2002): *Vergleich der ökologischen Effizienz der Stahlbetonbauweise und der Holzmassivbauweise im verdichteten mehrgeschoßigen Wohnbau*. Diplomarbeit. Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau. TU – Wien.
- Obernosterer, R.; Reiner, I.; Smutny, R. (2003): *„Urbanes Ressourcen Management: Fallstudie Wien. Teilbereich Schadstoffmanagement diffuser Metallemissionen.“* Projekt Ökopolis. Ressourcen Management Agentur (RMA). Im Auftrag von Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Abteilung Umweltwissenschaften und Magistrat der Stadt Wien, MA 22 – Umweltschutz. 12/2003.
- Obernosterer, R.; Smutny, R. (2002) *FCKW Newsletter #1. FCKW-Passé? Leider noch nicht ganz!* (Projekt FCKW-Multiplikator) Ressourcen Management Agentur (RMA). Initiative

- zur Förderung einer umweltverträglichen nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung. Wien.
- Obernosterer, R.; Brunner, P.H.; Daxbeck, H.; Gagan, T.; Glenck, E.; Hendriks, C.; Morf, L.; Paumann, R.; Reiner, I. (1998) *Materials Accounting as a Tool for Decision Making in Environmental Policy - Mac TEmPo Case Study Report - Urban Metabolism, The City of Vienna*. Institute for Water Quality and Waste Management, Vienna University of Technology, Vienna.
- ÖNORM B 1800 (1992): *Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken – Bilderläuterungen*, Beiblatt 1. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1992.
- ÖNORM B 1800 (1992): *Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken* Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1992.
- ÖSTAT (1994): *Baustatistik 1992*. ISBN 3-7046-0652-9. Wien 1994.
- ÖSTAT (1993): *Baustatistik 1991, 2. Teil, Beschäftigte, Personalaufwand, Netto- und Bruttoproduktionswerte, Vorleistungen, Investitionen, Abschreibungen, Jahresergebnisse, Beiträge zur österreichischen Statistik*. Heft 1.110, Österreichisches Statistisches Zentralamt, Wien.
- Österreichische Holzindustrie (2003): *„Branchenbericht 2002/2003“*. Fachverband der Holzindustrie Österreichs. 1030 Wien, Schwarzenbergplatz 4. DVR: 0556556.
- Piringer M. und T. Fischer (2003): *Kreislaufwirtschaft mit Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen*. Voraussetzungen und Strategien. GLIOBAL 2000 Umweltforschungsinstitut. Hrsg. BMVIT. Berichte aus Energie- und Umweltforschung. 14/2003. Wien am 3. März 2003.
- Pohlmann M. C. (2002): *Ökologische Betrachtung für den Hausbau – Ganzheitliche Energie- und Kohlendioxidbilanzen für zwei verschiedene Holzkonstruktionen*. Dissertation an der Universität Hamburg, Fachbereich Biologie.
- Presseinformation (2003): *Kossina: Projekt MVA Pfaffenau voll im Zeitplan*. Presseinformation, 28.7.2003. [www.umweltzentrum.at](http://www.umweltzentrum.at), Rückfragehinweis: Mag. Karl Wögerer.
- Pulli, R. (1998): *Überblick über die Ökobilanzierung von Gebäuden*. Laboratorium für Technische Chemie, Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz. Zürich.
- Rat der EU (2002): *Entscheidung 2002/358/EG des Rates vom 25. April 2002 über die Genehmigung des Protokolls von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen im Namen der Europäischen Gemeinschaft sowie die gemeinsame Erfüllung der daraus erwachsenden Verpflichtungen* [Amtsblatt L 130 vom 15.5.2002.
- Riccabona C. (1981): *Baukonstruktionslehre 4/1. Bauphysik*. ISBN 3-214-91103-1. Manzschsche Verlags- und Universitätsbuchhandlung, Österreichischer Bundesverlag Gesellschaft mbH. 1090 – Wien.
- RMA (2003): *„Güterhaushalt Österreich“*. Ressourcen Management Agentur, Wien 2003.

- Schachermayer et al. (2000): Schachermayer, E.; Glenck, E.; Lahner, T.; Jereb, W.; Leitner, E.; Brunner, P.H. „*Bauwesen – Abfallstrategien in der Steiermark*“ (Projekt BASS) Hrsg. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abt. Abfallwirtschaft, TU-Wien.
- Scheidler D. (2003): „*Wien 1820 – 1860: Holzdecken von öffentlichen Gebäuden mit besonderem Blick auf das Hauptgebäude der Technischen Universität*“. Diplomarbeit am Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau. TU-Wien, Mai 2003.
- Schmidheiny S. (1992): *Kurswechsel – Globale unternehmerische Perspektiven für Entwicklung und Umwelt*. Business Council for Sustainable Development. Artemis und Winkler.
- Schmidt-Bleek, F. (1994): *Wie viel Umwelt braucht der Mensch? MIPS - Das Maß für ökologisches Wirtschaften*. Birkhäuser-Verlag, 304 Seiten, Basel/Boston/Berlin, Februar 1994.
- Schüchtermann F. & Wagner H.-J. (1996): *Ermittlung des kumulierten Energieaufwandes für Bau- und Nutzung eines Einfamilienhauses*. Universität GH Essen. FB 12 – Ökologisch verträgliche Energiewirtschaft.
- Schuh (2004): Telefoninterview 2004 mit Herrn Schuh, Besitzer des Abbruchholzverarbeitenden Sägewerks Schuh in Wien 23.
- Schweinle J. (1996): *Analyse und Bewertung der forstlichen Produktion als Grundlage für weiterführende forst- und holzwirtschaftliche Produktlinien-Analysen*. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Nr. 184, Kommissionsverlag, Hamburg, 1996.
- SETAC (1993): *Guidelines for Life Cycle Assessment: A Code of Practice*. SETAC Europe. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Hrsg.). Brussels.
- Statistik Austria (2004): *Statistisches Jahrbuch Österreichs*. Internetversion, Stand 11.7.2004: <http://www.statistik.at/jahrbuch/deutsch/start.shtml>.
- Statistik Austria (2003): *Wohnbautätigkeit. Bewilligungen & Fertigstellungen 2001. Wohnbaukosten 2000*. Für den Inhalt verantwortlich: Kurt Vollmann. Herausgegeben von Statistik Austria. ISBN 3-901400-92-3. Wien 2003.
- Statistik Austria (2003a): *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Hauptergebnisse 1978 – 2002*. Für den Inhalt verantwortlich: Ursula Havel. Hrg. STATISTIK AUSTRIA. Bundesanstalt Statistik Österreich. Wien.
- Statistik Austria (2001): *Statistisches Jahrbuch 2001*. Republik Österreich. <http://www.statistik.at>
- Statistik Austria (vormals ÖSTAT) (1995): *Republik Österreich 1945 – 1995*, Österreichisches Statistisches Zentralamt, Wien.
- Steinlin H. (1997): *Von der forstlichen Nachhaltigkeit des 19. Jahrhunderts zum Sustainable Development des 21. Jahrhunderts*, Vortragsmanuskript, Uni / ETH Zürich.
- Stöhr D., Ziegner K. (2004): „*Tiroler Wald im Wandel der Zeit*“. Landesforstdirektion Tirol. <http://www.wlv-austria.at/fachliches/Zillertal/SthrZieg.htm> (Version 20.1.2004).
- Sundström, G. (1973): Investigation of the energy requirements from raw material to garbage treatment for four Swedish beer packing alternatives.

- Teischinger A. (2002): *Lignovisionen Band 2: Holz – Rohstoff-Werkstoff-Energiequelle der Zukunft*. Schriftenreihe des Institutes für Holzforschung (ihf) gemeinsam mit dem Verband Holzwirte Österreichs – VHÖ, beide an der Universität für Bodenkultur Wien, Band 2, Februar 2002.
- TBFRA - 2000 (2000): *Forest Resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand*. Temperate and Boreal Forest Resources Assessment 2000. UNECE Timber Committee and the FAO European Forestry Commission. Geneva.
- Umweltbundesamt (2003): *Online – Abfrage zu abfallwirtschaftlichen Anlagen*. <http://www.umweltbundesamt.at>.
- UN (1992): *Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen*. 9. Mai 1992. New York.
- UN (1997): *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. 11. Dezember 1997. Kyoto.
- UNEP (2000): *The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer as either adjusted and/or amended in London 1990, Copenhagen 1992, Vienna 1995, Montreal 1997, and Beijing 1999*. UNEP Ozone Secretariat. United Nations Environment Programme. Nairobi 2000. ISBN: 92-807-1888-6.
- VDI (1997): *Kumulierter Energieaufwand - Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden*, Düsseldorf.
- WCED (1987): *Der Brundtland-Report 1987: „Unsere gemeinsame Zukunft (Our Common Future)*. Vorsitz: Gro Harlem Brundtland. WCED (World Commission on Environment and Development). Genf, London 1987.
- Wackernagel M., W. Rees (1996): *Our Ecological Footprint. Reduction Human Impact on the Earth*. The New Catalyst Bioregional Series. Gabriola Island. Kanada. New Society Publishers.
- Wackernagel M., L. Onisto, A. Callejas Linares, I.S. López Falfán, J.M. Garcia, A.I. Suárez Guerrero, M.G. Suárez Guerrero (1997): *Ecological Footprint of Nations. How much nature do they use? – How much nature do they have?* Universidad Anáhuac de Xalapa. Centro de Estudios para la Sustentabilidad. Xalapa. Mexico.
- Walddialog (2003): *Schriftliche Information zur Präsentation Kollmann*. 2003-06-26. Fachverband der Holzindustrie Österreichs. Schwarzenbergplatz 4, 1030-Wien.
- Waltjen, T. et. al. (1999): *Ökologischer Bauteilkatalog. Bewertete gängige Konstruktionen*. ISBN 3-211-83370-6 Springer –Verlag Wien New York.
- Weiss P. (2000): *Die Kohlenstoffbilanz des österreichischen Waldes und Betrachtungen zum Kyoto-Protokoll* Umweltbundesamt, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Monographien Band 106 M-106, Wien, 2000
- Werner, F. (1998): *„Nachhaltigkeit im Holzbau“*. EMPA Dübendorf, Abteilung Holz. Dokument vom Autor erhalten.
- Werner, F. (2002): *Modelling of Wood Products in Life Cycle Assessment with Special Emphasis on Recycling and End-of-life*. Model Requirements, Allocation Procedures and

Recommendations Derived from LCAs of Railway Sleepers and Particleboard. Research and Work Report 115/48 EMPA Laboratory 115, Group Ecology. February 2002.

Werner F., H.-J. Althaus, T. Künninger, K. Richter, N. Jungbluth (2003): *Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material*. Data v1.01 (2003). EMPA, Dübendorf. ESU – Services, Uster. ecoinvent report No. 9. Dübendorf, December 2003.

Winter W., J. Dreyer, H. Schöberl (2001): *Holzbauweisen für den verdichteten Wohnbau*. Grundlagenstudie. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 34/2001. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien.

Winter S. und Kehl D. (2002a): „*Untersuchung zur Objektivierung der Bewertung des Verkehrswertes von Gebäuden im Holzbaueise im Vergleich zu anderen Bauweisen*“. Universität Leipzig, Lehrstuhl für Stahlbau und Holzbau, 2002.

Winter S. und Kehl D. (2002b): „*Holzhäuser, Werterhaltung Lebensdauer*“. holzbau handbuch, DGfH Innovations- und Service GmbH und Holzabsatzfond (Hrsg.), 2002.

Zimmer B. (2002): *Ökobilanzierung – Bewertungssystem für Werkstoffe und Produkte der Zukunft 2002*

Internet:

<http://www.bau-info.at>, Österreichische Baudatenbank, März 2005.

<http://www.bundesforste.at/dbpresscornerausgabe/detailansicht.php?ID=114>, 16.2.2005.

<http://www.falk.de/routenplaner>, März 2005.

<http://www.lebensministerium.at/umwelt/>, 2004, Bundesministerium für Umwelt, Land- und Forstwirtschaft.

[http://www.proholz.at/wald\\_holz/statements/statement3.htm](http://www.proholz.at/wald_holz/statements/statement3.htm), 2005, Proholz Österreich

<http://www.statistik.at/gz/vz.html>, 29.8.2003: Statistik Austria, Bevölkerung.

<http://www.umberto.de/de/home/glossary/>. Terminologie bei Ökobilanzen.

<http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/buerostudie/#3>, 26.7.2004: Wien.at, Stadtentwicklung.

<http://www.wienstrom.at/> (2005):  
[http://www.wienstrom.at/ws/wienstrom/jsp/browse/content.jsp?BV\\_SessionID=@@@@0220011324.1108583314@@@@&BV\\_EngineID=ccccaddlhlgjmecfnqcfkmdfhjdqjk.0&contentType=2&contentOid=1073771520&channelId=-1073754957](http://www.wienstrom.at/ws/wienstrom/jsp/browse/content.jsp?BV_SessionID=@@@@0220011324.1108583314@@@@&BV_EngineID=ccccaddlhlgjmecfnqcfkmdfhjdqjk.0&contentType=2&contentOid=1073771520&channelId=-1073754957), 16.2.2005.

<http://www.wien.gv.at/ma22/abfall/abfallstatistik.htm>: Information vom 22.2.2005

[www.wuppertal-institut.de](http://www.wuppertal-institut.de) (2001): Wuppertalinstitut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

## 18 Anhang A: MIPS – Methode

Das MIPS-Verfahren (Materialinput per Service Unit) wurde im Zeitraum von 1992-1996 am Wuppertal Institut entwickelt [Schmidt – Bleek, 1994], weitere Informationen sowie Links und Downloads der MIPS-Werte für verschiedene Materialien befinden sich unter [www.wuppertal-institut.de](http://www.wuppertal-institut.de). Als EDV – Tool wird das MIPS – Konzept an dieser Stelle unter der Voraussetzung angeführt, dass die Datenbasis der ökologischen Rucksäcke bereits vorliegt. Den ökologischen Rucksäcken liegt eine Güterflussanalyse zugrunde. Wird dabei auf regionale Rahmenbedingungen nicht eingegangen, was aufgrund des großen Untersuchungsaufwandes oft in der Praxis nicht möglich ist, hat das einen Informationsverlust mit entsprechenden Ungenauigkeiten zur Folge.

Die Umweltbelastung eines Produktes wird mittels einer Materialintensitätsanalyse (MAIA) ermittelt und der zugehörige MIPS – Wert ist der Quotient aus dem gesamten eingesetzten Materialinput für die Herstellung eines Produktes oder der Erbringung einer Dienstleistung inklusive der ökologischen Rucksäcke (MI) und der dazugehörigen Serviceeinheit, also dem zugehörigen Nutzen (SI) des Produkts:

$$MIPS = \frac{MI}{SI} \quad \text{Formel 17}$$

MIPS kann sowohl auf Produkt- bzw. Dienstleistungsebene als auch auf nationaler Ebene in Form eines Stoffstrommanagements eingesetzt werden. Das Ziel ist die Steigerung der Ressourceneffizienz mittels Minimierung der Materialinputs. Die Betrachtung erfolgt auf Güterebene in Form von Erfassung der Materialmassen, ohne jedoch die qualitativen Wirkungen der einzelnen Güter und der darin enthaltenen Stoffe zu berücksichtigen. Die Systemgrenzen inkludieren alle der Natur primär entnommenen bzw. in ihr bewegten Materialien, die systemweit zur Produktion, zum Gebrauch, zum Recyceln und zur Entsorgung erforderlich sind. Die Gebrauchs- und Entsorgungsphase als solche, also die Umweltwirkungen des eingebauten Materials bzw. die beim Entsorgungs- bzw. Verwertungsprozess entstehenden Emissionen und deren Umweltwirkungen, werden in der Regel nicht berücksichtigt. Dadurch ist die Methode zwar leicht und schnell anwendbar, hat aber den Nachteil, dass qualitative Umweltwirkungen, wie beispielsweise die toxische Wirkung von Schwermetallen auf Mensch und Umwelt auch in massenmäßig geringen Konzentrationen, keine Berücksichtigung findet. Begründet wird das seitens der Entwickler mit der Annahme, dass eine Reduzierung der Inputströme automatisch in Richtung Steigerung der Ressourcenproduktivität geht und damit die Umwelt schont. Daraus ergab sich der Slogan „Faktor 4: Verdoppelung des Wohlstandes bei halbem Ressourcenverbrauch“.

Für die Anwendung im Bauwesen stehen für eine Reihe von Baumaterialien MI – Werte zur Verfügung sowie die Materialintensitäten der Bausteine "Elektrizität" mit dem zugehörigen Mix aus Braunkohle, Erdgas, Steinkohle, Uran, Windkraftanlagen und solarthermischen Kraftwerken und der Bausteine "Transport" per Bahn, Binnen- oder Hochseeschiff und LKW einschließlich der zugehörigen Infrastrukturen, wobei die Daten die deutschen Rahmenbedingungen widerspiegeln. Das System beinhaltet dann alle notwendigen inputseitigen Güter-

ströme. Die ermittelten Materialinputs werden in fünf Kategorien unterteilt, die nicht miteinander verrechenbar sind, die Einheit ist [t/t]:

- Abiotische (nicht-erneuerbare) Rohmaterialien
- Biotische (erneuerbare) Rohmaterialien
- Bodenbewegungen aus Land- und Forstwirtschaft
- Wasser
- Luft

Mittels eines Formulars werden die ökologischen Rucksäcke dieser fünf Kategorien für die einzelnen eingesetzten Baustoffe aufsummiert um so die Materialintensität zu errechnen. Als Serviceeinheit kann im Bauwesen beispielsweise bei Gebäuden unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer der MI-Wert pro m<sup>2</sup> und Jahr errechnet werden. Um möglichst den gesamten Lebenszyklus zu berücksichtigen können auch die Materialaufwendungen für Erhalt und Sanierung während der Gebrauchsdauer sowie der Materialbedarf für den Rückbau, die Verwertung bzw. Entsorgung berücksichtigt werden, wobei dafür die Datenlage spärlich ist. Unter Beachtung einheitlicher Rahmenbedingungen, also der gleichen funktionellen Einheit, können so beispielsweise unterschiedliche Bauweisen hinsichtlich des quantitativen Ressourcenverbrauches relativ einfach miteinander verglichen werden.

Mit der MIPS-Methode ist es möglich die Ressourceneffizienz bezüglich des Materialverbrauches zu steigern, es kann auch zur Steuerung und Optimierung von Produktionsprozessen und Dienstleistungen beitragen. Zum einen besteht die Möglichkeit, den Input zu verringern (Effizienzstrategie), zum anderen kann die Anzahl der Serviceeinheiten erhöht oder deren Dauer verlängert (Suffizienzstrategie) werden. Eine Gesamtbeurteilung der Umweltwirkungen scheint aber nur in Kombination mit anderen Erfassungs- und Bewertungsmethoden möglich zu sein.



## 19 Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

Holzskelettbau

Diplomarbeit [Müller 1997], die wichtigsten Daten eines Bauabschnitts sind:

Material	Bauteil	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Dicke [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Dichte [kgat/m <sup>3</sup> ]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m <sup>2</sup> ]	Masse/BGF [kg/m <sup>2</sup> ]
<b>Brettschichtholz Primärstruktur</b>								
BSH	Decken			5,640	430	2425	6,365	5,306
	Dach			3,008	430	1293	3,395	2,830
<b>BSH</b>	<b>Summe</b>			<b>8,648</b>		<b>3719</b>	<b>9,760</b>	<b>8,136</b>
<b>Massivholz</b>								
Massivholz	Skelett			8,916	430	3834	10,063	8,388
Massivholz	Balken			23,465	430	10090	26,483	22,075
Massivholz	Rahmen, Lattung			20,935	430	9002	23,627	19,695
Massivholz	Schalung	373,886	0,019	7,104	430	3055	8,017	6,683
	Schalung Dach	241,28	0,03	7,238	430	3113	8,169	6,810
<b>Massivholz</b>	<b>Summe</b>			<b>67,658</b>		<b>29093</b>	<b>76,360</b>	<b>63,650</b>
<b>Holzwerkstoffe Sekundärstruktur</b>								
Spanplatten				17,193	650	11175	29,332	24,450
<b>Beton Primärstruktur</b>								
Stahibeton				27,425	2500	68562	179,953	150,000
Beton				0,000	2400			
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>								
Zementestrich		450,12	0,05	22,506	2200	49513	129,956	108,325
<b>Stahl Primärstruktur</b>								
Stahl	Verbindungsm.			0,080	7850	632	1,658	1,382
<b>Ziegel</b>								
Dachziegel		241,28	0,025	6,032	1800	10858	28,498	23,754
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>								
Gipskarton		2950,96	0,0125	36,887	900	33198	87,135	72,631
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>								
Mineralwolle				128,204	28	3590	9,422	7,854
Trittschalldämmung		420,04	0,03	12,601	100	1260	3,307	2,757
PE-Folien		1090,99	0,0002	0,218	940	205	0,538	0,449
Pappe		640,076	0,001	0,640	1060	678	1,781	1,484
<b>Sonstige</b>	<b>Summe</b>			<b>141,663</b>		<b>5733</b>	<b>15,048</b>	<b>12,544</b>
<b>Summe</b>				<b>328,093</b>		<b>212483</b>	<b>557,699</b>	<b>464,871</b>

## Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

### Holzrahmenbau

Diplomarbeit [Müller 1997], die wichtigsten Daten eines Bauabschnitts sind:

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/BGF [kg/m²]
<b>Brettschichtholz Primärstruktur</b>						
BSH	Summe	2,770	430	1191	3,126	2,606
<b>Furnierschichtholz Primärstruktur</b>						
FSH	Summe	8,250	600	4950	12,992	10,830
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	Große QS	7,230	430	3109	8,160	6,802
Massivholz	Kleine QS	36,870	430	15854	41,612	34,686
Massivholz	Schalung	14,638	430	6298	16,530	13,779
Massivholz	Summe	58,747		25261	66,302	55,266
<b>Holzwerkstoffe Sekundärstruktur</b>						
Spanplatten		20,550	650	13358	35,059	29,224
<b>Beton Primärstruktur</b>						
Stahlbeton		27,425	2400	65820	172,755	144,000
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		22,214	2200	48871	128,270	106,920
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Armierung	0,349	7850	2742	7,198	6,000
Stahl	Verbindungsm.	0,029	7850	227	0,596	0,497
<b>Ziegel</b>						
Dachziegel		6,032	1800	10858	28,498	23,754
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		37,540	900	33786	88,677	73,917
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
Mineralwolle		139,240	28	3899	10,233	8,530
TDP	Steinwolle	13,328	100	1333	3,498	2,916
PE-Folien		0,217	900	195	0,512	0,426
Pappe		0,631	1060	669	1,756	1,464
Dämmst.	Summe	153,416		6096	15,999	13,336
Summe	Gesamt	337,322		213158,651	559,472	466,349

Holzmassivbau

Diplomarbeit [Müller 1997], die wichtigsten Daten eines Bauabschnitts sind:

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kgatro/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/BGF [kg/m²]
<b>Brettschichtholz Primärstruktur</b>						
BSH	Summe	5,240	430	2253	5,914	4,808
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	Große QS	8,500	430	3655	9,593	7,800
Massivholz	Kleine QS	16,800	430	7224	18,961	15,416
Massivholz	Schalung	15,080	430	6484	17,019	13,838
Massivholz	Summe	40,380		17363,271	45,573	37,054
<b>Brettstapel Primärtragstruktur</b>						
Brettstapel	Decken, Wände	99,450	430	42764	112,240	91,258
<b>Holzwerkstoffe Sekundärstruktur</b>						
Spanplatten		5,860	650	3809	9,997	8,128
<b>Beton Primärstruktur</b>						
Stahlbeton	Decken	68,254	2400	163810	429,946	349,572
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Betonestrich		23,314	2200	51290	134,619	109,453
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Verbind.m.	0,140	7850	1098	2,883	2,344
Stahl	Armierung	0,709	7850	5562	14,598	11,869
Stahl	Summe	0,848		6660	17,481	14,213
<b>Ziegel</b>						
Dachziegel		6,032	1800	10858	28,498	23,170
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		25,270	900	22743	59,693	48,534
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
Mineralwolle		111,590	28	3125	8,201	6,668
TDP	Steinwolle	13,388	100	1339	3,514	2,857
PE-Folien		0,234	940	220	0,578	0,470
Pappe		0,654	1060	693	1,820	1,479
Dämmstoffe	Summe	125,866		5376,865	14,113	11,474
Summe	Gesamt	400,514		326925,966	858,073	697,665

## Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

### Ziegelbau

Diplomarbeit [Müller 1997], die wichtigsten Daten eines Bauabschnitts sind:

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/BGF [kg/m²]
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	Kleine QS	6,110	430	2627	6,896	5,463
	Schalung	4,584	430	1971	5,174	4,099
<b>Massivholz</b>	<b>Summe</b>	<b>10,694</b>		<b>4599</b>	<b>12,070</b>	<b>9,562</b>
<b>Beton Primärstruktur</b>						
Stahlbeton	Decken	130,147	2400	312353	819,825	649,518
Magerbeton	Decken	9,000	2400	21600	56,693	44,916
<b>Beton</b>	<b>Summe</b>	<b>139,147</b>		<b>333953</b>	<b>876,518</b>	<b>694,434</b>
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		21,000	2200	46200	121,260	96,070
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Armierung	1,545	7850	12131	31,839	25,225
Metallständer		0,150	7850	1178	3,091	2,449
<b>Stahl</b>	<b>Summe</b>	<b>1,695</b>		<b>13308</b>	<b>34,930</b>	<b>27,674</b>
<b>Ziegel</b>						
Porotherm	Außenwand	125,470	750	94103	246,988	195,680
Systemziegel	Treppenhaus	12,470	1650	20576	54,004	42,785
Schallsch.zieg	Trennwand	26,890	1400	37646	98,808	78,282
Dachziegel		6,032	1800	10858	28,498	22,578
<b>Ziegel</b>	<b>Summe</b>	<b>170,862</b>		<b>163182</b>	<b>428,298</b>	<b>339,325</b>
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		6,430	900	5787	15,189	12,034
Mauermörtel	Außen - Perlite	12,547	650	8156	21,406	16,959
Gipsma.putz		7,314	1600	11702	30,715	24,334
Silikatputz		1,140	1800	2053	5,387	4,268
Leichtputz		11,403	700	7982	20,950	16,598
Zementvorspritzer		2,661	1800	4789	12,570	9,959
Fliesen		0,035	2000	69	0,181	0,143
<b>Sonstige</b>	<b>Summe</b>	<b>41,530</b>		<b>40538</b>	<b>106,399</b>	<b>84,296</b>
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
Mineralwolle		62,830	28	1759	4,617	3,658
TDP	EPS	12,600	100	1260	3,307	2,620
PE-Folien		0,132	940	124	0,326	0,259
Pappe		0,200	1060	212	0,556	0,441
<b>Summe</b>	<b>Dämmst. Kst.</b>	<b>75,762</b>		<b>3356</b>	<b>8,807</b>	<b>6,978</b>
<b>Summe</b>	<b>Gesamt</b>	<b>460,691</b>		<b>605135,200</b>	<b>1588,281</b>	<b>1258,339</b>

# Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

## Diplomarbeit Nölte 2002: System Katzenberger, Spannweite 3,75 m

Bauteil	1.OG [m³]	2.-4- OG [m³]	Dach [m³]	Summe [m³]
Massivholz				
Kant groß			6,866	6,866
Kant klein			0,032	0,032
Schalung			7,6	7,6
<b>B300</b>				
Decke	42,8	128,34	45,27	216,41
Treppenhaus	2,14	6,42		8,56
Trennwand	11,76	38,14		49,9
Außenwand	7,44	29,54	5,59	42,57
Laubengang	0,46	1,38		1,84
Summe B300				319,28
Fertigelemente System Katzenberger 5 cm				
Decke	13,31	39,92	15,09	68,32
Trennwand	14,7	47,67		62,37
Außenwand	7,44	29,54	6,33	43,31
Estrich				
Zementestrich	12,71	38,25		50,96
Stahl				
Armierung	0,676178344	2,079133758	0,605171975	3,360484076
Stahl Isokorb	0,1001	0,428	0,194	0,7221
Profile GK-W	0,054364331	0,108694268		0,163058599
Verbindungs- m	0,001463694	0,003476433		0,004940127
Mineralwolle				
Klemmfalz	9,24	20,32		29,56
EPS				
EPS - Isokorb	0,66	2,82	1,92	5,4
EPS TDP 45/40	10,2	30,6		40,8
EPS - F	8,93	35,45	7,08	51,46
XPS Dach			57,22	57,22
Gipskarton				
Gipskartonplatten	3,481	8,08		11,561
Gipsspachtel				
Trennwand	0,0522125	0,12116875		0,17338125
Außenwand	0,149	0,59		0,739
Decken		1,71	0,604	2,314
Summe				3,22638125
Schüttungen				
Sandschüttung	5,1	15,3		20,4
Kies 16/32			28,6	28,6
Kunststoff				
PE-Folie	0,051	0,153	0,1128	0,3168
Putz				
Gipsputz	2,12	5,987		8,107
Wärmedämmverbundsystem				
Haftmörtel kg	0,279	1,1078625	0,26535	1,6522125
Armiermörtel kg	0,62	2,626044444	0,628977778	3,875022222
Armiergewebe R	0,0096	0,0336	0,0096	0,0528
Silikatgrund kg	0,006975	0,02774375	0,0066375	0,04135625
Silikatputz	0,149	0,59	0,14	0,879
Ziegel				
Ziegelwand 10	4,06	12,17		16,23
Zinkblech			0,019176	0,019176
Befest. Verzinkt			0,003661972	0,003661972
Pappe			0,85836	0,85836
Filtervlies			0,028613333	0,028613333

# Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

Diplomarbeit Nölte 2002: System Katzenberger, Spannweite 3,75 m

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kgatro/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/BGF [kg/m²]
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	große QS	6,866	430	2952	3,666	2,383
Massivholz	kleine QS	0,032	430	14	0,017	0,011
	Schalung Dach	7,600	430	3268	4,058	2,638
Massivholz	<b>Summe</b>	<b>14,498</b>		<b>6234,140</b>	<b>7,741</b>	<b>5,032</b>
<b>Beton Primärstruktur</b>						
B300	Decken, Träge	226,810	2400	544344	675,901	439,370
B300	Wände	92,470	2400	221928	275,564	179,130
Fertigteile	Katzenb Decke	174,000	2500	435000	540,131	351,112
Beton	<b>Summe</b>	<b>493,280</b>		<b>1201272,000</b>	<b>1491,596</b>	<b>969,612</b>
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		50,960	2200	112112	139,207	90,492
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Verbindungsm.	0,005	7850	39	0,048	0,031
Stahl	Armierung	4,083	7850	32048	39,794	25,868
Metallständer	Baustahl	0,163	7850	1280	1,589	1,033
Zinkblech		0,023	7200	164	0,204	0,133
Stahl	<b>Summe</b>	<b>4,251</b>		<b>33367,075</b>	<b>41,431</b>	<b>26,932</b>
<b>Ziegel</b>						
Düwaziegel	Schächte 10	16,230	1160	18827	23,377	15,196
Ziegel	<b>Summe</b>	<b>16,230</b>		<b>18827</b>	<b>23,377</b>	<b>15,196</b>
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		11,561	900	10405	12,920	8,398
Gipsspachtel		3,226	1600	5162	6,410	4,167
Gipsma.putz		8,107	1600	12971	16,106	10,470
Haftmörtel kg		1,652	1600	2644	3,282	2,134
Armiermörtel		3,875	1800	6975	8,661	5,630
Armiergewebe		0,053	1500	79	0,098	0,064
Silikatgrund kg		0,041	1800	74	0,092	0,060
Silikatputz		0,879	1800	1582	1,965	1,277
Sandschüttung	0/4	20,400	1500	30600	37,995	24,699
Kiesschüttung	16/32	28,600	1500	42900	53,268	34,627
Sonstige	<b>Summe</b>	<b>78,395</b>		<b>113392,731</b>	<b>140,798</b>	<b>91,525</b>
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
MW Klemmfalz		29,560	28	828	1,028	0,668
EPS - F		56,860	16,5	938	1,165	0,757
XPS	Dach	57,220	36,5	2089	2,593	1,686
EPS TDP		40,800	11	449	0,557	0,362
PE-Folien		0,317	940	298	0,370	0,240
Pappe		0,858	1060	910	1,130	0,734
Dämmst. U. K		<b>185,615</b>		<b>5511</b>	<b>6,843</b>	<b>4,448</b>
<b>Summe</b>	<b>Gesamt</b>	<b>843,229</b>		<b>1490715,600</b>	<b>1850,993</b>	<b>1203,238</b>

## Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

Diplomarbeit Nölte 2002: System Katzenberger, Spannweite 7,50 m

Bauteil	1.OG [m²]	2.-4- OG [m²]	Dach [m²]	Summe [m²]
Massivholz				
Kant groß			6,866	6,866
Kant klein			0,032	0,032
Schalung			7,6	7,6
B300				
Decke	65,6	196,73	69,42	331,75
Treppenhaus	2,14	6,42		8,56
Trennwand	5,88	18,09		23,97
Außenwand	7,44	29,54	5,59	42,57
Laubengang	0,33	0,99		1,32
Summe B300				408,17
Fertigelemente System Katzenberger 5 cm				
Decke	13,59	42,3	15,09	70,98
Trennwand	7,35	22,51		29,86
Außenwand	7,44	29,54	6,33	43,31
Estrich				
Zementestrich	13,05	39,27		52,32
Stahl				
Betonstahl	0,935006369	2,843210191	0,912815287	4,691031847
Stahl Isokrb	0,1001	0,428	0,194	0,7221
Profile GK-W	0,045882803	0,138512102		0,184394904
Verbindungsm	0,00153758	0,004626752		0,006164331
Mineralwolle				
Klemmfalz	8,3	25,05		33,35
EPS				
EPS Isokorb	0,66	2,82	1,92	5,4
EPS TDP 45/40	10,44	31,41		41,85
EPS F	8,93	35,45	7,08	51,46
XPS			57,22	57,22
Gipskarton				
Gipskartonplatten	3,54	10,67		14,21
Gipsspachtel				
Trennwand	0,05305625	0,1451375		0,19819375
Außenwand	0,149	0,59		0,739
Decken		1,71	0,604	2,314
Summe				3,25119375
Schüttungen				
Sandschüttung	5,22	15,71		20,93
Kies 16/32			28,6	28,6
Kunststoff				
PE-Folie	0,051	0,157	0,1128	0,3208
Putz				
Gipsputz	1,14	3,48		4,62
Wärmedämmverb				
Haftmörtel kg	0,279	1,1078625	0,26535	1,6522125
Armiermörtel kg	0,62	2,626044444	0,628977778	3,875022222
Armiergewebe R	0,0096	0,0336	0,0096	0,0528
Silikatgrund kg	0,006975	0,02774375	0,0066375	0,04135625
Silikatputz	0,149	0,59	0,14	0,879
Ziegel				
Ziegelwand 10	4,06	12,18		16,24
Sonstige				
Zinkblech			0,019176	0,019176
Befest. Verzinkt			0,003661972	0,003661972
Pappe			0,85836	0,85836
Filtervlies			0,028613333	0,028613333

## Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

Diplomarbeit Nölte 2002: System Katzenberger, Spannweite 7,50 m

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/BGF [kg/m²]
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	große QS	6,866	430	2952	3,535	2,383
Massivholz	kleine QS	0,032	430	14	0,016	0,011
Massivholz	Schalung Dach	7,600	430	3268	3,913	2,638
Massivholz	<b>Summe</b>	<b>14,498</b>		<b>6234,140</b>	<b>7,464</b>	<b>5,032</b>
<b>Beton Primärstruktur</b>						
B300	Decken, Träge	341,630	2400	819912	981,637	661,796
B300	Wände	66,540	2400	159696	191,195	128,899
Fertigteile	Katzenb Decke	144,150	2500	360375	431,457	290,879
Beton	<b>Summe</b>	<b>552,320</b>		<b>1339983</b>	<b>1604,290</b>	<b>1081,573</b>
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		52,320	2200	115104	137,808	92,907
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Verbindungs m.	0,006	7850	48	0,058	0,039
Stahl	Armierung	5,413	7850	42493	50,875	34,298
Metallständer	Baustahl	0,184	7850	1448	1,733	1,168
Zinkblech		0,023	7200	164	0,197	0,133
Stahl	<b>Summe</b>	<b>5,604</b>		<b>44153</b>	<b>52,863</b>	<b>35,639</b>
<b>Ziegel</b>						
Düwaziegel	Schächte 10	16,240	1160	18838	22,554	15,206
Ziegel	<b>Summe</b>	<b>16,240</b>		<b>18838</b>	<b>22,554</b>	<b>15,206</b>
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		14,210	900	12789	15,312	10,323
Gipsspachtel		3,251	1600	5202	6,228	4,199
Gipsma.putz		4,620	1600	7392	8,850	5,966
Haftmörtel kg		1,652	1600	2644	3,165	2,134
Armiermörtel		3,875	1800	6975	8,351	5,630
Armiergewebe		0,053	1500	79	0,095	0,064
Silikatgrund kg		0,041	1800	74	0,089	0,060
Silikatputz		0,879	1800	1582	1,894	1,277
Sandschüttung	0/4	20,930	1500	31395	37,588	25,341
Kiesschüttung	16/32	28,600	1500	42900	51,362	34,627
Sonstige	<b>Summe</b>	<b>78,112</b>		<b>111032</b>	<b>132,933</b>	<b>89,620</b>
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
MW Klemmfilz		33,350	28	934	1,118	0,754
EPS - F		56,860	16,5	938	1,123	0,757
XPS	Dach	57,220	36,5	2089	2,500	1,686
EPS TDP		41,850	11	460	0,551	0,372
PE-Folien		0,321	940	302	0,361	0,243
Pappe		0,858	1060	910	1,089	0,734
Dämmstoffe	<b>Summe</b>	<b>190,459</b>		<b>5632</b>	<b>6,743</b>	<b>4,546</b>
<b>Summe</b>	<b>Gesamt</b>	<b>910</b>		<b>1640978</b>	<b>1964,654</b>	<b>1324,523</b>



# Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

Diplomarbeit Nölte 2002: Holz-Skelett-massiv-mischbau, Spannweite 3,75 m

Bauteil/Material	1.OG [m²]	2.-4- OG [m²]	Dach [m²]	Summe [m²]
BSH				
Säulen	7,49	25,31		32,8
Träger				0
FSH				
Platten	4,26	13,93		18,19
Streifen	2,5	7,72		10,22
Massivholz				
Kant groß	18,983	111,38	27,05	157,413
Kant klein	1,26	18,67	0,91	20,84
Schalung			7,55	7,55
Holzwerkstoffe				
OSB-Platten		27,38	9,66	37,04
Beton B300				
Decke	42,8			42,8
Treppenhaus	2,14			2,14
Trennwand				0
Außenwand				0
Laubengang				0
Summe B300				44,94
Fertigelemente System Katzenberger 5 cm				
Decke	13,31			13,31
Trennwand				0
Außenwand				0
Estrich				
Zementestrich	12,71	42,78	15,09	70,58
Stahl				
Betonstahl	0,572484076			0,572484076
Stahl Isokrb	0,1001			0,1001
Profile GK-W	0,048048408	0,144143949		0,192192357
Verbindungsm	0,035487898	0,20746242	0,049210191	0,29216051
Mineralwolle				
Klemmfalz	19,79	79,98		99,77
Fassadendä.p.	2,98	11,82		14,8
Herakliith BM	3,24	12,85		16,09
TDP 45/40		34,22		34,22
MW Dach			60,36	60,36
EPS				
Isokorb	0,66			0,66
TDP 45/40	10,2			10,2
EPS F				0
XPS				0
Gipskarton				
Gipskartonplatten	4,63	37,47	3,77	45,87
Gipsspachtel				
Trennwand	0,06071875	0,36200625		0,422725
Außenwand	0,01375	0,0553875		0,0691375
Decken			0,1131875	0,1131875
Summe				0,60505
Schüttungen				
Sandschüttung	5,1	42,78	15,09	62,97
Kies 16/32				0
Kunststoff				
PE-Folie	0,06688	0,17628	0,121	0,36416
Sylomerstreifen	0,067	0,201		0,268
Putz				
Gipsputz				0
Wärmedämmverbundsystem				
Haftmörtel kg	0,279	1,1078625		1,3868625
Armiermörtel kg	0,620833333	2,461666667		3,0825
Armiergewebe R	0,0096	0,0336		0,0432
Silikatgrund kg	0,006975	0,02774375		0,03471875
Silikatputz	0,124	0,492333333		0,616333333
Ziegel				0
Ziegelwand 10				0
Sonstige				0
Zinkblech			0,181086	0,181086
Befest. Verzinkt			0,014084507	0,014084507
Pappe			0,30185	0,30185
Filtervlies				0

# Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

Diplomarbeit Nölte 2002: Holz-Skelett-massiv-mischbau, Spannweite 3,75 m

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kgat/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/BGF [kg/m²]
<b>Brettschichtholz Primärstruktur</b>						
BSH	Summe	32,800	430	14104	17,397	11,384
<b>Furnierschichtholz Primärstruktur</b>						
FSH	Summe	28,410	600	17046	21,026	13,759
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	große QS	157,413	430	67688	83,493	54,634
Massivholz	kleine QS	20,840	430	8961	11,054	7,233
Massivholz	Schalung	7,550	430	3247	4,005	2,620
Massivholz	Summe	185,803		79895	98,551	64,488
<b>Holzwerkstoffe</b>						
OSB-Platten		37,040	610	22594	27,870	18,237
<b>Beton Primärstruktur</b>						
B300	Decken, Träge	44,940	2400	107856	133,041	87,056
Stahlbeton	Fertigteil	13,310	2500	33275	41,045	26,858
Beton	Summe	58,250		141131	174,085	113,915
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		70,580	2200	155276	191,533	125,332
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Verbindungsm.	0,292	7850	2293	2,829	1,851
Stahl	Armierung	0,673	7850	5280	6,513	4,262
Metallständer	Baustahl	0,192	7850	1509	1,861	1,218
Zinkblech		0,195	7200	1405	1,733	1,134
Stahl	Summe	1,157		10487	12,936	8,465
<b>Ziegel</b>						
Ziegel	Summe	0,000		0	0,000	0,000
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		45,870	900	41283	50,923	33,322
Gipsspachtel		0,605	1600	968	1,194	0,781
Haftmörtel kg		1,387	1600	2219	2,737	1,791
Armiermörtel		3,083	1800	5549	6,844	4,478
Armiergewebe		0,043	1500	65	0,080	0,052
Silikatgrund kg		0,035	1800	62	0,077	0,050
Silikatputz		0,616	1800	1109	1,368	0,895
Sandschüttung	0/4	62,970	1500	94455	116,510	76,240
Sonstige	Summe	114,609		145710	179,734	117,611
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
Mineralwolle	Dach	60,360	28	1690	2,085	1,364
Klemmfilz		99,770	28	2794	3,446	2,255
MW F	Dämmplatte	14,800	149	2205	2,720	1,780
Heraklith BM		16,090	400	6436	7,939	5,195
TDP Mineralw.		34,220	100	3422	4,221	2,762
EPS - Iso		0,660	16,5	11	0,013	0,009
EPS TDP		10,200	11	112	0,138	0,091
PE-Folien		0,364	940	342	0,422	0,276
PU-Dämmmatte	Sylomer	0,268	500	134	0,165	0,108
Pappe		0,302	1060	320	0,395	0,258
Dämmstoffe	Summe	237,034		17466	21,545	14,098
Summe	Gesamt	728,643		549966	744,678	487,288

# Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

Diplomarbeit Nölte 2002: System Katzenberger, Spannweite 7,50 m, Annahmen verändert

Bauteil/Material	1.OG [m²]	2.-4- OG [m²]	Dach [m²]	Summe [m²]
BSH				
Säulen	4,2	12,6		16,8
Träger	0,69	2,07		2,76
FSH				
Platten	2,38	7,16		9,54
Streifen	1,16	3,45		4,61
Massivholz				
Kant groß	12,93	38,75	19,32	71
Kant klein	5,89	2,41	0,91	9,21
Schalung			7,55	7,55
Brettstapel		145,8	48,6	194,4
Holzwerkstoffe				
OSB-Platten				0
Beton B300				
Decke	65,6	90,5	30,17	186,27
Treppenhaus	2,14	6,42		8,56
Trennwand	5,605	16,815		22,42
Außenwand	5,46	16,39		21,85
Laubengang	0,37	1,1		1,47
Summe B300				240,57
Fertigelemente System Katzenberger 5 cm				
Decke	13,59			13,59
Trennwand				0
Außenwand				0
Estrich				
Zementestrich	13,05	43,35		56,4
Stahl				
Betonstahl	0,924025478	0,841426752	0,192165605	1,957617834
Stahl Isokrb	0,1001			0,1001
Profile GK-W	0,024433121	0,073299363		0,097732484
Verbindungsrm	0,031030573	0,227059873		0,258090446
Mineralwolle				
Klemmfalz	9,3	46,6		55,9
MW Fassade	2,61	7,82		10,43
Heraklith BM	2,84	8,51		11,35
MW TDP 45/40		32,4		32,4
MW Dach			60,36	60,36
EPS				
Isokorb				0
TDP 45/40	10,44	1,9		12,34
EPS F	3,28	9,83		13,11
XPS				0
Gipskarton				
Gipskartonplatten	2,39	19,15		21,54
Gipsspachtel				
Trennwand	0,0256875	0,25713125		0,28281875
Außenwand	0,01221875	0,03664375		0,0488625
Decken				0
Summe				0,33168125
Schüttung				
Sandschüttung	5,22			5,22
Kies 16/32				0
Kunststoff				
PE-Folie	0,065	0,372	0,057	0,494
Sylomerstreifen	0,019	0,057		0,076
Putz				
Gipsputz	0,55	2,14	0,16	2,85
Wärmedämmverb				
Haftmörtel kg	0,34675625	1,0402625		1,38701875
Armiemörtel kg	0,771255556	2,313777778		3,085033333
Armiergewebe R	0,0144	0,0288		0,0432
Silikatgrund kg	0,00875	0,02646875		0,03521875
Silikatputz	0,154238889	0,462716667		0,616955556
Ziegel				0
Ziegelwand 10				0
Sonstige				0
Zinkblech			0,181086	0,181086
Befest. Verzinkt			0,014084507	0,014084507
Pappe			0,30185	0,30185
Filtervlies				0

# Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

Diplomarbeit Nölte 2002: System Katzenberger, Spannweite 7,50 m, Annahmen verändert

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kgat/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/BGF [kg/m²]
<b>Brettschichtholz Primärstruktur</b>						
<b>BSH</b>	<b>Summe</b>	<b>19,560</b>	<b>430</b>	<b>8411</b>	<b>9,988</b>	<b>6,789</b>
<b>Furnierschichtholz Primärstruktur</b>						
<b>FSH</b>	<b>Summe</b>	<b>14,150</b>	<b>600</b>	<b>8490</b>	<b>10,082</b>	<b>6,853</b>
<b>Massivholz</b>						
Massivholz	große QS	71	430	30530	36,254	24,642
Massivholz	kleine QS	9,210	430	3960	4,703	3,197
Massivholz	Schalung Dach	7,550	430	3247	3,855	2,620
<b>Massivholz</b>	<b>Summe</b>	<b>87,760</b>		<b>37737</b>	<b>44,812</b>	<b>30,459</b>
<b>Brettstapel Decken</b>						
<b>Brettstapel</b>	<b>Summe</b>	<b>194,400</b>		<b>83592</b>	<b>99,264</b>	<b>67,472</b>
<b>Beton Primärstruktur</b>						
B300	Decken, Träge	196,300	2400	471120	559,445	380,267
B300	Wände	44,270	2400	106248	126,167	85,759
Fertigteile	Katzenb Decke	13,590	2500	33975	40,345	27,423
<b>Beton</b>	<b>Summe</b>	<b>254,160</b>		<b>611343</b>	<b>725,957</b>	<b>493,448</b>
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		56,400	2200	124080	147,342	100,152
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Verbindungsst.	0,258	7850	2026	2,406	1,635
Stahl	Armierung	2,058	7850	16153	19,181	13,038
Metallständer	Baustahl	0,098	7850	767	0,911	0,619
Zinkblech		0,195	7200	1405	1,669	1,134
<b>Stahl</b>	<b>Summe</b>	<b>2,414</b>		<b>20352</b>	<b>24,167</b>	<b>16,427</b>
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipskarton		21,540	900	19386	23,020	15,647
Gipsspachtel		0,332	1600	531	0,630	0,428
Gipsma.putz		2,850	1600	4560	5,415	3,681
Haftmörtel kg		1,387	1600	2219	2,635	1,791
Armiermörtel		3,085	1800	5553	6,594	4,482
Armiergewebe		0,043	1500	65	0,077	0,052
Silikatgrund kg		0,035	1800	63	0,075	0,051
Silikatputz		0,617	1800	1111	1,319	0,896
Sandschüttung	0/4	5,220	1500	7830	9,298	6,320
<b>Sonstige</b>	<b>Summe</b>	<b>35,109</b>		<b>41318</b>	<b>49,064</b>	<b>33,350</b>
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
Mineralwolle	Dach	60,360	28	1690	2,007	1,364
MW Klemmfalz		55,900	28	1565	1,859	1,263
MW - F	Dämmplatte	10,430	149	1554	1,845	1,254
Heraklith BM		11,350	400	4540	5,391	3,664
TDP Mineralw.		32,400	100	3240	3,847	2,615
EPS - Iso		13,110	16,5	216	0,257	0,175
EPS TDP		12,340	11	136	0,161	0,110
PE-Folien		0,494	940	464	0,551	0,375
PU-Dämmmatte	Sylomer	0,076	500	38	0,045	0,031
Pappe		0,302	1060	320	0,380	0,258
<b>Dämmstoffe</b>	<b>Summe</b>	<b>196,762</b>		<b>13764</b>	<b>16,344</b>	<b>11,109</b>
<b>Summe</b>	<b>Gesamt</b>	<b>666,314</b>		<b>848593</b>	<b>1027,756</b>	<b>698,587</b>

# Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

## Keller in Massivbau, Grundriss Nölte 2002.

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/Kellerfläche [kg/m²]
<b>Beton Primärstruktur</b>						
B300	Decken, Träge	2,140	2400	5136	6,149	16,582
B300	Wände	75,230	2400	180552	216,165	582,934
	Bodenplatte	90,540	2400	217296	260,157	701,566
	Fundament	40,220	2400	96528	115,568	311,652
<b>Beton</b>	<b>Summe</b>	<b>208,130</b>		<b>499512</b>	<b>598,039</b>	<b>1612,734</b>
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>						
Zementestrich		15,090	2200	33198	39,746	107,184
<b>Stahl Primärstruktur</b>						
Stahl	Armierung	1,920	7850	15073	18,046	48,665
<b>Stahl</b>	<b>Summe</b>	<b>1,920</b>		<b>15073</b>	<b>18,046</b>	<b>48,665</b>
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>						
Gipsspachtel		0,370	1600	592	0,709	1,911
Sandschüttung	0/4	9,034	1500	13551	16,224	43,751
Kiesschüttung	16/32	60,360	1500	90540	108,399	292,319
<b>Sonstige</b>	<b>Summe</b>	<b>69,764</b>		<b>104683</b>	<b>125,331</b>	<b>337,981</b>
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>						
XPS	Außenwand	14,900	36,5	544	0,651	1,756
EPS TDP		15,090	11	166	0,199	0,536
PE-Folien		0,121	940	114	0,136	0,367
Pappe		0,974	1060	1032	1,236	3,333
<b>Dämmstoffe</b>	<b>Summe</b>	<b>31,085</b>		<b>1856</b>	<b>2,222</b>	<b>5,992</b>
<b>Summe</b>	<b>Gesamt</b>			<b>621124</b>	<b>744</b>	<b>2113</b>

## Gründerzeithaus

	KG	EG	1.-3- Stock	Dach	Summe
Massivholz gr			22,68	37,74	60,42
Massivholz kl			4,2	0,82	5,02
Massivholz Schalung			33,6	2,5	36,1
Putzträ. Schilf			2,1	0,7	2,8
<b>Beton Primärstruktur</b>					
Stahlbeton	20,63				20,63
Magerbeton	4,13				4,13
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>					
Zementestrich		11,2			11,2
<b>Stahl Primärstruktur</b>					
Stahl Walzprofile	0,78525641				0,78525641
Metallständer				0,010769231	0,010769231
Verbindungsmitel				0,064497436	0,064497436
<b>Ziegel</b>					
Ziegel AÖF 29/6,5/14	82,21	19,6		362,7	464,51
Porenbeton				3,2	3,2
Dachziegel				6,3	6,3
Ziegel					0
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>					
Naturstein	7,84	0,81	2,43		11,08
Kies	33				33
Sand/Beschüttung	14		33,6	11,2	58,8
Gipskarton				1	1
Mauermörtel	11,99			62,33	74,32
Gipsma.putz				0,015	0,015
Dünnputz				0,4	0,4
KZM - Putz			6,3	31,13	37,43
Zementvorspritzer				5,29	5,29
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>					
Mineralwolle				14	14
TDP		11,2			11,2
PE-Folien		0,45			0,45
Pappe				0,28	0,28

## Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

Material	Bauteil	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²] (mit Keller)	Masse/BGF [kg/m²]	Masse/Nutzfläche [kg/m²] (ohne Keller)
<b>Massivholz</b>							
Massivholz	große QS	60,420	430	25981	51,143	31,378	51,143
Massivholz	kleine QS	11,130	430	4786	9,421	5,780	9,421
Schilf	Putzträger	2,800	200	560	1,102	0,676	1,102
	Schalung	36,100	430	15523	30,557	18,748	30,557
<b>Massivholz</b>	<b>Summe</b>	<b>110,450</b>		<b>46850</b>	<b>92,223</b>	<b>56,582</b>	<b>92,223</b>
<b>Beton Primärstruktur</b>							
Stahlbeton	Decken	20,630	2500	51575	101,526	62,289	8,022
Magerbeton	Decken	4,130	2400	9912	19,512	11,971	2,976
<b>Beton</b>	<b>Summe</b>	<b>24,760</b>		<b>61487</b>	<b>121,037</b>	<b>74,260</b>	<b>10,998</b>
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>							
Zementestrich		11,200	2200	24640	48,504	29,758	48,504
<b>Stahl Primärstruktur</b>							
Stahl	Verbindungsm.	0,064	7850	506	0,997	0,611	0,997
Stahl	Walzprofile	0,785	7850	6164	12,134	7,445	12,134
Metallständer		0,011	7850	85	0,166	0,102	0,166
<b>Stahl</b>	<b>Summe</b>	<b>0,861</b>		<b>6755</b>	<b>13,297</b>	<b>8,158</b>	<b>13,297</b>
<b>Ziegel</b>							
Ziegel	AÖF	464,510	1800	836118	1645,902	1009,804	1354,606
Porenton		3,200	1650	5280	10,394	6,377	10,394
Dachziegel		6,032	1800	10858	21,373	13,113	21,373
<b>Ziegel</b>	<b>Summe</b>	<b>473,742</b>		<b>852256</b>	<b>1677,669</b>	<b>1029,294</b>	<b>1386,373</b>
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>							
Gipskarton		1,000	900	900	1,772	1,087	1,772
Naturstein		11,080	2200	24376	47,984	29,440	10,524
Kies		33,000	1500	49500	97,441	59,783	0,000
Sandschüttung		58,800	1500	88200	173,622	106,522	132,283
Mauermörtel	KZM	74,320	1800	133776	263,339	161,565	220,854
Gips Putz		0,015	1600	24	0,047	0,029	0,047
Kalkputz		37,430	1800	67374	132,626	81,370	81,370
Dünnputz		0,400	1800	720	1,417	0,870	1,417
Zementvorspritzer		5,290	1800	9522	18,744	11,500	18,744
<b>Sonstige</b>	<b>Summe</b>	<b>221,335</b>		<b>374392</b>	<b>736,992</b>	<b>452,164</b>	<b>467,011</b>
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>							
Mineralwolle		14,000	28	392	0,772	0,473	0,772
TDP	EPS	11,200	100	1120	2,205	1,353	2,205
PE-Folien		0,450	940	423	0,833	0,511	0,833
Pappe		0,280	1060	297	0,584	0,358	0,584
<b>Summe</b>	<b>Dämmst. Kst.</b>	<b>25,930</b>		<b>2232</b>	<b>4,393</b>	<b>2,695</b>	<b>4,393</b>
<b>Summe</b>	<b>Gesamt</b>	<b>868,278</b>		<b>1368611,006</b>	<b>2694,116</b>	<b>1652,912</b>	<b>2022,801</b>

# Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

## Katzenberger Bauweise mit Keller aus Nölte 2002

Bauteil	Keller	1.OG [m³]	2.-4- OG [m³]	Dach [m³]	Summe [m³]
Massivholz					
Kant groß				6,866	6,866
Kant klein				0,032	0,032
Schalung				7,6	7,6
B300					
Decke		65,6	196,73	69,42	331,75
Treppenhaus	2,14	2,14	6,42		10,7
Trennwand	19,37	5,88	18,09		43,34
Außenwand	89,16	35,19	112,79	5,59	242,73
Laubengang		0,33	0,99		1,32
Bodenplatte	90,54				90,54
Fundament	40,22				40,22
Summe B300					760,6
Fertigelemente System Katzenberger 5 cm					
Decke		13,59	42,3	15,09	70,98
Trennwand		7,35	22,51		29,86
Außenwand		7,44	29,54	6,33	43,31
Estrich					
Zementestrich	15,09	13,05	39,27		67,41
Stahl					0
Betonstahl					0
Stahl Isokrb		0,1001	0,428	0,194	0,7221
Profile GK-W		0,045882803	0,138512102		0,184394904
Verbindungs m		0,00153758	0,004626752		0,006164331
Mineralwolle					0
Klemmfalz		8,3	25,05		33,35
EPS					0
EPS Isokorb		0,66	2,82	1,92	5,4
EPS TDP 45/40	15,09	10,44	31,41		56,94
EPS F		8,93	35,45	7,08	51,46
XPS	14,9			57,22	72,12
Gipskarton					
Gipskartonplatten		3,54	10,67		14,21
Gipsspachtel	0,37				0,37
Trennwand		0,05305625	0,1451375		0,19819375
Außenwand		0,149	0,59		0,739
Decken			1,71	0,604	2,314
Summe					3,25119375
Schüttungen					
Sandschüttung	9,034	5,22	15,71		29,964
Kies 16/32	60,36			28,6	88,96
Kunststoff					
PE-Folie	0,1208	0,051	0,157	0,1128	0,4416
Putz					0
Gipsputz		1,14	3,48		4,62
Wärmedämmverb					0
Haftmörtel kg		0,279	1,1078625	0,26535	1,6522125
Armiermörtel kg		0,62	2,626044444	0,628977778	3,875022222
Armiergewebe R		0,0096	0,0336	0,0096	0,0528
Silikatgrund kg		0,006975	0,02774375	0,0066375	0,04135625
Silikatputz		0,149	0,59	0,14	0,879
Ziegel					0
Ziegelwand 10		4,06	12,18		16,24
Sonstige					0
Zinkblech				0,019176	0,019176
Befest. Verzinkt				0,003661972	0,003661972
Pappe	0,974			0,85836	1,83236
Filtervlies				0,028613333	0,028613333

Anhang A1: Massenermittlung für verschiedene Bauweisen

Katzenberger Bauweise mit Keller aus Nölte 2002

Material	Bauteil	Fläche [m²]	Dicke [m]	Volumen [m³]	Dichte [kgatro/m³]	Masse [kg]	Masse/Nutzfläche [kg/m²]	Masse/Kellerfläche [kg/m²]
<b>Beton Primärstruktur</b>								
B300	Decken, Träge			2,140	2500	5350	6,405	17,273
B300	Wände			108,530	2500	271325	324,843	876,005
	Bodenplatte			90,540	2500	226350	270,997	730,798
	Fundament			40,220	2500	100550	120,383	324,638
<b>Beton</b>	<b>Summe</b>			<b>241,430</b>		<b>603575</b>	<b>722,628</b>	<b>1948,713</b>
<b>Beton Sekundärstruktur und Estrich</b>								
Zementestrich				15,090	2200	33198	39,746	107,184
<b>Stahl Primärstruktur</b>								
Stahl	Verbindungsm.				7850	0	0,000	0,000
Stahl	Armierung				7850	0	0,000	0,000
Metallständer	Baustahl				7850	0	0,000	0,000
Zinkblech					7200	0	0,000	0,000
<b>Stahl</b>	<b>Summe</b>			<b>0,000</b>		<b>0</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
<b>Ziegel</b>								
Porotherm	Außenwand				750	0	0,000	0,000
Düwaziegel	Schächte 10				1160	0	0,000	0,000
Schallsch.zieg	Trennwand				1400	0	0,000	0,000
Dachziegel					1800	0	0,000	0,000
<b>Ziegel</b>	<b>Summe</b>			<b>0,000</b>		<b>0</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
<b>Sonstige mineralische Baustoffe Sekundärstruktur</b>								
Gipskarton					900	0	0,000	0,000
Gipsspachtel				0,370	1600	592	0,709	1,911
Gipsma.putz					1600	0	0,000	0,000
Haftmörtel kg					1600	0	0,000	0,000
Armiermörtel					1800	0	0,000	0,000
Armiergewebe					1500	0	0,000	0,000
Silikatgrund kg					1800	0	0,000	0,000
Silikatputz					1800	0	0,000	0,000
Leichtputz					700	0	0,000	0,000
Fliesen					2000	0	0,000	0,000
Sandschüttung	0/4			9,034	1500	13551	16,224	43,751
Kiesschüttung	16/32			60,360	1500	90540	108,399	292,319
<b>Sonstige</b>	<b>Summe</b>			<b>69,764</b>		<b>104683</b>	<b>125,331</b>	<b>337,981</b>
<b>Dämmstoffe und Kunststoffe</b>								
MW Klemmfilz					28	0	0,000	0,000
TDP Mineralw.					100	0	0,000	0,000
EPS - F					16,5	0	0,000	0,000
XPS	Dach			14,900	36,5	544	0,651	1,756
EPS TDP				15,090	11	166	0,199	0,536
PE-Folien				0,121	940	114	0,136	0,367
Pappe				0,974	1060	1032	1,236	3,333
<b>Dämmstoffe</b>	<b>Summe</b>			<b>31,085</b>		<b>1856</b>	<b>2,222</b>	<b>5,992</b>
<b>Summe</b>	<b>Gesamt</b>					<b>743312</b>	<b>889,927</b>	<b>2399,870</b>



## 20 Anhang A2: Holzlager Wien

Decken:

	b [m]	h [m]	l [m]	e [m]	V/m <sup>2</sup>	Fläche/ Gebäude	Gebäude	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Fichte	Eiche	Masse [t]
Balkendecke:											
Balken	0,17	0,240	1,00	0,85	0,048	600,00	50.000	1.440.000	0,47		676.800
Stukkatureschalung	1,00	0,020	1,00	1,00	0,020	600,00	50.000	600.000	0,47		282.000
Sturzschalung	1,00	0,025	1,00	1,00	0,025	600,00	50.000	750.000	0,47		352.500
Polsterhölzer	0,05	0,080	1,00	0,40	0,010	600,00	50.000	300.000	0,47		141.000
Blindboden	1,00	0,025	1,00	1,00	0,025	600,00	50.000	750.000	0,47		352.500
Bodenbelag: 80 % Holz											
Schiffboden: 10%	1,00	0,025	1,00	1,00	0,025	45,00	50.000	56.250	0,47		26.438
Eichenparkett 90 %	1,00	0,022	1,00	1,00	0,022	405,00	50.000	445.500		0,73	325.215
Summe Holz in Tramdecken:											2.156.453
Doppelbaumdecken:											
Doppelbäume:	1,00	0,200	1,00	1,00	0,200	200,00	50.000	2.000.000	0,47		940.000
Summe Holz in Decken											3.096.453

Dachstühle

	b [m]	h [m]	l [m]	e [m]	V/m <sup>2</sup> bzw. Stk	Fläche/ Gebäude	Stück	Gebäude	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Fichte	Masse [t]
Pfetten:	0,14	0,2	20		0,56		4	100000	224000	0,47	105.280
Stuhlsäulen	0,16	0,16	5		0,128		8	100000	102400	0,47	48.128
Sparren	0,1	0,14	1	0,8	0,0175	200		100000	350000	0,47	164.500
Zangen je 2 * 5/14	0,1	0,14	1	0,8	0,0175	80		100000	140000	0,47	65.800
Kopfbänder	0,14	0,14	1,5		0,0294		16	100000	47040	0,47	22.109
Dachlatten	0,03	0,05	1	0,3	0,005	200		100000	100000	0,47	47.000
Bundträme	0,16	0,22	1	4	0,0088	200		50000	88000	0,47	41.360
Schwellenhölzer	0,16	0,22	2		0,0704		8	50000	28160	0,47	13.235
Schalung außen	1	0,025	1		0,025	200		50000	250000	0,47	117.500
Konterlattung	0,04	0,06	1	0,4	0,006	200		50000	60000	0,47	28.200
Schalung innen	1	0,025	1		0,025	200		50000	250000	0,47	117.500
Schrägstreben	0,16	0,18	8		0,2304		8	50000	92160	0,47	43.315
Summe Holz in Dachstühlen											813.927

Innenausstattung

	b [m]	h [m]	l [m]	e [m]	V/m <sup>2</sup> bzw. Stk	Fläche/ Gebäude	Stück	Gebäude	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Fichte	Masse [t]
<b>Vertäfelung:</b>	1	0,02	1	1	0,02	120		50.000	120.000	0,47	<b>56.400</b>
Türen Gründerzeit											
Außentüren											
Blindstöcke	0,04	0,12	6,5		0,0312		2	50.000	3.120	0,47	1.466
Türstock	0,06	0,12	7		0,0504		2	50.000	5.040	0,47	2.369
Türblatt	0,06	1,2	2,5		0,18		2	50.000	18.000	0,47	8.460
<b>Summe Außentüren</b>											<b>12.295</b>
Innentüren Doppelflügel											
Blindstock	0,04	0,12	6,5		0,0312		18	50.000	28.080	0,47	13.198
Zarge innen	0,045	0,16	6,5		0,0468		18	50.000	42.120	0,47	19.796
Falzverkleidung	0,02	0,08	6,5		0,0104		36	50.000	50.000	0,47	8.798
Türflügel	0,04	1,2	1,92		0,09216		18	50.000	82.944	0,47	38.984
<b>Summe Doppelflügeltüren</b>											<b>80.776</b>
Innentüren klein											
Zarge innen	0,045	0,16	5,2		0,03744		24	50.000	44.928	0,47	21.116
Falzverkleidung	0,02	0,08	5,2		0,00832		48	50.000	19.968	0,47	9.385
Türblätter	0,039	0,9	2,1		0,07371		24	50.000	88.452	0,47	41.572
<b>Summe Innentüren klein</b>											<b>72.074</b>
Kastenfenster 100/220											
Blindstock	0,05	0,05	6,4		0,016		60	80.000	76.800	0,47	36.096
Zarge zwischen Flügel	0,025	0,15	6,4		0,024		30	80.000	57.600	0,47	27.072
Stock außen	0,06	0,08	7,4		0,03552		30	80.000	85.248	0,47	40.067
Stock innen	0,05	0,06	7,5		0,0225		30	80.000	54.000	0,47	25.380
Flügel innen und außen	0,05	0,07	6,4		0,0224		120	80.000	215.040	0,47	101.069
Fensterbänke	0,025	0,15	1		0,00375		30	80.000	9.000	0,47	4.230
<b>Summe Fenster</b>											<b>233.913</b>
<b>Summe nicht tragend</b>											<b>455.458</b>

## 21 Anhang A3: Nationaler Allokationsplan

Tabelle 21-1 Grundprinzipien des Nationalen Allokationsplans für Österreich 2004 für die Periode 2005 – 2007 [NAPfÖ 2004]

Grundprinzipien des Allokationsplans	
Gesamtmenge	<p>Für die erste Emissionshandelsperiode werden 97,4 Mio. Zertifikate als Gesamtmenge zugeteilt. Die Gesamtmenge ist die Summe der Zuteilungsmengen für die Sektoren Industrie und Energiewirtschaft. Die Gesamtmenge wird zu 100% gratis zugeteilt.</p> <p>Gesamtmenge = Emissionsprognose<sub>05-07</sub> - <math>\sum_{\text{Sektoren}}</math> (Klimaschutzbeitrag<sub>Sektor 05-07</sub>)</p>
Sektorzuteilung	<p>In der österreichischen Klimastrategie sind die Treibhausgasemissionsziele und die Reduktionspotentiale der einzelnen Sektoren für die Kyoto-Zielerreichung festgelegt. Der Sektor Energiewirtschaft hat ein Reduktionspotential von 2,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent, der Sektor Industrie 1,25 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent, jeweils vom Trendwert 2010 berechnet.</p> <p>Die Bundesregierung hat beschlossen, dass die beiden Sektoren im Emissionshandel rund 50 % dieses Reduktionspotentials in der ersten Handelsperiode zu erbringen haben.</p> <p>Ausgehend von den historischen Basisdaten der UBA/IIÖ Datenerhebung wurden von WI-FO/KWI für die einzelnen Branchen eines Sektors über Trendanalysen <i>business as usual</i> - Werte (BaU) der Emissionsentwicklung für 2005 - 2007 berechnet.</p> <p>Die Zahl der zugeteilten Zertifikate für einen Sektor ergibt sich aus der Summe der <i>business as usual</i> - Werte aller Branchen des Sektors, abzüglich des Klimaschutzbeitrags des Sektors. Die weiter den Branchen zur Verfügung stehende Zahl an Zertifikaten ergibt sich durch die Multiplikation mit dem Reservefaktor.</p> <p>Zuteilung<sub>Sektor(05-07)</sub> = <math>(\sum_{\text{Branchen}} \text{BaU}_{\text{Branche}} - \text{Klimaschutzbeitrag}_{\text{Sektor}}) * \text{Reservefaktor}_{\text{Sektor}}</math></p>
Branchenzuteilung	<p>Die Zuteilung auf Branchenebene wurde aufgrund historischer Emissionsdaten sowie der <i>business as usual</i> Trendanalysen (<math>WF_i</math>) der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie unter Berücksichtigung eines die Möglichkeiten der Branche zur Verringerung ihrer CO<sub>2</sub>-Emissionen widerspiegelnden Potentialfaktors (<math>PF_i</math>) vorgenommen. Der Erfüllungsfaktor (<math>EFB</math>) bringt die Zahl der auf Branchenebene zugeteilten Zertifikate mit den für den Sektor zur Verfügung stehenden Zertifikaten in Übereinstimmung und ist für alle Branchen eines Sektors gleich hoch.</p> <p>Zuteilung<sub>(05-07)</sub> für Branche <math>i</math> = Allokationsbasis<sub><math>i</math></sub> * <math>WF_i</math> * <math>PF_i</math> * <math>EF_{\text{Sektor}}</math></p>
Anlagenzuteilung	<p>Für die Zuteilung auf Anlagenebene wurde für alle Anlagen die gleiche Methode verwendet.</p> <p>Zuteilung<sub>(05-07)</sub> für Anlage <math>A</math> = Allokationsbasis<sub><math>A</math></sub> * <math>PF_A</math> * <math>EF_{\text{Branche}}</math></p> <p>Die Allokationsbasis der Anlage entspricht dem Durchschnitt der Emissionen im Zeitraum 1998 - 2001. Sollten diese Zahlen nicht repräsentativ sein, wird eine abweichende Allokationsbasis herangezogen.</p> <p>Der Potentialfaktor (<math>PF_A</math>) berücksichtigt Prozessemissionen, CO<sub>2</sub>-Intensität des Brennstoffeinsatzes, KWK-Bonus, Fernwärme-Bonus, Abwärme-Bonus, BAT-Malus. Der Erfüllungsfaktor (<math>EF_{\text{Branche}}</math>) bringt die Zahl der auf Anlagenebene zugeteilten Zertifikate mit den für die Branche zur Verfügung stehenden Zertifikaten in Übereinstimmung und ist für alle Anlagen innerhalb der Branche identisch</p>
Neue Marktteilnehmer	<p>Durch Regierungsbeschluss wurde festgelegt, dass die Reserve für neue Marktteilnehmer der Periode 2005 - 2007 1,2 % der Gesamtmenge beträgt, das sind nach derzeitiger Datenerhebung etwa 1,2 Mio. Zertifikate für die gesamte Zuteilungsperiode. Aufgebracht wird die Reserve durch Abzug von 1,2 % von der Gesamtmenge vor der Aufteilung auf die Branchen und Anlagen. Die Verteilung der Reserve erfolgt nach dem <i>first come, first serve</i> - Prinzip.</p>
Vorleistungen; saubere Technologien	<p>Vorleistungen und saubere Technologien wurden über den Potentialfaktor zur Emissionsreduktion berücksichtigt.</p>

## 22 LEBENS LAUF

### Curriculum Vitae

#### PERSÖNLICHE DETAILS

**Nachname:** Merl  
**Vorname:** Adolf Daniel  
**Adresse:** Gymnasiumstraße 68/8, A-1190 Wien, Österreich  
 A-9344 Weitensfeld 155, Österreich  
**Geburtsort:** 26. 2. 1967 in Klagenfurt, Österreich

#### AUSBILDUNG

**1981-86** Höhere Technische Lehranstalt Villach; Abteilung Hochbau  
**1986-96** TU Wien, Bauingenieurwesen, Studienrichtung Baubetrieb und Bauwirtschaft  
**1996** Diplom an der Abteilung Abfallwirtschaft (Prof. Brunner): "Vergleich der methodischen Ansätze von Stoffhaushaltsstudien"  
**2004** Baumeisterprüfung in Wien

#### Zivildienst

**1996** Altenbetreuung, Caritas in 1180 - Wien

#### BERUFLICHE LAUFBAHN

**seit 1999** Gründungsmitglied der Ressourcen Management Agentur (RMA) in 1040 – Wien, Argentinierstraße 48/2  
**seit 2004** Externer Lehrbeauftragter (Universitätslektor) am Institut für Architekturwissenschaften E259, Abteilung für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau, TU Wien.  
**seit 2003** Österreichischer Delegierter bei COST E31: Management of Recovered Wood. Dauer bis 2007.  
**2000 - 2004** Universitätsassistent am Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau, TU Wien (Prof. Winter).  
**1999 - 2001** Österreichischer Delegierter bei COST E9: Life Cycle Assessment of Forestry & Forest Products, Workgroup 3, Projektdauer: 1997 - 2001.  
**1998 - 2000** Vertragsassistent am Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau, TU-Wien. (50 %)  
**1998 - 2000** Wissenschaftlicher Mitarbeiter im TB Daxbeck (Projektarbeit in Kooperation mit der Abteilung Abfallwirtschaft der TU-Wien)  
**1997 - 1998** Mitarbeiter im Architekturbüro Mag. Arch. H. Hübl in 1190-Wien. Projektleitung für verschiedene Hochbauprojekte.  
**1994 - 1996** Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Abteilung Abfallwirtschaft an der TU Wien (begleitend zur Diplomarbeit).  
**seit 1986** Begleitend zur Ausbildung laufende Mitarbeit im Bauunternehmen A. Merl (Kärnten) sowie in verschiedenen Architektur- und Planungsbüros in Wien