

Diploma Thesis

CO2 Neutral Construction – Opportunities and Challenges

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Die CO2 neutrale Baustelle – Chancen und Herausforderungen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines / einer
Diplom-Ingenieurs/ Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Maximilian Piatek

Matr.Nr.: 1129230

unter der Anleitung von

Dipl.-Ing. Dr.techn. Leopold Winkler

Dipl.-Ing. Maximilian Weigert

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Goger

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik

Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/234, A-1040 Wien

Wien, im Oktober 2021



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Hinweis zur Geschlechterneutralität

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit werden in der vorliegenden Arbeit herkömmliche Personenbezeichnungen verwendet und diese sind als geschlechtsneutral zu verstehen. Dies soll keinesfalls eine Geschlechterdiskriminierung oder eine Verletzung des Gleichheitsgrundsatzes zum Ausdruck bringen.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen, die mich beim Erstellen dieser Diplomarbeit und im Laufe meines Studiums unterstützt haben, bedanken.

Ein besonderer Dank gilt Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Goger, dem Vorstand des Instituts für interdisziplinäres Bauprozessmanagement und Leiter des Forschungsbereichs Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, für die Möglichkeit der Verfassung meiner Diplomarbeit an diesem Institut. Ebenso möchte ich mich bei Univ.Ass. Dipl.-Ing. Maximilian Weigert und Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Leopold Winkler für die Betreuung und die tatkräftige Unterstützung bei der Erstellung meiner Diplomarbeit bedanken.

Der größte Dank gilt jedoch meiner Familie. Insbesondere meinen Eltern, die mich auf meinem Lebensweg begleiten und stets hinter mir stehen. Ohne ihren Rückhalt und Unterstützung wäre mein Studium nicht möglich gewesen.

Schließlich danke ich auch all meinen Freunden und Studienkollegen, die meine Studienzeit zu einem besonderen Lebensabschnitt gemacht haben, sowie meiner Partnerin Elisabeth, die mich während der Erstellung dieser Diplomarbeit moralisch unterstützt und motiviert hat.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Schlagwörter: Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen), Klimaneutrale Baustelle, Energieverbraucher im Baubetrieb.

Sowohl die Reduktion von THG-Emissionen, im Speziellen von Kohlendioxid (CO₂)-Ausstößen, als auch die schonende und nachhaltige Nutzung von Ressourcen, gehören zu den signifikantesten Herausforderungen der Gegenwart, welche die Weltgemeinschaft in den nächsten Jahrzehnten intensiv beeinflussen werden. Um die von der österreichischen Bundesregierung bis zum Jahr 2040 angestrebte Klimaneutralität zu erreichen sind auch die THG-Emissionen in der Baubranche zu reduzieren. Dies betrifft vor allem die Bereiche der Rohstoffgewinnung, Baustoffproduktion und des Baubetriebs bzw. der Baustellenführung. Die Untersuchung der Errichtungsphase, die Teil des Gesamtlebenszyklus eines Gebäudes ist, steckt aktuell noch in den Kinderschuhen und wird in den gängigen Instrumenten zur Ermittlung der Umweltwirkung von Gebäuden unzureichend erfasst.¹ Die im Zuge dieser Arbeit durchgeführte Untersuchung der Errichtungsphase tragen dazu bei, diese Lücke in der Betrachtung des Lebenszyklus eines Gebäudes hinsichtlich seines THG-Aufkommens zu schließen. Die Entwicklung und Implementierung einer emissionsarmen und umweltfreundlichen Abwicklung von Baustellen bedarf einer Untersuchung der im Zuge der Bauproduktion eingesetzten Prozesse samt zugehöriger Baugeräte, hinsichtlich ihrer Energieverbräuche und Energieeinsparpotentiale. Durch Identifikation der größten THG-Emittenten unter den Bauprozessen und Gerätschaften und einer Abschätzung der Emissionsmengen hinsichtlich ihrer Größenordnung können bei der Planung und Organisation zukünftiger Bauvorhaben gezielt Maßnahmen gesetzt werden, um eine möglichst umweltfreundlichen Baustellenabwicklung zu ermöglichen.

Im Rahmen des Forschungsprogramms „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Klimaschutz (BMK) und dem seitens der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) geförderten F&E-Projekts „CO₂ neutrale Baustelle“ des Forschungsbereichs Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik an der TU Wien und der Ressourcen Management Agentur (RMA), wird im Zuge dieser Arbeit eine Identifikation aller auf urbanen Baustellen entstehenden CO₂- bzw. THG-Emissionen durchgeführt. Zur Feststellung des IST-Zustandes werden für drei unterschiedliche Baustellentypen Verbrauchs- und Bauablaufsdaten gesammelt, ausgewertet und in laufender Abstimmung mit dem Projektteam aufgearbeitet. Das Schließen von etwaigen Datenlücken erfolgt mit Hilfe von qualifizierten Abschätzungen basierend auf Literaturrecherchen und Befragungen von Branchenexperten. Hinsichtlich der THG-Mengen werden entsprechende Flächenkennwerte gebildet, um eine Vergleichbarkeit zwischen gleichen Baustellentypen unterschiedlicher Größe zu erleichtern. Neben den Emissionsmengen werden außerdem die größten Verursacher von THG-Emissionen unter den Bauverfahren, Baugeräten und sonstigen Umständen je nach Baustellentyp identifiziert.

¹ Vgl. Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG), 2019: S. 11



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abstract

Keywords: greenhouse gas emissions, climate-neutral construction, energy consumption in construction.

The reduction of greenhouse gas emissions, especially CO₂ emissions as well as the sustainable use of resources are among the most significant challenges of the present, which will have an immense impact on the global community in the coming decades. To achieve the desired climate neutrality by 2040, greenhouse gas emissions also must be reduced in the construction industry. This primarily applies to the areas of raw material extraction and building material production as well as construction processes and site management. The investigation of the construction phase, which is part of the overall life cycle of a building, is currently still in its infancy and has not been taken into account in most of the previous global warming potential investigations and life cycle assessments of buildings. The investigation of the construction phase carried out in the course of this work is intended to help closing the gap in consideration of the life cycle of a building regarding its global warming potential. The development and implementation of a low-emission and environmentally friendly management of construction sites requires an investigation of the construction methods including the associated construction equipment, regarding their energy consumption and energy-saving potential. By identifying the largest greenhouse gas emitters among the construction processes and equipment as well as estimating the number of emissions in terms of their magnitude, specific measures can be taken when planning and organizing future construction projects to enable the most environmentally friendly possible construction site management.

As part of the research program "Stadt der Zukunft" of the Federal Ministry for Climate Protection (BMK) of the FFG-funded R&D project "CO₂-neutral construction site" of the faculty of Construction and Construction Process Engineering at the Vienna University of Technology and the Resource Management Agency (RMA), an identification of all CO₂ and greenhouse gas emissions occurring on urban construction sites is carried out in the course of this work. To determine the current situation, energy consumption data and construction process data for three different types of construction sites are collected, evaluated, and processed in ongoing coordination with the project team. Any data gaps are closed with the help of qualified assessments based on literature review and surveys of industry experts. Regarding the greenhouse gas quantities, corresponding area parameters are created to facilitate an easier comparison of the same types of construction sites of different sizes. In addition to the emission quantities, the largest sources of greenhouse gas emissions are identified among the construction methods, construction equipment and other circumstances depending on the type of construction site.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Kurzfassung	7
Abstract	9
1 Einleitung.....	12
1.1 Aufgabenstellung.....	13
1.2 Baustellentypen.....	15
1.3 Forschungsmethodik	17
Forschungsabgrenzung.....	18
1.4 Forschungsfragen	19
1.5 Ziel der Arbeit	19
1.6 Abkürzungsverzeichnis	19
2 Grundlagenermittlung.....	21
2.1 Nachhaltigkeit im Bauwesen	21
2.1.1 Gebäudebetrieb	22
2.1.2 Baustoffherstellung	22
2.1.3 Abfallentsorgung auf Baustellen	23
2.2 Stand der Technik.....	27
2.2.1 ÖNORM EN 15978: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode	27
2.2.2 ÖNORM EN ISO 14044: Umweltmanagement – Ökobilanz.....	28
2.2.3 ÖNORM EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte	31
2.2.4 DIN EN ISO 14067: Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung	31
2.3 Systemgrenzen und Lebenszyklusphasen gemäß ÖNORM EN 15978.....	32
2.4 Festlegung der Systemgrenzen	35
2.5 THG-Emissionen der Herstellungs- und Entsorgungsphase	39
3 THG-Emissionen in der Errichtungsphase – Untersuchung von Musterbaustellen	41
3.1 Baustelle „Neubau eines städtischen Wohngebäudes“	42
3.1.1 Umweltrelevante Baustelleneinrichtung und Bauprozesse	43
3.1.2 Transport	65
3.2 Baustelle „Urbaner Straßenbau“	71
3.2.1 Umweltrelevante Baustelleneinrichtung und Bauprozesse	72
3.2.2 Transport	79
3.3 Baustelle „Thermische Sanierung eines städtischen Wohnbaus“	83
3.3.1 Umweltrelevante Baustelleneinrichtung und Bauprozesse	84
3.3.2 Transport	90

4	Zusammenfassung.....	93
4.1	THG-Emissionen der Errichtungsphase	93
4.2	Beantwortung der Forschungsfragen.....	94
4.3	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf.....	104
	Abbildungsverzeichnis.....	105
	Tabellenverzeichnis	106
	Literaturverzeichnis.....	107
	Web-Quellenverzeichnis	108

1 Einleitung

Die Reduktion von Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen), im Speziellen von CO₂-Ausstößen, sowie die schonende und nachhaltige Nutzung von Ressourcen, gehören zu den signifikantesten Herausforderungen der Gegenwart, welche die Weltgemeinschaft in den nächsten Jahrzehnten intensiv beeinflussen werden. Die weltweite Veränderung der klimatischen Bedingungen hat immense Auswirkungen auf die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen, das Wirtschaftssystem und die menschliche Gesundheit.² Um dieser immanenten Gefahr zu begegnen, bedarf es einer sofortigen und effektiven Reaktion auf Grundlage bester wissenschaftlicher Erkenntnisse.

Gemeinsam mit anderen Industrieländern hat die Europäische Union bereits 2009 das langfristige Klimaziel gesetzt, das THG-Aufkommen um 80-95 % zu reduzieren.³ Die Erreichung der Klimaneutralität bis zum Jahr 2040 ist eines der Ziele, welches sich die Österreichische Bundesregierung in ihrem aktuellen Regierungsprogramm gesetzt hat.⁴

Der Gebäudesektor weist hinsichtlich der Reduktion von THG-Emissionen ein großes Potential für Einsparungen und einen entsprechend hohen Forschungs- und Entwicklungsbedarf auf. In den Bereichen der nachhaltigen Baustoffherstellung und des Abfallmanagements ist die Forschung bereits weit vorangeschritten, was sich in der Entwicklung von Normen für Ökobilanzen und Lebenszyklusuntersuchungen, sowie in Gebäudezertifizierungsprogrammen, rechtlichen Bauvorschriften und Recycling-Baustoffverordnungen widerspiegelt.

Die Untersuchung der Errichtungsphase, die Teil des Gesamtlebenszyklus eines Gebäudes ist und einen bislang wenig beachteten Anteil der Energie, die einem Gebäude über den gesamten Lebenszyklus zugeführt wird, ausmacht, steckt aktuell noch in den Kinderschuhen und soll im Zuge dieser Arbeit hinsichtlich der dabei entstehenden THG-Emissionen untersucht werden.

Es sollen demnach alle, sowohl direkte als auch indirekte THG-Emissionen, die auf einer Baustelle auftreten, identifiziert werden. Die Entwicklung und Implementierung einer emissionsarmen und umweltfreundlichen Abwicklung von Baustellen bedarf einer Untersuchung, der im Zuge der Bauproduktion eingesetzten Prozesse samt zugehöriger Baugeräte, hinsichtlich ihrer Energieverbräuche und Energieeinsparpotentiale.

Durch Identifikation der größten THG-Emittenten unter den Bauprozessen und Gerätschaften und einer Abschätzung der Emissionsmengen hinsichtlich ihrer Größenordnung können bei der Planung und Organisation zukünftiger Bauvorhaben gezielt Maßnahmen gesetzt werden, um eine möglichst umweltfreundlichen Baustellenabwicklung zu ermöglichen.

² Vgl. Europäische Union (online), o. D.

³ Vgl. Umweltbundesamt Deutschland (online), 2019

⁴ Vgl. Österreichische Bundesregierung (online), 2020

1.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen der Initiative Forschung, Technologie und Innovation der „Stadt der Zukunft“ wurde im Jahr 2019 seitens der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG), das Forschungsprojekt „Die CO₂ neutrale Baustelle – Ein Beitrag zum Klimaschutz der österreichischen Bauwirtschaft“ ausgeschrieben. Über eine Laufzeit von einem Jahr wurde das Forschungsprojekt durch eine Bietergemeinschaft bestehend aus dem Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement (IBPM), Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, und der Ressourcen Management Agentur (RMA), bearbeitet. Das Ziel des Forschungsprojekts war die Identifikation aller auf urbanen Baustellen entstehenden CO₂- bzw. THG-Emissionen und das Aufzeigen notwendiger Rahmenbedingungen sowie Technologien für die Reduktion, Substitution, Kompensation oder Adaption von Emissionen.⁵ Die Projektbearbeitung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit einer Gruppe von Experten aus verschiedenen Bereichen der Bauindustrie, die unter anderem praxisrelevante Aspekte in die Grundlagenermittlung eingebracht haben sowie Daten und Unterlagen realer Projekte zur Auswertung der Energieverbräuche und THG-Emissionen zur Verfügung gestellt haben. Eine Aufgabe des Projekts war es, eine Systematik zu entwickeln, die eine Wahl verschiedener Baugeräte und Baumaschinen berücksichtigt um CO₂ Emissionen hinsichtlich ihrer Größenordnung abzuschätzen. Die Darstellung unterschiedlicher Szenarien und Maßnahmen zur Reduktion, Substitution, Kompensation oder Adaption bauen auf dieser Systematik auf. Die Ergebnisse der Auswertung der Musterbaustelle „städtischer Wohnbau“ wurden abschließend im Zuge eines Expertenworkshops präsentiert und diskutiert.

Die Aufgabe des Autors war, im Zuge des Arbeitspaketes 3 „SOLL/IST-Analyse für Emissionen auf der Baustelle“ Baustellendaten zu sammeln, auszuwerten und in laufender Abstimmung mit dem Projektteam aufzuarbeiten. Das Schließen etwaiger Datenlücken mit Hilfe von Literaturrecherchen, Befragungen von Branchenexperten sowie dem Treffen von Annahmen zwecks qualifizierter Abschätzung, erfolgte ebenfalls in Absprache und Diskussion mit den Projektmitarbeitern. Die seitens des Autors ausgewerteten Daten wurden in weiterer Folge in ein der Systematik folgenden Berechnungstool „CO₂neuBAU Tool“ übernommen. Mit Hilfe der im Zuge dieser Arbeit angefertigten Auswertungen konnten die Energieverbräuche – aufgeschlüsselt auf die größten Verbraucher – und die daraus folgenden THG-Emissionen für drei verschiedene Baustellentypen abgeschätzt werden. Das CO₂neuBAU-Tool wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit mehrmals referenziert und auszugsweise in Form von Abbildungen veranschaulicht.

Im ersten Schritt muss die Errichtungsphase ganzheitlich als System definiert werden, um eine klare Abgrenzung zur Baustoffproduktion und aller damit verbundenen Prozesse sowie zur Betriebsphase und schlussendlich zur Abbruchs- bzw. Entsorgungsphase, zu schaffen. Die Definition erfolgt dabei in Anlehnung an die ÖNORM EN 15804, in welcher die Phasen des Lebenszyklus und Module für die Beschreibung und Beurteilung von Gebäuden festgelegt sind.⁶ Bei der Betrachtung einer typischen Baustelle im Hinblick auf die Verursacher von THG-Emissionen müssen insbesondere die mit einer Baustelle verbundenen Verkehrs- bzw. Transportaufkommen und die bei der

⁵ Vgl. FFG, 2019: S. 7.

⁶ Vgl. ÖNORM EN 15804, 2020, S. 20 ff.

Erbringung von Bauleistungen anfallenden Energieverbräuche näher untersucht werden. Aufgrund der Tatsache, dass Transportaufkommen und Energieverbräuche auf Baustellen – bedingt durch zum Teil sehr unterschiedliche Geräteeinsätze, Bauprozesse und Bauabläufe – stark auseinanderklaffen, ist es notwendig, zwischen verschiedenen Baustellentypen zu unterscheiden.

Im Rahmen dieser Arbeit werden folgende Baustellentypen, für welche eine Grobanalyse der THG-Emittenten durchgeführt werden soll, definiert:

- Neubau eines städtischen Wohngebäudes
- Thermische Sanierung eines städtischen Wohngebäudes
- Urbaner Straßenbau: Asphaltsteinbau

Dabei sollen reale und tatsächlich ausgeführte Baustellen untersucht werden, deren Daten und projektspezifischen Unterlagen seitens österreichischer Bauunternehmen zur Verfügung gestellt werden. Die Verarbeitung der Baustellendaten und Implementierung der Ergebnisse in diese Arbeit erfolgt anonymisiert. Eine der Fragen, die im Zuge dieser Arbeit zu beantworten sein wird, ist, welche Baustellendaten zur Identifikation der unterschiedlichen Emissionen und zur ersten Abschätzung ihrer Größenordnung erforderlich sind. Des Weiteren stellt sich die Frage, ob solche Daten ohne erhöhten Aufwand aus Unterlagen, die im Zuge der Planung, Arbeitsvorbereitung, Kalkulation eines Bauprojekts standardmäßig angefertigt werden, ausgehoben werden können, oder, ob dafür eine zusätzliche, bisher nicht gängige Datenerfassung bzw. -betrachtung notwendig sein wird. Der Fokus wird hierbei auf Daten und Unterlagen gelegt, die üblicherweise seitens der Auftragnehmer – in diesem Fall Bauunternehmen, erfasst und zusammengestellt werden bzw. in deren Sphäre liegen. Mit Hilfe dieser Baustellendaten soll im nächsten Schritt die Untersuchung des Systems Baustelle in Bezug auf die Energieverbräuche und deren Verursacher unter den Bauverfahren, Maschineneinsätzen und sonstigen Umständen, erfolgen. Dabei sollen nicht nur die Großemittenten ausgeforscht werden, sondern die verursachten THG-Emissionen auch hinsichtlich ihrer Größenordnung abgeschätzt werden. Da keine eigenen Messungen auf Baustellen durchgeführt werden, erfolgt die Abschätzung basierend auf Baugerätedaten, die einerseits direkt bei den Baugeräteherstellern und Bauunternehmen abgefragt werden und auf Baugerätedaten und Verbrauchsdaten aus bereits bestehenden Studien und Forschungsarbeiten, wie z.B. der am IBPM, Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik verfassten Dissertation von DI Dr. Christoph Winkler.⁷

⁷ Vgl. Winkler, 2017, S. 131 ff.

1.2 Baustellentypen

Neubau eines städtischen Wohngebäudes

Im Jahr 2020 wurden in Österreich Baubewilligungen für in etwa 29.700 neue Gebäude ausgestellt. Die Anzahl an Bewilligungen hat damit im Jahr der Coronakrise ihren Höchstwert erreicht. Die Zahl setzt sich aus Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden (z.B. Hotels, Gewerbe, Industriebauten etc.) zusammen, wobei die Wohngebäude wiederum in Wohngebäude mit max. zwei Wohnungen und Wohngebäuden mit drei und mehr Wohnungen (Mehrgeschosswohnbau) unterteilt werden.⁸

Hinsichtlich der Baubewilligungen für Wohnbauten wurde im Jahr 2020 nach den Rekordwerten der Jahre 2017 und 2019, die dritthöchste Anzahl an Bewilligungen erteilt. In Summe wurden für in etwa 74.800 Wohnungen Baubewilligungen erteilt.⁹

Die Nachfrage nach Wohnungen, befeuert durch das steigende Bevölkerungswachstum in den Städten und die aktuell niedrige Zinslage, ist seit Jahren ungebrochen und verursacht einen Boom des Wohnbaus im Hochbau- bzw. im Gesamtbausektor. Aus diesem Grund wurde eine städtische Mehrgeschosswohnbaustelle in Wien als eine der zu untersuchenden Baustellen gewählt. Der Hochbau ist auch dahingehend von Interesse, weil eine Vielzahl an Gewerken und in weiterer Folge Unternehmen daran beteiligt sind und sich dadurch einerseits die Energieverbräuche und andererseits die Transportdistanzen der Professionisten stark unterscheiden können. Zwei identische Baustellen im Sinne der Bauleistung, des Standortes und der Versorgung können aufgrund einer unterschiedlichen Auswahl an Lieferanten und Subunternehmern weit auseinanderklaffende Mengen an THG-Emissionen ausstoßen.

Urbaner Straßenbau

Im Jahr 2021 investierte die ASFINAG ca. 1,1 Milliarden Euro in den Neubau, die Erhaltung und Verbesserung von Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich. Davon entfallen in etwa 611 Millionen Euro auf die Straßenerhaltung und 523 Millionen auf den Straßenneubau bzw. in die Erweiterung von Strecken.¹⁰ Das Wiener Straßennetz weist aktuell eine Länge von in etwa 2.800 Kilometern auf, wovon 2.566 Kilometer auf Gemeindestraßen entfallen und der Rest den Bundesstraßen und Autobahnen zuzuordnen ist.¹¹ Bei einem solch umfangreichen Straßennetz mit einer Straßenfläche von rund 41 Quadratkilometer und den aktuell zahlreichen, sich im Bau befindenden Stadtentwicklungsgebieten fallen laufend Straßenerneuerungs-, Straßenumbau und Straßenerweiterungsarbeiten an. Allein im Sommer 2021 wurden in Wien 97 Straßenbauvorhaben abgewickelt.¹²

Im Gegensatz zum städtischen Wohnbauprojekt ist die Anzahl an tätigen Gewerken im Zuge des Straßenbaus bzw. des Asphalteinbaus gering. Nach Vorbereitung des Untergrundes bzw. der

⁸ Vgl. Statista (online), 2021

⁹ Vgl. Statistik Austria (online), 2021

¹⁰ Vgl. ASFINAG (online), 2021

¹¹ Vgl. Stadt Wien (online), 2021: Fakten Wiener Straßennetz

¹² Vgl. Stadt Wien (online), 2021: Aktuelle Straßensanierungen

Tragschicht wird nach der Hochdruckwasserreinigung und dem Vorspritzen mit hydraulischen Emulsionen die Asphaltsschicht aufgetragen und eingebaut. Die Anzahl eingesetzter Bauverfahren und Geräte ist demnach geringer als beispielsweise im Hochbau. Der im Zuge der Asphaltherstellung in den Asphaltmischanlagen anfallende Energieverbrauch, ist zwar in der Gesamtbetrachtung des Lebenszyklus des Bauwerks im Sinne eines CO₂-Rucksacks zu berücksichtigen, jedoch wird dieser im Zuge dieser Arbeit gemäß den in Kapitel 2.4 definierten Systemgrenzen der Errichtungsphase nicht erfasst.

Basierend auf einem real abgewickelten Straßenbauprojekt werden in Kapitel 3 die entsprechenden Energieverbräuche und THG-Emissionen abgeschätzt.

Thermische Sanierung eines städtischen Wohngebäudes

Um die seitens der Europäischen Union festgesetzten Klimaziele¹³ zu erreichen, ist eine Senkung des Energieverbrauchs im Gebäudesektor erforderlich. Dazu gehört eine signifikante Erhöhung der Sanierungsrate in Bezug auf bestehende Gebäude, eine wesentliche Verbesserung der Energieeffizienz durch thermische Optimierung der Gebäudehüllen und ein Umstieg auf erneuerbare Energiequellen hinsichtlich der Heizenergieversorgung. Aus diesem Grund wurde im Regierungsprogramm des Jahres 2020 eine Sanierungsrate von jährlich 3 % festgelegt, was eine Verdoppelung der aktuellen Sanierungsrate bedeutet. Die Sanierungsrate nimmt dabei auf den Gesamtbestand an Wohnungen Bezug. Seit dem Jahr 1969 ist die Wohnhaussanierung Teil der Wohnbauförderungen, wobei es sich dabei zu Beginn hauptsächlich um Standardanhebungen handelte und in den 1980er Jahren thermische Sanierungen hinzukamen. Nach der weltweiten Finanzkrise 2008 wurden seitens Bund und Ländern entsprechende wirtschaftliche Initiativen hinsichtlich thermischer Sanierungen ins Leben gerufen, die dazu führten, dass thermische Sanierungen im Jahr 2009 ihren Höhepunkt mit einer Sanierungsrate von 1,8 % exklusive ungeförderter Sanierungen erreichten. Im Konkreten handelt es sich bei thermischen Sanierungen um Arbeiten an der Gebäudehülle, wie z.B. Wärmedämmung von Außenwänden, Feuermauern, obersten Geschossdecken, Dächern, Kellerdecken, Fenstern und Türen.¹⁴

Des Weiteren gehört dazu der Austausch der haustechnischen Anlagen durch energieeffiziente und umweltschonende Alternativen wie Wärmepumpen, Fernwärmeanschlüsse oder Solaranlagen.¹⁵ Der Wohnungsbestand in Österreich verzeichnete seit dem Jahr 1991 einen Anstieg von ca. 40 %. Dabei sind vor allem Eigenheime ohne Hauptwohnsitz, gemeinnützige Mietwohnungen und Eigentumswohnungen in der Anzahl gestiegen.¹⁶ Ungefähr 1,9 Millionen Wohneinheiten haben einen thermisch sanierungsbedürftigen Zustand, wovon 1,4 Millionen auf Hauptsitzwohnungen entfallen. Um das bis 2040 gesetzte Ziel der vollständigen thermisch-energetischen Wohnbausanierung zu erreichen, muss die Sanierungsrate, bestehend aus umfassenden Sanierungen und kumulierten Einzelmaßnahmen, ab dem Jahr 2025 auf 3,2 % erhöht werden.¹⁷

¹³ Europäische Kommission (online), 2018

¹⁴ Vgl. IIBW und Umweltbundesamt (online), 2020: S. 6

¹⁵ Vgl. Stadt Wien (online), 2021: THEWOSAN Sanierungen

¹⁶ Vgl. IIBW und Umweltbundesamt (online), 2020: S. 7

¹⁷ Vgl. IIBW und Umweltbundesamt (online), 2020: S. 14

Aus Sicht des Österreichischen Umweltbundesamts wird sich der aktuelle Bauboom im Hochbau in den nächsten Jahren einem Ende zuneigen und es wird eine Schwerpunktverlagerung in Richtung Sanierung notwendig sein, um die Auftragslage im Baugewerbe bzw. in der Bauindustrie stabil zu halten. Hinsichtlich der technologischen Entwicklung sowie dem Umstieg von fossiler auf erneuerbare Energie, stellt Sanierung eine große Chance für die Gesellschaft dar.¹⁸

Seitens der Stadt Wien wurden im Jahr 2020 für 67 Wohnhäuser 18,6 Millionen Euro nicht rückzahlbarer Einmalzuschüsse im Rahmen von thermisch-energetischen Sanierungen zur Verfügung gestellt. Dabei betragen die förderbaren Sanierungskosten 75,9 Millionen Euro.¹⁹

Im Zuge des Forschungsprojekts CO₂ neutrale Baustelle und der dabei untersuchten fiktiven Musterbaustellen fiel im Zuge des Arbeitspakets 3 die Entscheidung, unter anderem, eine Sanierungsbaustelle zu untersuchen. Es handelt sich dabei um eine umfassende Sanierung inkl. thermischer Ertüchtigung eines Wiener Gemeindebaus mit sieben Obergeschossen und einem Untergeschoss.

1.3 Forschungsmethodik

Zu Beginn dieser Arbeit erfolgt eine Literaturrecherche, um einerseits den Stand der Forschung auf diesem Themengebiet zu beleuchten und andererseits den bestehenden Forschungsbedarf in Hinblick auf die spezifischen Forschungsfragen zu untermauern. Es erfolgt ein grober Überblick über das Thema der Nachhaltigkeit in der Baubranche mit dem Fokus auf die österreichische Bauindustrie. Es wird auf bestehende rechtliche Vorschriften eingegangen und ein Überblick über die österreichische und deutsche Normenlandschaft im Hinblick auf Ökologisches Bauen verschafft.

Zu Beginn wird die Errichtungsphase bezüglich ihrer Systemgrenzen diskutiert und definiert. Die Systemgrenzen regeln klar, welche Prozesse Teil der Untersuchung sind und welche nicht, wobei diese Festlegungen und die Überlegungen, auf denen diese basieren, begründet werden müssen. Die Abläufe und Prozesse während der Errichtungsphase sind klar von ihren Vorgänger- und Nachfolgerprozessen abzugrenzen. Diesem System entsprechend werden die verschiedenen, im Zuge dieser Arbeit zu behandelnden Baustellentypen, untersucht.

Im nächsten Schritt soll die Datenauswertung und die damit einhergehende Forschungstätigkeit durchgeführt werden. Als erstes Bauvorhaben wird ein städtischer Geschoßwohnbau analysiert. Anschließend wird der Asphalt einbau eines Straßenabschnittes untersucht. Es folgt die Untersuchung einer städtischen thermischen Wohnbausanierung. Für jeden Baustellentyp werden Datensätze und Unterlagen eines bereits ausgeführten Bauvorhabens erhoben. Im nächsten Schritt werden die zur Verfügung gestellten Unterlagen analysiert. Dabei wird in erster Linie untersucht, ob hinreichende Daten zur Erfassung der gesamten Baustelle in Bezug auf die Art des Bauvorhabens, die örtlichen Gegebenheiten, die eingesetzten Mittel und Baugeräte, die erbrachten Bauleistungen in Form von Mengen und Zeitangaben vorliegen, um eine Abschätzung des Transportaufkommens und der Energieverbräuche durchführen zu können. Es ist zu erwarten, dass bestimmte Baustellendaten zum Teil unvollständig, bis gar nicht zur Verfügung stehen werden. Um diese Lücken zu schließen, werden mit Hilfe der Methode des *desk research* Sekundärdaten aus bereits

¹⁸ Vgl. IIBW und Umweltbundesamt (online), 2020: S. 8

¹⁹ Vgl. Stadt Wien (online), 2021: Sanierungsförderungen in Zahlen

durchgeführten Studien erhoben und darauf basierend qualifizierte Abschätzungen bzw. Annahmen getroffen.

Im Anschluss erfolgt die quantitative und inhaltliche Analyse der Baustellendaten. Aus den Unterlagen werden Bauzeiten, Baustoffmengen, Transportwege, Energieverbräuche, ausgeführte Gewerke und Bauverfahren entnommen und entsprechend den zuvor festgelegten Systemgrenzen und Gliederungen ausgewertet. Für die methodische Bearbeitung und Abschätzung der Mengen an THG-Emissionen, die in der Einheit to CO₂-Äquivalent angegeben werden, werden Datensätze der ecoinvent²⁰ Datenbank verwendet.

Nach erfolgter Auswertung werden die Ergebnisse jedes Baustellentypen einer inhaltlichen Analyse unterzogen und es werden im Sinne einer induktiven Forschung, aus der Untersuchung einzelner Baustellen, Schlussfolgerungen für die Allgemeinheit abgeleitet. Dabei werden die Großemittenten hervorgehoben, die größten Hebel für eine möglich Reduktion aufgezeigt und ein quantitativer Vergleich zu den übrigen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes erstellt.

Forschungsabgrenzung

Die Forschung beschäftigt sich seit Jahren vor allem mit den Lebenszyklusphasen der Herstellung, der Nutzung und der Entsorgung eines Gebäudes und auf die dabei entstehenden THG-Emissionen. Diese Arbeit beschränkt sich jedoch ausschließlich auf die Bautätigkeiten selbst und die dafür notwendigen Prozesse und zugehörigen Abläufe. Diese Abgrenzung wird im Zuge der Festlegung der Systemgrenzen genau definiert.

Neben CO₂ existieren weitere klimawirksame THG wie z.B. Methan (CH₄), Lachgase (N₂O) und fluorierte Gase (F-Gase), welche in der Regel z.B. für Ökobilanzen ebenso in CO₂-Äquivalent umgerechnet werden. Als ein durch Verbrennung fossiler Energieträger entstehendes und insbesondere in der Strom- und Wärmeerzeugung, dem Verkehr und der industriellen Produktion erzeugtes Gas, stellt CO₂ offensichtlich auch den größten Anteil an den THG während der Errichtungsphase eines Gebäudes bzw. in der Bauwirtschaft im Allgemeinen dar. Lachgas und F-Gase (HFKW, FKW, SF₆, NF₃), die im Vergleich zu CO₂ treibhauswirksamer sind und im Fall von F-Gasen auch eine enorm lange Verweildauer in der Atmosphäre aufweisen, werden sehr wohl auch in der Kunststoffindustrie und der Fensterproduktion erzeugt bzw. eingesetzt. Die damit im Zusammenhang stehenden Produktions- und Entsorgungsprozesse sind den entsprechenden Vorgänger- und Nachfolgerphasen des Gebäudelebenszyklus zuzuweisen und nicht der Errichtungsphase.

²⁰ Vgl. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 24 04 2021].

1.4 Forschungsfragen

Aus der Aufgabenstellung ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- „Welche Prozesse, Geräte und Umstände verursachen die größten Energieverbräuche und THG-Emissionen während der Errichtungsphase eines Gebäudes (Wohnbau, Wohnbausanierung, Asphaltbau)?“
- „Wie groß sind die CO₂-Emissionen, die während der Errichtungsphase eines Gebäudes anfallen?“
- „Lassen sich die auf Baustellen anfallenden THG-Emissionen im Vorhinein hinsichtlich ihrer Größenordnung abschätzen? Welche Daten und Informationen werden dafür benötigt?“

1.5 Ziel der Arbeit

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist, die an der Errichtung eines Gebäudes beteiligten Unternehmen und Organisationen hinsichtlich der während der Errichtungsphase eines Gebäudes anfallenden Treibhausgasmissionen zu sensibilisieren und diesbezügliche Einsparungspotentiale aufzuzeigen. Sämtliche THG-Emissionen, sowohl direkte als auch indirekte, sind für die Musterbaustellen zu identifizieren und zu quantifizieren. Ziel ist, eine einfache Methode zu entwickeln, mit deren Hilfe die THG-Emissionen eines Bauvorhabens je nach Art der Bauverfahren, der Energieversorgung und eingesetzten Baugeräte im Vorhinein abgeschätzt werden können.

Es soll ein IST-Stand erhoben werden, welcher in einer weiterführenden Forschung als Grundlage für die Erarbeitung nachhaltiger und betriebswirtschaftlich vorteilhafter Energie- und Transportlogistikkonzepte dienen soll. Dadurch soll eine umweltfreundliche Baustellenabwicklung langfristig zu einem Wettbewerbsvorteil und wirtschaftlichen Anreiz für Bauunternehmen.

1.6 Abkürzungsverzeichnis

BBTM	Asphaltbeton für sehr dünne Schichten
BMVIT	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
BGF	Bruttogeschossfläche
bzw.	Beziehungsweise
CFP	Carbon Footprint
CO₂-Eq	CO ₂ -Äquivalent (aus dem Englischen)
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
EPD	Umweltproduktdeklaration
EPS	expandiertes Polystyrol
EU	Europäische Union

F-Gas	Fluorierte Gase
FKW	Fluorkohlenwasserstoffe
FT	Fertigteil
GWP	Global warming potential – Treibhauspotential
GWP 100a	100-year Greenhouse Warming Potential (100-jähriges Treibhausgaspotential)
HKLS	Heizung, Kühlung, Lüftung, Sanitär
HFKW	Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe
IBPM	Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement
IIBW	Institut für Immobilien, Bauen und Wohnen
ISO	International Standards Organisation
IVWS	Institut für Verkehrswissenschaften
LKW	Lastkraftwagen
LV	Leistungsverzeichnis
NF3	Stickstofftrifluorid
ÖNORM	Österreichische Norm
PCR	Produktkategorieregeln (aus dem Englischen)
PmB	Polymermodifizierte(s) Bitumen
PR	Pfosten-Riegel
PA	Offenporiger Asphalt (aus dem Englischen)
RMA	Ressourcen Management Agentur
RUMBA	Richtlinie für eine umweltfreundliche Baustellenabwicklung
SF6	Schwefelhexafluorid
SMA	Splitmastixasphalt
THG	Treibhausgas
THEWOSAN	Thermische Wohnhaussanierung
tkm	Tonnenkilometer
UN	United Nations
WDVS	Wärmedämmverbundsystem

2 Grundlagenermittlung

Der Bau- und Gebäudesektor ist für 38 % der globalen THG-Emissionen verantwortlich. Dies entspricht in etwa 9,95 Gigatonnen CO₂-Äquivalent.²¹ Am 16.12.2020 wurde vom UN-Umweltprogramm der den Bau- und Gebäudesektor betreffende Bericht namens „2020 Global Status Report for Buildings and Construction – Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector“²² veröffentlicht. Dieser stellt fest, dass sich der Bau- und Gebäudesektor hinsichtlich des Ausstoßes von THG-Emissionen global auf dem bislang höchsten Niveau befindet und die im Pariser Klimaschutzabkommen festgesetzte Grenze einer Erderwärmung von weniger als zwei Grad Celsius zu überschreiten droht. Der Bericht fasst zusammen: „Insgesamt hat sich der Gebäude- und Bausektor nicht in Richtung auf das im Pariser-Abkommen festgelegte Ziel bewegt, die globale Durchschnittserwärmung weit unter zwei Grad Celsius zu halten, sondern davon wegbewegt“²³. „Dabei müssten die Gebäude-CO₂-Emissionen bis 2030 halbiert werden, um bis 2050 auf dem Weg zu einem Netto-Null-Kohlenstoff-Gebäudebestand zu sein. Die Regierungen müssen kohlenstoffarme Gebäude in Konjunkturpaketen und aktualisierten Klimazusagen priorisieren. Die Emissionen des Bausektors haben zwar ein Rekordhoch erreicht, aber eine kohlenstoffarme Pandemieerholung²⁴ kann den Sektor transformieren“²⁵ - teilt das UN-Umweltprogramm mit.

2.1 Nachhaltigkeit im Bauwesen

Die Internationale Energieagentur schätzt, dass für die Erreichung eines kohlenstofffreien Gebäudebestands eine Halbierung der direkten CO₂-Emissionen von Gebäuden und eine Reduktion der indirekten CO₂-Emissionen im Bausektor bis zum Jahr 2030 erfolgen muss. Der „Buildings Climate Tracker“ der GlobalABC, welcher energieeffizienz-steigernde Maßnahmen, die mit Hilfe von Investitionen umgesetzt werden sowie den erneuerbaren Energieanteil in Gebäuden einberechnet, prognostiziert eine weitere Zunahme der Wachstumsrate von CO₂-Emissionen im Bau- und Gebäudesektor in den kommenden Jahren.²⁶ Es wäre eine mehr als vierfache Steigerung der CO₂-reduzierenden Maßnahmen aller am Lebenszyklus und der Wertschöpfung eines Gebäudes beteiligten Personen bzw. Unternehmen erforderlich, um bis 2050 klimaneutral zu werden.²⁷ Um eine Minimierung der im Bausektor entstehenden THG-Emissionen zu erwirken, bedarf es einer konkreten und ambitionierten Zielfestlegung sowie einer ständigen Bewertung und Verbesserung der gesetzten Maßnahmen.

Der Großteil der direkten und indirekten Umweltauswirkungen verschiebt sich deutlich von der Nutzungsphase – hervorgerufen durch den Stromverbrauch und die klimatische Konditionierung von Gebäuden – in die Herstellungs- und Errichtungsphase. Es wird von der sogenannten „grauen

²¹ Vgl. United Nations (UN) (online), 2020: 2020 Global status report for buildings and construction, S. 4

²² Vgl. UN (online), 2020: 2020 Global status report for buildings and construction

²³ Vgl. UN (online), 2020: 2020 Global status report for buildings and construction, S. 18

²⁴ Gemeint ist die am 31.12.2019 ausgebrochene COVID-19-Pandemie

²⁵ Vgl. UN (online), 2020; Buildings Global status report press release

²⁶ Vgl. GlobalABC (online), 2021

²⁷ Vgl. Max-Planck-Institut für chemische Energiekonversion (online), 2020

Energie“ bzw. den „grauen Emissionen“ gesprochen, welche bei der Verarbeitung von gewonnenen Rohstoffen zu fertigen Produkten, in diesem Fall bei der Herstellung von Bauwerken, entstehen.²⁸

Angesichts des European Green Deal, welcher eine EU-weite Klimaneutralität bis 2050 vorsieht, steht in den kommenden Jahren eine entsprechende Verschärfung der europäischen Klimapolitik und der gesetzlichen Vorschriften bevor. Die in Österreich für das Jahr 2022 bevorstehende CO₂-Bepreisung²⁹ soll dabei einen wirtschaftlichen Anreiz zur Reduktion von Emissionen und Energieverbräuchen darstellen.

2.1.1 Gebäudebetrieb

Zur Reduktion der energiebedingten THG-Emissionen über die gesamte Betriebsphase existieren bereits zahlreiche nachhaltigkeitsorientierte Gebäudezertifizierungssysteme. Dabei zählen in der österreichischen Bauwirtschaft das Zertifizierungssystem der deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB), die österreichische Gesellschaft für nachhaltige Immobilienwirtschaft (ÖGNI), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), klimaaktiv, Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM) zu den Etabliertesten. In den Kriterienkatalogen der genannten Systeme findet auch der Einsatz umweltfreundlicher Materialien und Bauprodukte Eingang.^{30 31 32}

2.1.2 Baustoffherstellung

Der Baustoff Beton ist heutzutage aus der Bauwirtschaft nicht mehr wegzudenken und ist der wichtigste Baustoff unserer Zeit. Gleichzeitig ist die für die Betonproduktion unerlässliche Zementherstellung einer der emissionsintensivsten Industrieprozesse. Die Zementherstellung macht in etwa 8 % der globalen THG-Emissionen aus.³³ Pro Tonne Zement ergibt sich in Deutschland ein durchschnittliches THG-Potential von 587 kg CO₂-Äquivalenten.³⁴ Die im Laufe des Zementherstellungsprozesses entstehenden THG-Emissionen lassen sich im Hinblick auf die einzelnen Prozessschritte wie folgt unterteilen:³⁵

- 49 % entstehen bei der Entsäuerung des Zementklinkers während des Brennvorgangs. Die Emissionen sind als direkt zu klassifizieren, denn es handelt sich dabei um prozessbedingte Emissionen.
- Weitere 35 % sind der Energiebereitstellung für Brennprozesse zuzuweisen.
- 12 % entfallen auf den Stromverbrauch für Mahl- und Förderprozesse.
- Die restlichen 4 % sind schließlich dem Transport der Rohstoffe zuzuschreiben.

²⁸ Vgl. TU Graz (online), 2021

²⁹ Vgl. ÖAMTC (online), 2020

³⁰ Vgl. ÖGNI (online), 2020

³¹ Vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO) (online), o. D.: Gebäudebewertung – Breeam

³² Vgl. IBO (online), o. D.: Gebäudebewertung – Leed,

³³ Vgl. WWF Deutschland (online), 2019: S. 5

³⁴ Vgl. WWF Deutschland (online), 2019: S. 7

³⁵ Vgl. WWF Deutschland (online), 2019: S. 13

Zur Reduktion der THG-Emissionen im Zuge der Zementherstellung werden unterschiedliche Strategien verfolgt. Diese stellen sich wie folgt dar:³⁶

- Energieeffizienz im Zuge der Brenn-, Mahl- und Förderprozesse sowie Substitution der dabei verwendeten Brennstoffe.
- CO₂-Abscheidung: Freiwerdendes CO₂ wird aus den Abgasen ausgeschieden und eingelagert und/oder für andere Industrieprozesse genutzt.
- Materialsubstitution:
 - o Ganzheitlicher Ersatz von Beton durch klimafreundlichere Materialien wie z.B. Holz im Hochbau unter der Voraussetzung eines nachhaltigen Anbaus und Nutzung.
 - o Reduktion des Zementanteils im Beton
 - o Reduktion des Klinkeranteil im Zement

Angesichts dieses enormen CO₂- „Rucksackes“ dieses Baustoffes werden weltweit große Bemühungen hinsichtlich der Dekarbonisierung des Betons unternommen. Eine Vielzahl umfassender und langjähriger Forschungsprojekte, welche seitens der öffentlichen Hand aber auch von Akteuren aus der Privatwirtschaft finanziert werden, sollen den Weg für eine Ökologisierung des wichtigsten Baustoffes ebnen.

Beispielsweise wird aktuell ein vom Bundesministerium für Klimaschutz (BMVIT) und der MA20 Energieplanung der Stadt Wien gefördertes und von der Strabag Real Estate als Projektnehmerin, der bauXund, Romm ZT, Wopfinger Transportbeton, Dr. Ronald Mischek ZT, Materialprüfanstalt Hartl, Dr. Johann Horvath SV und Strabag SE als Projektpartner betreutes Forschungsprojekt namens RCC – Reduced Carbon Concrete durchgeführt.³⁷ Der grundsätzliche Ansatz im Hinblick auf die Bewertung des RCC Betons beruht auf der Begutachtung seiner technischen Eigenschaften und nicht – wie in den Normen bislang gefordert – nach dem Zementgehalt.³⁸ Die angestrebte CO₂-Reduktion ist technisch mit den aktuell am Markt verfügbaren Produkten umsetzbar, jedoch fehlt einerseits die praktische Erfahrung und andererseits sind die normativen Rahmenbedingungen derzeit nicht gegeben.³⁹

2.1.3 Abfallentsorgung auf Baustellen

Der Abtransport von Abfällen, die im Zuge von Bautätigkeiten entstehen, gehört lt. ÖNORM EN 15804 ebenfalls zur Errichtungsphase eines Gebäudes. Deren endgültige Entsorgung bzw. Recycling ist jedoch der Entsorgungsphase zuzuweisen. Bauabfälle stellen den größten Anteil des Wiener Abfallaufkommens dar und machen ca. 70 % davon aus. Bis zu 75 % der Baurestmassen sind, sofern entsprechend sortiert, wiederverwertbar, jedoch werden Baustellenabfälle lt. Richtlinie für

³⁶ Vgl. WWF Deutschland (online), 2019: S. 14

³⁷ Vgl. BauXund (online), 2020

³⁸ Vgl. BauXund (online), 2020

³⁹ Vgl. BauXund (online), 2020

umweltfreundliche Baustellenabwicklung (RUMBA) aus dem Jahr 2004, größtenteils nicht getrennt gesammelt.⁴⁰

Baustellenabfälle treten bei Bautätigkeiten jeglicher Art auf. Bei Neubauten überwiegt der Anteil des abzuführenden Erdaushubs samt Deponieschutts, des Verschnitts und des Verpackungsmaterials. Im Fall von Sanierungen und Abbrüchen überwiegt der Anteil an zu entsorgenden Baurestmassen, hauptsächlich in Form von mineralischem Bauschutt. Zur Sammlung der Baustellenabfälle steht auf jeder Baustelle mindestens eine Mulde bereit, welche regelmäßig abtransportiert und abgekippt wird. Vor allem im städtischen Bereich sind Baufirmen meist mit beengten Platzverhältnissen konfrontiert und sammeln die gemischten Bauabfälle daher in einem einzigen Behälter. Auf großräumigen Baustellen mit entsprechendem Baustellenlogistikkonzept werden sogenannte Sortierinseln vorgesehen und die Baustellenabfälle je nach Art getrennt gesammelt und abgeführt.

Bauabfälle umfassen folgende Unterkategorien von Abfällen:⁴¹

Bodenaushub:

Erdaushubmaterial welches im Zuge von Hoch- und Tiefbauprojekten ausgehoben und abtransportiert wird.

Baustellenabfälle:

Holz- und Metallabfälle, organische Abfälle und mineralischer Bauschutt

Asphaltabbruch:

Bituminöse und fest mineralische Stoffe, welche hauptsächlich im Straßenbau zum Einsatz kommen

Holzabfälle:

Bauholz und Holz-Verpackungsmaterial

Kunststoffabfälle:

Verpackungsmaterial und diverse aus Kunststoff hergestellte Bauteile

Deponieschutt:

Nach dem Altlastensanierungsgesetz (ALSAG) gebührenpflichtige und nicht verwertbare Baurestmassen (z.B. Gips)

Gefährliche Abfälle:

Abfälle für die besondere Vorkehrungen bei der Behandlung und Entsorgung erforderlich sind und deren nicht sachgemäße Entsorgung eine Gefahr für das öffentliche Interesse darstellt.

Betonabbruch:

Bewehrter und nicht bewehrter hydraulisch gebundener Baustoff, welcher im Zuge von Abbrucharbeiten entsorgt werden muss.

⁴⁰ Vgl. MD-Stadtbaudirektion der Stadt Wien, 2004: Teil 1, S. 10

⁴¹ Vgl. MD-Stadtbaudirektion der Stadt Wien, 2004: Teil 1, S. 4

Bauschutt:

Baustoffe von Abbrucharbeiten oder auch Restmaterial von Neubauten mit überwiegendem mineralischem Bestandteil (Ziegel, Mörtel, Naturstein, Beton, Keramik). Unterscheidung zwischen recyclingfähigem und nicht recyclingfähigem Bauschutt

Metallabfälle:

Bauteile aus Stahl, Eisen und Nichteisenmetallen sowie metallische Verpackungen

Abbildung 2.1 dient der Veranschaulichung des relativen Baustellenabfallaufkommens in kg/m² BGF während der Errichtungsphase eines Wohn- und Bürogebäudes mit hoher Ausstattungsqualität:⁴²

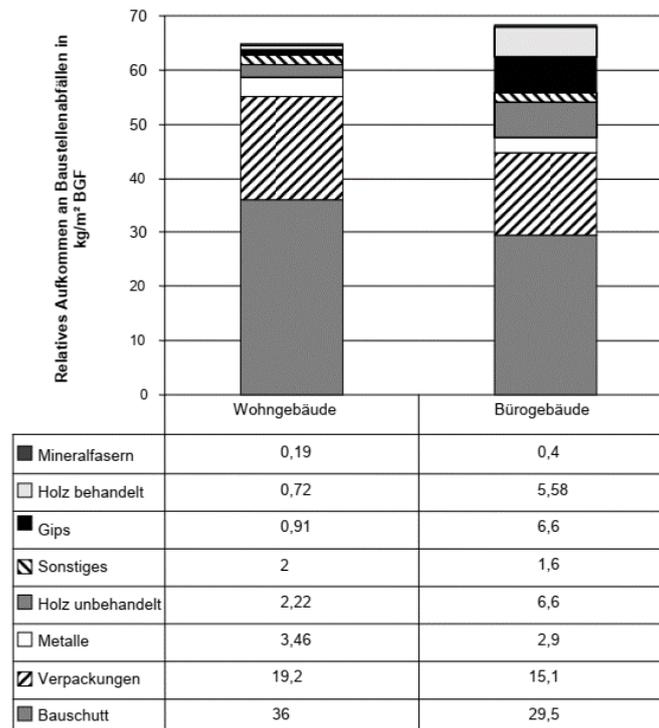


Abbildung 2.1: Relatives Aufkommen an Baustellenabfällen⁴³

Die statistische Aufnahme der Eingangs- und Ausgangsmenge eines Wiener Sortierbetriebs haben entsprechend Abbildung 2.2 folgende Gewichtung der unterschiedlichen Baustellenabfallkategorien gezeigt:⁴⁴

- 65 % Mineralische Baustoffe
- 16 % Holzabfälle
- 16 % nicht verwertbarer Restmüll wie z.B. Dämmstoffe und Verbundstoffe
- 2 % Metallabfälle
- 1 % Verpackungsmaterial aus Papier und Kunststoff

⁴² Vgl. Scheibengraf, Reisinger, 2006: S. 50

⁴³ Aus Lipsmeier, 2004

⁴⁴ Vgl. Scheibengraf, Reisinger, 2006: S. 25

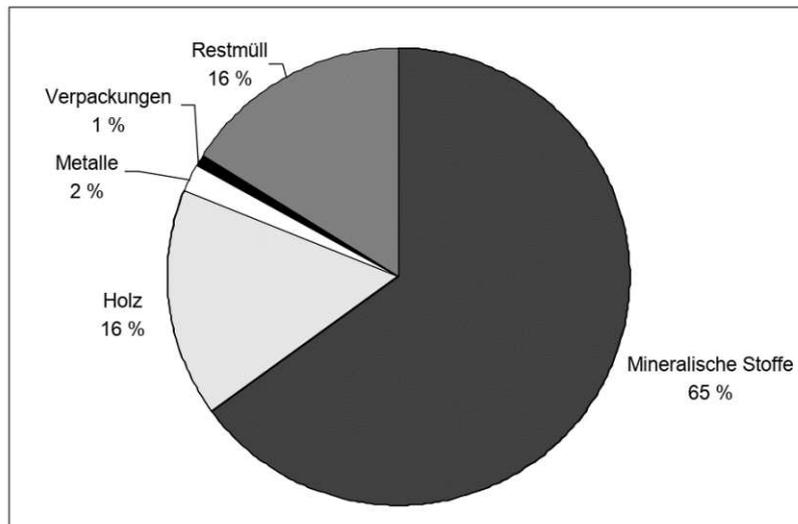


Abbildung 2.2: Anteile der Baustellenabfallkategorien in Masseprozent⁴⁵

Für die Reduktion des Baustellenabfallaufkommens und Erhöhung des Wiederverwertungsgrades können die in weiterer Folge näher beschriebenen Maßnahmen getroffen werden.

Für sämtliche Abfallkategorien gilt der Grundsatz, dass eine Wiederverwertung nur dann möglich ist, wenn eine getrennte Sammlung der unterschiedlichen Abfallstoffe direkt auf der Baustelle erfolgt. Eine Vermischung der Abfälle führt zu einer Verunreinigung der einzelnen Abfalluntergruppen. Eine sorgfältige Trennung des Abfalls auf der Baustelle ist für die Abfallverwertung somit essenziell. Die effektivste Mülltrennungs- und Verwertungsvariante stellt dabei die Sortierinsel bzw. der Recyclinghof dar. Voraussetzung für die Möglichkeit und das Funktionieren einer solchen Sortierinsel sind ausreichende Platzverhältnisse, eine Verpflichtung der Professionisten zur Nutzung der Sortierinsel und eine entsprechende personelle Betreuung der Sortierinsel. Für Baustellen mit geringen Flächenkapazitäten bietet sich die Lösung mittels platzsparender Sammelsysteme wie z.B. Stockgestellen und Mix-Nix-Containern an.⁴⁶

Verbundmaterialien, welche hinsichtlich des Recyclings de facto untrennbar sind, bereiten bei der Abfallverwertung und -entsorgung große Schwierigkeiten. Eine größtmögliche Vermeidung von faserverstärkten -Kunststoffen, -Estrichen und -Spachtelmassen sowie Baukonstruktionen mit Verklebungen und vollflächigen Verbänden wäre aus Sicht des Umweltschutzes wünschenswert, jedoch überwiegen derzeit die bautechnischen und wirtschaftlichen Vorteile beim Einsatz solcher Baustoffe und Baukonstruktionen. Es sollte eine Entwicklung von Produkten, welche nach Ablauf ihrer Nutzungsdauer einfach zu trennen, zu reinigen und zu recyceln sind, forciert werden.⁴⁷

Die Vermeidung von Verpackungsmaterial stellt einen weiteren wichtigen Aspekt der Abfallreduktion dar. Bei vielen Bauprodukten, insbesondere den witterungsfesten, ist eine Verpackung überhaupt nicht notwendig. Durch die Verwendung von Mehrwegpaletten und Mehrwegbehältern kann ebenso eine große Menge an Kunststoffverpackungen eingespart werden.

⁴⁵ Aus Pladerer et al., 2004

⁴⁶ Vgl. MD-Stadtbaudirektion der Stadt Wien, 2004: Teil 1, S. 19

⁴⁷ Vgl. Scheibengraf, Reisinger, 2006: S. 66-67

Die Definition und Organisation sämtlicher Abfallvermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen sollte grundsätzlich über ein durchdachtes und mit allen Beteiligten im Vorfeld der Bautätigkeiten abgestimmtes Abfallkonzept erfolgen. Das Abfallkonzept sollte wiederum Teil des Baustellenlogistikkonzepts sein. Eine entsprechende Abhandlung des Themas der Erstellung von Abfallwirtschaftskonzepten auf Großbaustellen wurde vom Umweltministerium im Jahr 2017 veröffentlicht.⁴⁸

2.2 Stand der Technik

An dieser Stelle wird auf die aktuelle Normenlage hinsichtlich Nachhaltigkeit im Bauwesen und Umweltmanagement eingegangen. In Österreich stellen die ÖNORMEN den aktuellen Stand der Technik dar und sind bei der Planung und Ausführung von Bauwerken bzw. bei der Erstellung von Ökobilanzen anzuwenden. Liegen zu gewissen Inhalten aktuell keine ÖNORMEN vor, so stellen die entsprechenden Europäischen Normen den Stand der Technik dar.

Die für das Thema dieser Arbeit relevanten Normen sind die folgenden:

- ÖNORM EN 15978: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode
- ÖNORM EN ISO 14044: Umweltmanagement – Ökobilanz
- ÖNORM EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte
- DIN EN ISO 14067: Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung

Weitere wichtige Normen betreffend Nachhaltigkeit im Bauwesen und Umweltmanagement sind:

- ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework
- EN 15603: Energieeffizienz von Gebäuden – Gesamtenergiebedarf und Festlegung der Energiekennwerte
- EN 15643-1-4: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden
- ISO 15392: Sustainability in building construction – General principles

2.2.1 ÖNORM EN 15978: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode⁴⁹

Diese Norm stellt eine „Berechnungsmethode zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität eines Gebäudes sowie Hilfsmittel für das Berichtswesen und die Kommunikation des Ergebnisses

⁴⁸ Vgl. Reisinger, Stoifl, Weissenbach, Domenig, 2017

⁴⁹ Vgl. ÖNORM EN 15978, 2011: S. 7 ff.

dieser Bewertung zur Verfügung. Sie gilt für neue und bereits bestehende Gebäude sowie für Modernisierungen.“⁵⁰. Sie basiert auf der Ökobilanz und weiteren Umweltdaten.

Der Inhalt dieser Norm lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Zweckbeschreibung
- Beschreibung der Systemgrenzen
- Erläuterung des Verfahrens welches bei der Bestandsanalyse anzuwenden ist.
- Definition und Beschreibung von Indikatoren und der zugehörigen Ermittlungsverfahren
- Quantitative und qualitative Anforderung an die Ergebnisdarstellung
- Anforderungen an die Datenqualität

Die Berechnungsmethode beinhaltet alle Phasen des Gebäudelebenszyklus und basiert auf Daten, die aus den Umweltproduktdeklarationen der ÖNORM EN 15804 entnommen wurden. Es werden sämtliche Bauprodukte, Bauverfahren und Bauprozesse, welche im Laufe des Gebäudelebenszyklus verwendet werden bzw. zur Anwendung kommen, berücksichtigt.

Das Ziel der Bewertungsmethode ist Quantifizierung des zu bewertenden Objekts in Bezug auf die ökologische Qualität durch die Sammlung der zugehörigen Umweltinformationen. Um dies erreichen zu können, müssen der Anwendungsbereich und der Zweck der Bewertung in Einklang mit den Anforderungen der Norm festgelegt und vereinbart werden.

2.2.2 ÖNORM EN ISO 14044: Umweltmanagement – Ökobilanz⁵¹

Das in den letzten Jahrzehnten immer größer werdende Umweltbewusstsein und Interesse am Verständnis möglicher Auswirkungen der Produktion und dem Einsatz von Produkten, hat die Entwicklung entsprechender Methoden zur Einschätzung und Bewertungen dieser Umwelteinwirkungen gefördert. Die Ökobilanz (en: life cycle assessment, kurz: LCA) ist eine Methode, die genau diesen Zweck erfüllen soll. Eine Ökobilanz berücksichtigt die potenziellen Umwelteinflüsse eines Produktes entlang seines gesamten Lebenszyklus – von der Gewinnung des zur Produktion erforderlichen Rohmaterials, über den Produktionsprozess, den Einsatz bzw. Einbau, den Abbruch, das Recycling und die endgültige Entsorgung. Eine Ökobilanz-Studie besteht aus vier Phasen. Beginnend bei der Festlegung der Systemgrenzen und der Zielsetzung folgt eine Sachbilanz, eine Wirkungsabschätzung und die Auswertungsphase. Wobei die Systemgrenzen und die Untersuchungstiefe vom Untersuchungsgegenstand und dem Verwendungszweck der Ökobilanz abhängen.

Die Norm umfasst Ökobilanz-Studien und Sachbilanz-Studien und liefert neben den vier zuvor genannten Phasen eine Anleitung für:

- Das Berichtswesen und Kommunikation im Zusammenhang mit Ökobilanzen;
- deren kritische Prüfung;
- die Ökobilanzgrenzen;

⁵⁰ Vgl. ÖNORM EN 15978, 2011: S. 5

⁵¹ Vgl. ÖNORM EN ISO 14044, 2021: S. 6 ff.

- die Beziehung unter den Ökobilanzphasen und
- die Regeln über die Anwendung von Werthaltungen und optionalen Inhalten.

Ziel der Ökobilanz ist es, die Verbesserungspotentiale im Hinblick auf die Umwelteigenschaften eines Produktes aufzuzeigen, Entscheidungsträger aus Industrie und Regierung entsprechend zu informieren und bei der Priorisierung umweltrelevanter Themen zu unterstützen. Des Weiteren soll die Ökobilanz bei der Identifikation und Messung der relevantesten Umweltindikatoren helfen und das Umweltmarketing z.B. durch die Einführung von Umweltkennzeichnung bzw. -Deklarationen unterstützen.

Die folgende Abbildung 2.3 dient der Veranschaulichung des Rahmens einer Ökobilanz und des Ablaufs bzw. der Beziehungen der unterschiedlichen Bestandteile:

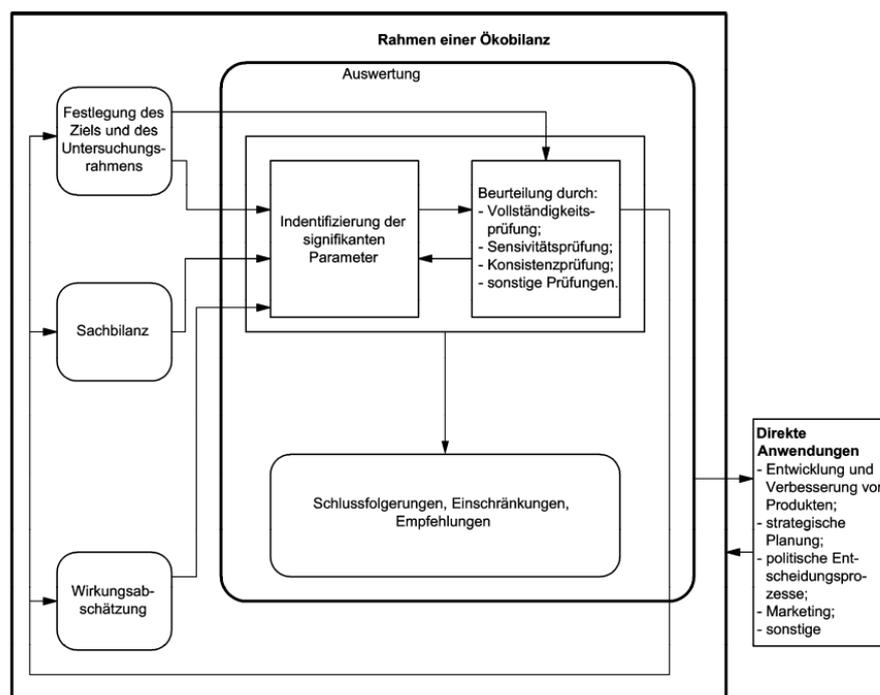


Abbildung 2.3: Beziehung zwischen den Inhalten der Auswertungsphase und weiteren Phasen der Ökobilanz⁵²

Nach Durchführung der Sachbilanz werden deren Ergebnisse, die im Fall der Untersuchung von Baustellen in Form von Massen- und Energieflussdaten je funktioneller Einheit vorliegen, mittels Wahl geeigneter Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodelle in die Wirkungsabschätzung übergeführt, wodurch die Umweltrelevanz der Sachbilanzergebnisse abgeschätzt wird. Für die, im Fall dieser Arbeit zutreffende Wirkungskategorie Klimaänderung werden über entsprechende Charakterisierungs- bzw. Emissionsfaktoren hinsichtlich dem Treibhausgaspotential, die Wirkungsindikatorwerte in Kilogramm bzw. Tonnen der CO₂-Äquivalente je funktioneller Einheit bestimmt. Im Zuge dieser Arbeit werden einerseits Emissionsfaktoren der

⁵² Aus ÖNORM EN ISO 14044, 2021: S. 36

ecoinvent-Datenbank⁵³ mit dem Wirkungsindikator Treibhausgaspotential gesamt nach dem Basismodell von 100 Jahren (GWP 100a) des Weltklimarates und andererseits Daten des Umweltbundesamts⁵⁴ hinsichtlich Treibhausgasemissionen gesamt inkl. Vorkette (direkte und indirekte Emissionen) verschiedener Energieträger verwendet. Die österreichische Stromaufbringung berücksichtigt die regionale Stromerzeugung und die Stromimporte.⁵⁵ Die Ermittlung des Emissionsfaktors für die inländische Stromerzeugung erfolgt mithilfe des Kraftwerkparcs.⁵⁶ Für die Stromimporte werden die Erzeugungsfaktoren der Importländer verwendet. Die für diese Arbeit relevantesten Emissionsfaktoren der im Zuge der Prozesse vor Ort eingesetzten Energieträger Strom und Dieselmotorkraftstoff sind der nachfolgenden Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Verwendete Emissionsfaktoren für Strom und Diesel

	GWP 100a ⁵³	Direkte THG ⁵⁴	Indirekte THG ⁵⁴	Gesamt THG ⁵⁴
Strom	0,092 kgCO ₂ -Eq/MJ	-	-	0,258 kgCO ₂ -Eq/kWh
Diesel	0,339 kgCO ₂ -Eq/kWh	2,458 kgCO ₂ -Eq/l	0,64 kgCO ₂ -Eq/l	3,098 kgCO ₂ -Eq/l

Hinsichtlich des Transports wurden in dieser Arbeit Emissionsfaktoren aus der ecoinvent Datenbank herangezogen. Die Emissionsdaten für LKWs entsprechen dem Service eines Tonnenkilometers Gütertransport.⁵⁷ Treibstoffverbrauch und Emissionen beziehen sich auf durchschnittliche europäische Fahrten und Beladungsfaktoren.⁵⁸ Die tatsächliche Beladung mit Baustoffen in Tonnen kann davon stark abweichen, da Baustoffe hinsichtlich ihrer Dichten große Unterschiede aufweisen.⁵⁹ Tabelle 2 zeigt die für diese Arbeit relevanten Emissionsfaktoren verschiedener LKW Gewichts- und Euroklassen in Bezug auf die Transportprozesse:

Tabelle 2: Verwendete Emissionsfaktoren für Transportprozesse⁵³

	GWP 100a (Euroklasse 3)	GWP 100a (Euroklasse 4)
LKW > 32 t (Diesel)	0,0916 kgCO ₂ -Eq/tkm	0,0901 kgCO ₂ -Eq/tkm
LKW 16 - 32 t (Diesel)	0,1666 kgCO ₂ -Eq/tkm	0,1653 kgCO ₂ -Eq/tkm
LKW 7,5 - 16 t (Diesel)	0,2158 kgCO ₂ -Eq/tkm	0,2136 kgCO ₂ -Eq/tkm
LKW 3,5 - 7,5 t (Diesel)	0,5159 kgCO ₂ -Eq/tkm	0,5107 kgCO ₂ -Eq/tkm

⁵³ Vgl. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part 6): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 15 07 2021].

⁵⁴ Vgl. Umweltbundesamt (online), 2020

⁵⁵ Vgl. Umweltbundesamt (online), 2020

⁵⁶ Vgl. Umweltbundesamt (online), 2020

⁵⁷ Obernosterer et al. (Studie noch nicht veröffentlicht), 2021

⁵⁸ Obernosterer et al. (Studie noch nicht veröffentlicht), 2021

⁵⁹ Obernosterer et al. (Studie noch nicht veröffentlicht), 2021

2.2.3 ÖNORM EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte⁶⁰

Das Ziel dieser Norm ist es, die einheitliche Ableitung, Verifizierung und Darstellung aller Umweltproduktdeklarationen (EPD) in Bezug auf Bauprodukte, Bauprozesse und Bauleistungen, sicherzustellen. Eine EPD soll eindeutige und detaillierte Informationen hinsichtlich Umweltwirkungen von Produkten und deren Anwendung liefern. Sie soll dabei helfen, wissenschaftlich begründete Entscheidungen bei Umweltfragen zu treffen und damit den Umweltschutz fördern.

Die ÖNORM EN 15804 liefert im weiteren Sinne Produktkategorieregeln (PCR) für Umweltproduktdeklarationen.

Die grundlegenden PCR dienen folgenden Zwecken:

- Festlegung der zu deklarierenden Indikatoren, Informationen und die Vollständigkeitsüberprüfung dieser
- Festlegung, welche Lebenszyklusphasen in der EPD berücksichtigt werden und welche Prozesse in welchen Phasen zu berücksichtigen sind
- Regelung der Vorgehensweise bei der Erstellung von Szenarien
- Berücksichtigung der normativ geregelten Berechnung von Sachbilanzen und Wirkungsabschätzungen sowie der Qualität der dabei zu verwendenden Daten
- Definition der Vorgehensweise bei der Kommunikation von notwendigen Umwelt- und Gesundheitsinformationen, die in einer Ökobilanz nicht beinhaltet sind
- Festlegung der Regeln für die Vergleichbarkeit von Bauprodukten in Bezug zur EPD

Zwischen den Produktkategorieregeln und der Anwendung dieser erfolgt in Bezug auf Bauleistungen und Bauprodukte keine Unterscheidung.

2.2.4 DIN EN ISO 14067: Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung⁶¹

Im Einklang mit internationalen Normen zur Ökobilanz, werden mit dieser Norm Grundsätze und Anleitungen für die Quantifizierung und Berichterstattung des Carbon Footprint (CFP) eines Produkts festgelegt. Ergebnisse der in dieser Norm geregelten CFP-Studien, sind meist Grundlage für verschiedene Anwendungsbereiche. Dabei wird nur die Wirkungskategorie „Klimawandel“ berücksichtigt. Die CO₂-Verrechnung und die Definition der Kommunikationsregeln hinsichtlich Angaben zum CFP sind nicht Teil dieser Norm. Darüber hinaus bleiben auch sozio-ökonomische Aspekte und die zugehörigen Einflüsse unberücksichtigt. Der Carbon Footprint (CFP) ist definiert als: „Summe der emittierten THG-Mengen und der entzogenen THG-Mengen in einem Produktsystem, angegeben als CO₂-Äquivalente und beruhend auf einer Ökobilanz unter Nutzung der einzigen Wirkungskategorie Klimawandel.“⁶¹.

⁶⁰ Vgl. ÖNORM EN 15804, 2020: S. 7 ff.

⁶¹ Vgl. DIN EN ISO 14067, 2019: S. 15 ff.

Wie bei allen die Betrachtung von Umwelteinflüssen betreffenden Normen, wird auch bei der Ermittlung eines CFP der gesamte Lebenszyklus eines Produkts berücksichtigt – von der Rohstoffgewinnung bis hin zur Anwendung und endgültigen Entsorgung am Ende des Produktlebenszyklus.

2.3 Systemgrenzen und Lebenszyklusphasen gemäß ÖNORM EN 15978⁶²

Gemäß Abbildung 2.4 sind die Lebenszyklusphasen und ihre zugehörigen Informationsmodule lt. ÖNORM EN 15978 wie folgt definiert:

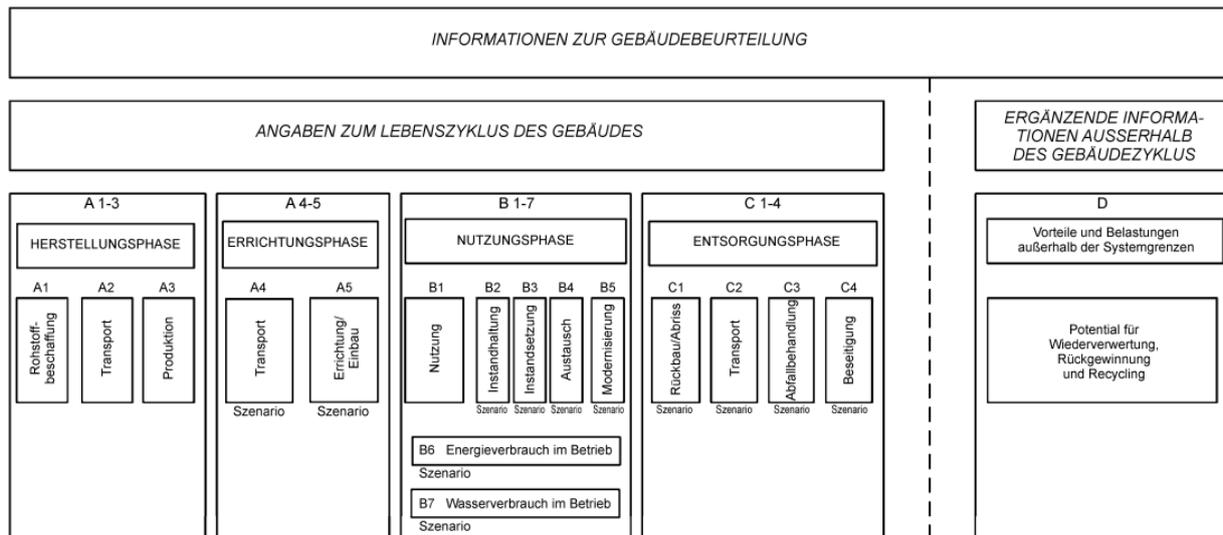


Abbildung 2.4: Informationsmodule der Lebenszyklusphasen eines Gebäudes⁶²

Herstellungsphase

Die Herstellungsphase besteht aus drei Modulen A1-A3 und umfasst folgende Informationen:

- A1: Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen und Sekundärstoffen beispielsweise aus dem Recycling
- A2: Transport der verarbeiteten Roh- und Sekundärstoffe zum Hersteller
- A3: Die Herstellung der Baustoffe und Bauprodukte

Mit inkludiert sind sämtliche Stoffe und Energien, die bei der Produktion bereitgestellt werden und die ganzheitliche Entsorgung bzw. Beseitigung der beim Herstellungsprozess entstehenden Abfälle. Die Systemgrenze der Herstellungsphase ist definiert als „von der Wiege bis zum Verlassen des Werksgeländes“⁶³.

Errichtungsphase

Die Errichtungsphase beinhaltet sämtliche Prozesse der Baustoffe und Bauprodukte ab dem Werkktor bis zum Einbau und zur Fertigstellung des Bauwerkes. Sie besteht aus dem Modul Transport und dem Modul Einbau/Errichtung.

⁶² Vgl. ÖNORM EN 15978, 2011: S. 19-27

⁶³ Vgl. ÖNORM EN 15978, 2011: S. 19

Das Modul A4 beinhaltet den Transport von Bauprodukten und Baustoffen vom Werktor bis zur Baustelle inkl. etwaiger Zwischenlagerungen und der Verteilung, den An- und Abtransport von Baugeräten zum Standort und Berücksichtigung transportbedingter Verluste. Der Personentransport zur Baustelle ist weder Teil dieses noch eines anderen Moduls.

Das Modul A5, welches die Prozesse vor Ort bzw. auf der Baustelle beschreibt, umfasst Folgendes: Erdarbeiten und Außenanlagen, Produktlagerung einschließlich Heizung, Kühlung und Regelung der Luftfeuchtigkeit, Transporte innerhalb der Baustelle jeglicher Art, Behelfsarbeiten die vor Ort stattfinden sowie Behelfsarbeiten, die für den Bau benötigt werden, jedoch nicht vor Ort stattfinden, Herstellung und Umwandlung von Produkten vor Ort, Wärme- und Kälteversorgung, Lüftung und Luftfeuchteregelung während der Bauphase, Produkteinbau inklusive aller Nebenprodukte, die nicht in der EPD der jeweiligen Produkte erfasst sind, Wasserverbrauch auf der Baustelle für die Gerätekühlung und -Reinigung, Erzeugung, Transport und Entsorgungsmanagement von Baustoff- und Produktverlusten während der Einbauphase.

Nutzungsphase

Die Betriebsphase beginnt bei der Fertigstellung des Bauwerkes und endet, wenn das Gebäude vor dem Rückbau bzw. dem Abbruch steht. Umfasst werden unter anderem die Nutzung von Produkten und Dienstleistungen für die Erhaltung, den Betrieb und die Überwachung des Gebäudes bestehend aus z.B. Wärme- und Kälteversorgung, Wasserversorgung, Instandhaltungsarbeiten, Reinigungsarbeiten und Stromversorgung. Die dem Objekt zugehörige Möblierung bzw. Einrichtung ist ebenfalls zu berücksichtigen. Die Nutzungsphase besteht aus sieben Modulen, die im Folgenden grob beschrieben werden.

Das Modul B1 bildet die Auswirkungen ab, die sich aus der eigentlichen Nutzung des Gebäudes bzw. dessen Funktionen ergibt. Als Beispiel dafür nennt die ÖNORM die Stofffreisetzung aus der Gebäudehülle und etwaigen Oberflächen im Außen- und Innenbereich.

Das Modul B2 beschreibt die Instandhaltung und beinhaltet folgende Aspekte:

Herstellung und Transport von Produkten der Instandhaltung, Reinigungsarbeiten für den Innen- und Außenbereich, sämtliche Produkte, Baustoffe und Dienstleistungen die für die Erhaltung der Gebäudesubstanz, der haustechnischen Systeme sowie der optischen Qualitäten des Gebäudes erforderlich sind.

Das Modul B3 besteht aus den Instandsetzungs- und Reparaturprozessen eines Gebäudes und gliedert sich auf in die Herstellung der Gebäudeteile und Produkte im Zuge der Instandsetzung, dem Transport der Gebäudeteile und -Produkte, die instandgesetzt werden müssen unter Berücksichtigung der während des Transports auftretenden Verluste, die Instandsetzungsarbeiten von instandgesetzten Gebäudeteilen und -Produkten, das Abfallmanagement und Entsorgung der ersetzten Gebäudeteile und -Produkte.

Das Modul B4 betrifft den Austausch und besteht aus der Herstellung der Austauschprodukte samt Hilfs- bzw. Zusatzprodukten, dem Transport der Austauschprodukte samt Hilfs- bzw. Zusatzprodukte unter Berücksichtigung der während des Transports auftretenden Verluste, dem

Austauschprozess der entsprechenden Gebäudeteile und -Produkte und dem Abfallmanagement und Entsorgung der ausgetauschten Produkte.

Das Modul B5 umfasst die Modernisierung und wird gegenüber den vorhergehenden Prozessen wie folgt abgegrenzt: Herstellung der neuen Gebäudeteile, Transport der neuen Gebäudeteile unter Berücksichtigung aller Transportverluste, sämtliche Bauprozesse, welche für die Modernisierung der Gebäudeteile erforderlich sind, Abfallmanagement des Modernisierungsprozesses, Entsorgung der ausgemusterten Gebäudeteile. Sofern ein Modernisierungsprozess nicht in einer früheren Bewertung berücksichtigt wurde, ist eine erneute Bewertung durchzuführen. Insbesondere dann, wenn eine grundsätzliche Änderung des Gebäudetyps oder der Gebäudenutzung erfolgt ist.

Das Modul B6 steht für Energieverbrauch im Betrieb und beinhaltet die Energie, die durch gebäudeinterne technische Systeme zur Erfüllung der diversen mit den Nutzungen des Gebäudes in Verbindung stehenden Bedürfnisse verbraucht wird. Dazu gehören: Heizung, Warmwasserbereitung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung, Energiebedarf von Pumpen und Automatisierungsprozessen.

Das Modul B7 umfasst den Wasserverbrauch im Betrieb. Dieses Modul berücksichtigt das gesamte verbrauchte Wasser und seine Behandlung während der Nutzung des Gebäudes samt aller zugehörigen Auswirkungen und Umweltaspekte. Zeitlich gesehen wird der Wasserverbrauch von der Fertigstellung bzw. Übergabe bis zum Abbruch des Gebäudes berücksichtigt. Der Wasserverbrauch beinhaltet folgende Teilbereiche: Trinkwasser, Wasserverbrauch bei Nutzung von Sanitäranlagen, Warmwasserbereitung, Bewässerung der Freiflächen und begrünter Freiflächen, Wasserbedarf der Heiz-, Kühl- und Lüftungssysteme, Sonstiger Wasserverbrauch bei z.B. Schwimmbädern, Saunen etc. Wasserverbrauch von Haushaltsgeräten wie z.B. Geschirrspüler und Waschmaschinen wird nicht berücksichtigt.

Entsorgungsphase

Die Entsorgungsphase beginnt, wenn ein Gebäude geräumt und künftig nicht mehr genutzt wird bzw. genutzt werden kann. Es beginnt der Prozess des Gebäudeabbruchs, bei dem Baustoffe, -materialien und -produkte entsorgt oder recycelt werden. Folgende Umstände erlauben die Schlussfolgerung, dass ein Gebäude sein Lebensende erreicht hat: wenn alle Materialien und Produkte, die es zu entfernen galt, beseitigt wurden und der Gebäudestandort für zukünftige Nutzungen freigemacht und vorbereitet wurde.

Die Entsorgungsphase besteht aus vier Modulen – C1 bis C4. Das Modul C1 befasst sich mit dem Rückbau und beinhaltet sämtliche vor Ort stattfindenden Rückbauprozesse sowie jene Prozesse, die außerhalb des Standortes stattfinden und für den Rückbau notwendig sind bzw. diesem direkt zugewiesen sind. Das Modul C2 beschäftigt sich mit dem Transport im Zusammenhang mit der Entsorgung und umfasst alle in Verbindung stehenden Auswirkungen bis zur Erreichung des Endes des Abfallstatus. Damit werden auch etwaige Zwischenlagerungen und Verarbeitungsschritte bis zur endgültigen Entsorgung mitberücksichtigt. Die Abfallbehandlung an sich, im Sinne der Wiederverwendung, Rückgewinnung und des Recyclings, beschreibt das Modul C3. Die Grenze der Lebenszyklusendphase eines Gebäudes ist dann erreicht, wenn seine rückgebauten Baustoffe,

-materialien und -produkte nicht mehr als Abfall betrachtet werden. Dies ist der Fall, wenn folgende Bedingungen als erfüllt gelten:

- Die Baustoffe, -materialien und -produkte sind wiederverwendbar für den ursprünglichen Zweck oder andere Zwecke.
- Mit dem rückgewonnenen Material kann gewinnbringend gewirtschaftet werden, da eine entsprechende Nachfrage besteht.
- Das rückgewonnene Material entspricht den für die entsprechenden Produkte/Zwecke geltenden Vorschriften und ist technisch einwandfrei.
- Die Wiederverwendung des Materials hat keinerlei schädliche Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit.

Das Modul C4 beinhaltet die zwischen den Phasen des Transports und der Beseitigung notwendigen Behandlungen. Es werden alle Umweltbelastungen aus der endgültigen Materialbeseitigung z.B. in Form von Verbrennung oder Deponierung erfasst. In einigen Fällen der Deponierung kommt es auch nach Ende der Lebenszyklusbetrachtung zu Emissionen. Hierbei wird bei der Bewertung von einem Zeitraum von 100 Jahren ausgegangen. Mit dem Modul D werden umweltbezogene Vorteile erfasst, die sich aus den Wiederverwendungs- und Recyclingprozessen der Entsorgungsphase ergeben.

2.4 Festlegung der Systemgrenzen

Systemgrenzen dienen der Bestimmung von Prozessen, welche bei der Untersuchung und Bewertung berücksichtigt werden. Sie dienen einer klaren und eindeutigen Abgrenzung gegenüber jenen Prozessen, welche den gegenständlichen vor- oder nachgereiht sind bzw. aus sonstigen Gründen nicht berücksichtigt werden. Im Zuge dieser Diplomarbeit beziehen sich die Systemgrenzen auf die Lebenszyklusphasen von Gebäuden bzw. Bauwerken. Der Bewertungsgegenstände sind das Bauwerk und das Grundstück, auf dem es errichtet ist.

Die im Rahmen dieser Arbeit betrachtete Lebenszyklusphase ist die Errichtungsphase bestehend aus den Modulen Transport (A4) und den Prozessen vor Ort (A5). Alle übrigen Prozesse, die der Errichtungsphase vor- oder nachgelagert sind, sind zwar im Zuge einer Ökobilanz und der Berechnung des Carbon-Footprint eines Gebäudes zu berücksichtigen, jedoch werden diese Prozesse bei der gegenständlichen Untersuchung nicht betrachtet. Die Systemgrenze beginnt beim Verlassen des Werktores der Produktions- bzw. Lieferstätte und endet beim Einbau des Produkts bzw. beim Abtransport der im Zuge der Bautätigkeiten entstandenen Abfallstoffe. Die im Zuge der Lebensdauer des Gebäudes aus den Baustoffen emittierenden THG-Emissionen werden der Nutzungsphase zugewiesen.

Die im Zuge dieser Phasen verbrauchte Energie lässt sich grundsätzlich in zwei Kategorien aufteilen: einerseits in den Energieverbrauch in Form des Kraftstoffverbrauchs bei der Nutzung diverser Gerätschaften und Fahrzeuge innerhalb und außerhalb der Baustelle und andererseits in den Energieverbrauch in Form von Strom bei der Nutzung diverser Gerätschaften innerhalb der Baustelle und bei der Versorgung der Baustelleneinrichtung. Für die Abschätzung der CO₂-Emissio-

nen wird hinsichtlich Stromverbrauchs einerseits der Emissionswert des durchschnittliche Österreichische Strommix und dessen Energieaufbringung⁶⁴ herangezogen und andererseits der Emissionswert der Stromaufbringung gemäß ecoinvent⁶⁵ Datenbank verwendet. Für die Abschätzung der CO₂-Emissionen hinsichtlich des Verbrennungsstoffverbrauchs wurde bei allen drei Baustellen Dieselkraftstoff gewählt. Diese Annahme wurden getroffen, da keine Daten bezüglich der tatsächlich verwendeten Kraftstoffarten vorliegen und durch die Verwendung des gleichen Kraftstoffs bei der Berechnung eine Vergleichbarkeit zwischen den Baustellentypen geschaffen wird.

Die Berechnung bei der Abschätzung der CO₂-Emissionen erfolgt über GWP 100a to CO₂-Eq/funktionelle Einheit. Zur Quantifizierung des CO₂-Ausstoßes wird die Datenbank der ecoinvent⁶⁶ verwendet. Über die ecoinvent Datenbank werden die umweltrelevanten Auswirkungen von üblichen Prozessen wie z.B. Transportprozessen mit Unterscheidung von Lastkategorie, Euroklasse und Kraftstoff, bewertet.

Die folgende Abbildung 2.5 dient der Veranschaulichung der zuvor genannten Systemgrenzen und Kategorisierung nach Energieträgern:

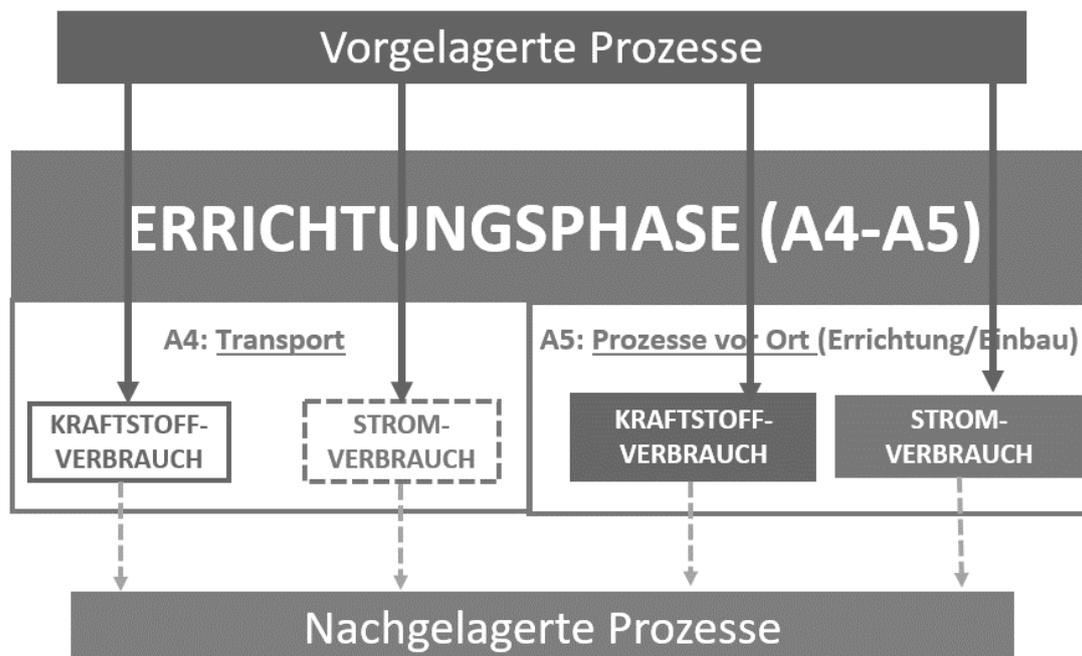


Abbildung 2.5: Systemgrenzen der Errichtungsphase⁶⁷

⁶⁴ Vgl. Kranzl, 2018: S. 13

⁶⁵ Vgl. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part 6): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 15 07 2021].

⁶⁶ Vgl. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 13 03 2021]

⁶⁷ Aus Obernosterer et al. (Studie noch nicht veröffentlicht), 2021

Die Grenzen der Systembetrachtung „Transport“ sollen nun in zwei Beispielen veranschaulicht werden.

Für die Gewerke Elektro und HKLS werden diverse Produkte wie Steckdosen, Waschbecken, Rohrleitungen etc. hergestellt und zu den entsprechenden Lagern der HKLS- und Haustechnikfirmen geliefert. Von dort aus erfolgt der direkte Transport zur Baustelle, wo das Produkt verwendet bzw. eingebaut wird. Der Transport zur Baustelle ist jedenfalls Teil des Systems, ebenso der Transport von der Produktionsstätte zum Firmenlager, welches in diesem Fall ein Zwischenlager darstellt. Die davor stattfindenden Rohstoffbereitstellungs- und Produktionsprozesse werden nicht berücksichtigt.

Der Fensterbauer, der die Produkte auch direkt auf der Baustelle einbaut, bekommt sein Produkt von der Produktionsstätte zugeliefert und verändert bzw. wandelt dieses in seinem Werk um, siehe Abbildung 2.6. Da in diesem Fall eine Produktumwandlung stattfindet, wird lediglich der Transport vom Werk des Fensterbauers zur Baustelle berücksichtigt, nicht jedoch die vorgelagerten Produktions- und Transportprozesse.

Transport (Werkstor bis Baustelle)

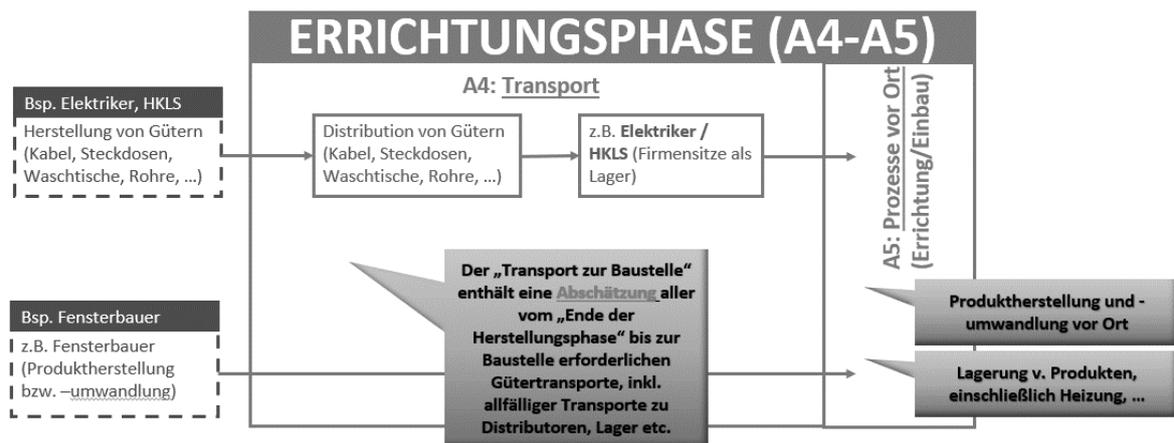


Abbildung 2.6: Veranschaulichung der Systemgrenzen anhand von zwei Beispielen⁶⁸

Es sind grundsätzlich drei Betonproduktions- und Einbauprozesse zu unterscheiden:

Betonproduktion auf der Baustelle über eine ausschließlich dem jeweiligen Bauvorhaben zur Verfügung stehende Betonmischanlage. Im System zu berücksichtigen ist hierbei die Anlieferung und der Abtransport der Betonmischanlage samt aller zugehörigen Geräte und der notwendigen Rohstoffe (Sand, Kies, Zement, chemische Zuschlagstoffe). Theoretisch wären auch die Transporte der Betonproben zum Labor zwecks Qualitätskontrolle und der dabei anfallenden Energieverbräuche zu berücksichtigen, jedoch sind diese im Verhältnis zu den restlichen mit dem Betoneinbau im Zusammenhang stehenden Energieverbräuchen vernachlässigbar klein. Die für die Beschickung der Betonmischanlage erforderliche Strom- und Wasserversorgung sowie der Betoneinbau an sich, mittels Betonpumpen oder Betonkübeln, der Rüttel- bzw. Verdichtungsvorgang und der

⁶⁸ Aus Obernosterer et al. (Studie noch nicht veröffentlicht), 2021

Oberflächenbehandlungsprozess sind im System „Baustelle“ zu berücksichtigen. Je nachdem, ob es sich um Ortbeton- oder Hohlwände handelt, werden entsprechende Schalungsarbeiten benötigt, die ebenso dem Betoneinbauprozess zuzuordnen sind.

Die Betonproduktion erfolgt im Betonmischwerk und der Antransport des flüssigen und pumpfähigen Betons mittels Betonmischer-LKWs. Die Versorgung der Betonmischanlage, der Produktionsprozess selbst sowie der Mischvorgang der LKWs, während der Befüllzeit, sind in dem Fall nicht Teil der Errichtungsphase. Sie sind der Herstellungsphase zuzuordnen. In der Errichtungsphase wird der Transport vom Werkstor zur Baustelle einschließlich des stetigen Mischvorganges der LKWs während der Fahrt und der Entleerung vor Ort berücksichtigt. Die restlichen, mit dem Betoneinbau an sich im Zusammenhang stehenden Prozesse sind analog zur zuvor beschriebenen Betonproduktion auf der Baustelle.

Bei der Fertigteilbauweise erfolgt sowohl die Betonproduktion als auch die Vorproduktion der fertigen Betonbauteile samt aller Schalungs-, Verdichtungs- und Nachbehandlungsprozesse im Werk. Die Versorgung des Fertigteilwerks und die Anlieferung der Rohstoffe ist analog zur Transportbetonbauweise Teil der Herstellungsphase. In der Errichtungsphase zu berücksichtigen sind der Transport der Fertigteile zur Baustelle und die Verhebe- bzw. Versetzarbeiten samt zugehöriger Abstütz- und Ausschalmaßnahmen.

Ein insbesondere bei Hochbauprojekten maßgebender Aspekt ist die Vorfertigung von tragenden Bauteilen. Um die Bauzeit zu beschleunigen und die Produktions- und Logistikkosten auf der Baustelle zu reduzieren, werden bei der Betonbauweise vermehrt vorgefertigte Wände, Decken, Stützen, Träger, Brüstungen und Stiegenläufe in Form von Halb- und/oder Vollfertigteilen eingesetzt.

Transport (Werkstor bis Baustelle)

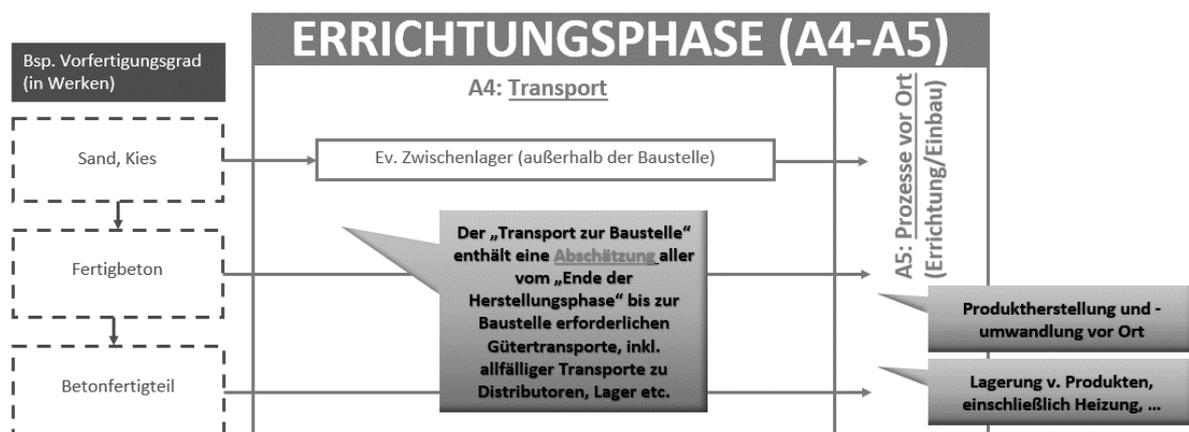


Abbildung 2.7: Arten der Betonvorfertigung in Bezug auf die Systemgrenzen der Errichtungsphase⁶⁹

Aus Abbildung 2.7 geht hervor, dass sich die mit dem Betonproduktions- und -einbauprozessen einhergehenden Emissionen, je nach Produktionsart und Vorfertigungsgrad, von der Phase der

⁶⁹ Aus Obernosterer et al. (Studie noch nicht veröffentlicht), 2021

Herstellung in die Phase der Errichtung verlagern. Würden im Zuge einer CO₂-Bilanz ausschließlich eine der beiden Phasen betrachtet werden, so würden sich beispielsweise bei einem Vollfertigteilanteil von 100 %, die Emissionen in der Errichtungsphase als gering gegenüber der Betonproduktion per Mischanlage vor Ort, darstellen. Dies würde zu einer Verfälschung der Umwelteinwirkungen der Betonbauleistung führen. Daher wird an dieser Stelle nochmals festgehalten, dass für die Erstellung einer aussagekräftigen CO₂-Bilanz bzw. der Ermittlung des Carbon Footprints, unbedingt eine Betrachtung des gesamten Gebäudelebenszyklus von der Herstellung bis zur Entsorgung erforderlich ist – so wie es die entsprechenden einschlägigen nationalen und europäischen Normen vorsehen. Nur durch eine gesamtheitliche Untersuchung lassen sich die Vorteile verschiedener Produktions- bzw. Bauprozesses gegenüber anderen feststellen.

2.5 THG-Emissionen der Herstellungs- und Entsorgungsphase

Es folgt nun ein Überblick über die im Zuge der Herstellungs- und Entsorgungsphase A1-3 bzw. C1-4 entstehenden Emissionen, basierend auf einer Literaturrecherche bereits vorliegender Studien. Der Fokus liegt dabei auf die im Zuge dieser Arbeit definierten Musterbaustellentypen.

Wohnbau

Die im Zuge eines Projekts⁷⁰ aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des BMVIT ermittelten Ergebnisse hinsichtlich der THG-Emissionen (GWP) pro Jahr und m², aufgeteilt nach Lebensphasen, ergaben nach Untersuchung von sieben Wohnbauvorhaben unterschiedlicher Bauweise, Werte zwischen 0,002-0,005 to CO₂-Eq/m²*a für die Herstellungs- und Austauschphase von Wohnhausanlagen. Unter Annahme einer Lebensdauer von 80 Jahren, ergäbe sich ein Kennwert von 0,16-0,4 to CO₂-Eq/m² BGF. Die im Zuge eines Projekts⁷¹ aus dem Programm Forschungskoooperation internationale Energieagentur des BMVIT ausgewerteten 42 internationalen *case studies* betreffend Hochbauten mit Primärkonstruktionen aus Beton, Stahl und Ziegel, ergaben hinsichtlich der THG-Emissionen von der Wiege bis zum Werkstor (A1-A3) eine durchschnittliche THG-Emissionsmenge von ca. 0,25 to CO₂-Eq/m² BGF.

Für die Entsorgungsphase wurden im Zuge des zuvor genannten Projekts⁷² Werte zwischen 0,0005-0,002 to CO₂-Eq/m²*a dokumentiert. Unter Annahme einer Lebensdauer von 80 Jahren, ergäbe sich für die Entsorgungsphase ein Kennwert von 0,04-0,16 to CO₂-Eq/m² BGF.

Asphaltbau

Das Ökopprofil für Asphalt- und Betonbauweisen von Fahrbanen der Hochschule Biberach⁷³ ergab für die Herstellungsphase, zu welcher die Rohstoffgewinnung, Bitumenherstellung, Asphaltherstellung und die zugehörigen Materialtransporte zählen, eine CO₂ Menge von ca. 0,034 to CO₂-Eq/t. Weiters schätzt das Ökopprofil der Hochschule Biberach die CO₂-Emissionen während der Herstellungsphase einer Asphaltfahrbahn ohne Berücksichtigung der Transporte zwischen As-

⁷⁰ Vgl. Mair am Tinkhof et al., 2017: S. 48-49

⁷¹ Vgl. Passer, Kreiner, Röck, 2018: S. 54-57

⁷² Vgl. Mair am Tinkhof et al., 2017: S. 48-49

⁷³ Vgl. Holldorb, Mayer, 2009: S. 26 ff.

phaltmischanlage und Baustelle auf ca. 0,75 to CO₂-Eq/t. Die für das Ökopprofil verwendete Datengrundlage ist teilweise veraltet und es wurden Angaben verschiedener Herkunft verwendet. Gewisse entscheidende Einflussgrößen wie z.B. der Rollwiderstand blieben völlig unberücksichtigt. Dies lässt vermuten, dass die Daten hinsichtlich des Energiebedarfs und der THG-Emissionen nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen und tendenziell zu niedrig angesetzt sind.

Die mithilfe des „RAP-Tool“⁷⁴ der TU Wien abgeschätzten THG-Emissionen der Rohstoffgewinnung, Bitumenherstellung, Asphaltherstellung und der zugehörigen Materialtransporte, ergaben je nach Recyclinganteil, Mischgutzusammensetzung und Transportweg eine CO₂-Menge von 0,040-0,045 to CO₂-Eq/t.

Die genaue Definition der Systemgrenzen der Herstellungsphase der beiden referenzierten THG-Bilanzen ist nicht bekannt. Der Lebenszyklus von Asphaltfahrbahnen erfordert grundsätzlich einen einmaligen Austausch von Deck- und Binderschichten sowie einen zweimaligen Austausch der Deckschicht mittels Fräsen, Abtrag und Einbau.⁷⁵ Auf die in den späteren Lebensphasen anfallenden Erneuerungs-, Abbruchs- und Verwertungsmaßnahmen und die damit verbundenen THG-Emissionen wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen.

Wohnbausanierung

Die thermische Sanierung eines Gebäudes ist grundsätzlich gemäß der Definition der Lebenszyklusphasen nach ÖNORM EN 15978, den Modulen B5 und B6 – Austausch und Modernisierung – der Nutzungsphase zuzuordnen. Im Rahmen dieser Arbeit werden in Anlehnung an die Errichtungsphase im Zuge des Austauschs und der Modernisierung stattfindenden Prozesse vor Ort und Transporte untersucht. Als Vergleichswerte für die Emissionen der Herstellungs- und Entsorgungsphase gelten dieselben Werte wie für die den Neubau und damit 0,16-0,4 to CO₂-Eq/m² BGF für die Herstellungsphase und 0,04-0,16 to CO₂-Eq/m² BGF für die Entsorgungsphase.⁷⁶

⁷⁴ Vgl. Gruber, 2021

⁷⁵ Vgl. Holldorb, Mayer, 2009: S. 18

⁷⁶ Vgl. Mair am Tinkhof et al., 2017: S. 48-49

3 THG-Emissionen in der Errichtungsphase – Untersuchung von Musterbaustellen

Um einerseits das breite Spektrum an unterschiedlichen Baustellen und die dabei eingesetzten Bauverfahren und Baugeräte abzudecken und andererseits einen Fokus auf die am häufigsten vorkommenden Arten von Bauvorhaben zu legen, wurden folgende Baustellentypen ausgesucht:

- Neubau eines städtischen Wohngebäudes
- Thermische Sanierung eines bestehenden Wohngebäudes
- Neubau eines Asphaltstraßenabschnittes; urbaner Straßenbau

Während der Errichtungsphase anfallende CO₂-Emissionen sind grundsätzlich zwei Bereichen zuzuordnen – dem Baustellentransport und dem Energieverbrauch im Zuge der vor Ort stattfindenden Prozesse. Daher sind diesbezügliche Daten für die weitere Untersuchung und Ermittlung der CO₂-Emissionen unabdingbar.

Es sind jedoch, je nach Typ der Baustelle, gewisse Daten leichter und andere schwieriger auszuheben. Beispielsweise sind bei einer Asphalteinbaubaustelle entsprechende Informationen betreffend den Transport leichter zu ermitteln, da es grundsätzlich nur ein Produkt ist, welches für das mit Abstand größte Transportaufkommen verantwortlich ist und dieses meist durch eine oder zwei Asphaltmischanlagen zur Verfügung gestellt wird, deren Standort eine wichtige Rolle bei der Planung des Bauablaufes spielt. Bei einem Wohnbau hingegen ist es eine Vielzahl an Produkten, Baustoffen und Abfällen, die von unterschiedlichen Lieferanten und Produktionsstätten von und/oder zur Baustelle transportiert werden. Dabei werden Daten betreffend Transportwege, Beladungsgrad und Fahrzeugtyp seitens der Bauunternehmen nicht gesammelt, denn sie sind grundsätzlich nicht von Interesse, sondern vielmehr die Kosten, Qualität und terminliche Zuverlässigkeit ihrer Lieferanten.

Derart auftretende Datenlücken werden im Zuge dieser Arbeit durch eine qualifizierte Abschätzung, basierend auf gemessenen Daten anderer Bauvorhaben oder Literaturwerten geschlossen. Aus realen, bereits abgewickelten Projekten werden durch Ergänzung von für diese Baustellenkategorie typischen abgeschätzten Werten, fiktive, jedoch weiterhin praxisbezogene Bauprojekte. Letztendlich ist es das Ziel dieser Arbeit, die den unterschiedlichen Baustellentypen, Bauprozessen, Baugeräten und sonstigen Umständen zuzuschreibenden CO₂-Emissionen Größenordnungsmäßig zu erfassen und ein Verständnis für den Umwelteinfluss dieser baustellenspezifischen Aspekte zu entwickeln.

Die Daten, die im weiteren Verlauf dieser Arbeit ausgewertet werden, wurden dankenswerterweise von österreichischen Bauunternehmen zur Verfügung gestellt und werden durch den Verfasser anonymisiert übernommen.

Je nach Baustellentyp sind folgende Unterlagen bzw. Baustellendaten zur Ermittlung der CO₂-Emissionen erforderlich:

- Leistungsverzeichnis bzw. Massenaufstellung
- Baustelleneinrichtungsplan
- Geräteeinsatzplan
- Bautagesberichte (für Auswertung im Nachhinein)
- Messdaten bzw. Abrechnung Baustromzähler (für Auswertung im Nachhinein)
- Leistungsaufstellung und Anschlusswerte der elektrisch betriebenen Geräte
- Bauzeitplan
- Standorte Deponien und Produktionsstätten: Asphaltmischanlage, Betonmischanlage, Fertigteilwerk, Bewehrungsproduktion

3.1 Baustelle „Neubau eines städtischen Wohngebäudes“

Die Wohnhausanlage verfügt über 192 Wohnungen und eine vermietbare Gewerbefläche im Erdgeschoss. Die Wohnungen werden über zwei Treppenhäuser erschlossen, deren Zugänge sich an zwei unterschiedlichen Straßen befinden. Der Baukörper erstreckt sich entlang einer wichtigen Wiener Verkehrsader mit sieben Obergeschoßen und einem Dachgeschoß. Im Bereich des Innenhofes besitzt der Baukörper sechs Geschoße und ein Dachgeschoß. In diesem Bereich befindet sich im Erdgeschoss eine Waschküche und ein Gemeinschaftsraum mit Zugang zum Hofbereich, wo sich ein getrennter Kleinkinder- und Jugendspielplatz befindet. Die Zufahrt in die zweigeschoßige Tiefgarage befindet sich an der östlichen Seite des Grundstückes.

Eckdaten:

- Wohnungsanzahl: 192 Wohnungen, 1 Lokal
- KFZ-Stellplätze: 145
- Fahrrad-Stellplätze: 296
- Bebaute Fläche: ca. 1.950,0 m²
- Bruttogeschossfläche: ca. 17.000 m²
- Wohnnutzfläche: ca. 9.000 m²
- Konstruktion: Stahlbeton, Massivbauweise mit Wärmedämmverbundsystem, Innenausbau in Leichtbauweise mit Gipskartonwänden
- Massivbauweise: Ortbeton- und Fertigteilbauweise
- Fundierung: Flachfundierung (Bodenplatte)
- Baugrubensicherung: Bereichsweise Spundwände
- Ausstattung: Bad, WC und Küche eingerichtet.

- Wärmeversorgung: Fernwärme
- Regenwasserentsorgung: teilweise Einleitung in öffentlichen Kanal und teilweise Versickerung des Regenwassers

Daten, die mit geringem bis moderaten Aufwand zur Verfügung gestellt bzw. ausgehoben werden konnten:

- Baustoff- und Materialmengen (m^2 , m^3 , lfm, to)
- Bauzeitplan bzw. Bauablaufkonzept
- Anzahl und Art der Großgeräte aus dem Baustelleneinrichtungsplan und den Bautagesberichten
- Monatlicher Stromverbrauch der Baustelle
- Kraftstoffverbrauch innerhalb der Baustelle

Daten, die nicht ausgehoben werden konnten bzw. nicht zur Verfügung standen:

- Transporte zur und von der Baustelle: Anzahl der Transporteinheiten, Art bzw. Kategorie des Transportmittels, Transportdistanzen, Beladungsgrad und Leerfahrten.
- Detaillierte Zuweisung der Energieverbräuche zu den einzelnen Bauverfahren, -Geräten und -Prozessen der Baustoffverarbeitung
- Anzahl und Art der Kleingeräte
- Abfall- und Recyclingaufkommen auf der Baustelle

Die Systeminputs sind in diesem Fall der Transport von Baumaterialien, Hilfsstoffen und Baugeräten sowie die Zurverfügungstellung von Energie in Form von Strom und Verbrennungskraftstoff. Die Systemprozesse beinhalten den Einbau und die Verarbeitung von Material unter Verwendung von Bauhilfsstoffen, Baugeräten, Arbeitskräften, Transporten innerhalb der Baustelle und der laufenden Versorgung der Baustelle unter Verwendung von Strom, Kraftstoff und Wasser. Die Systemoutputs sind in diesem Fall das nutzungsfertige Bauwerk und die während der Bautätigkeiten anfallenden und zu entsorgenden Materialverluste, Verpackungen, Baurestmassen, Altlasten, Abwässer, Holzabfälle, Metallabfälle und sonstigen Abfälle.

3.1.1 Umweltrelevante Baustelleneinrichtung und Bauprozesse

Baustellencontainer

Insbesondere bei Bauvorhaben, bei denen eine große Anzahl an angestelltem und gewerblichem Personal zum Einsatz kommt – und das ist bei großvolumigen Geschoßwohnbauten der Fall – wird zwecks Versorgung und Unterbringung der Arbeitskräfte auf Baucontainer zurückgegriffen. Je nach Containeranlage bzw. -größe dauert der Aufbau zwischen 1-2 Wochen. Die Ausstattung und Anordnung der Container sind flexibel und frei wählbar. Es gibt unterschiedliche Größen von Containern, wobei die Höhe und Breite meist gleichbleiben und die Container einzig in ihrer Länge

variieren. Die Standard-Containergröße beträgt 6,055 m x 2,435 m (L x B). Hinsichtlich der Baustellenräumlichkeiten gelten in Österreich folgende Vorschriften:⁷⁷

- ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (AschG)
- Bauarbeiterschutzverordnung (BauV)
- Arbeitsstättenverordnung (AstV)

Für Aufenthaltscontainer gelten folgende Mindestanforderungen:⁷⁸

- Lichte Mindesthöhe: 2,20 m
- Raumtemperatur in der kalten Jahreszeit: min. 21 Grad Celsius, Windfang am Eingang
- Verfügbare Bodenfläche pro Person: 0,75 m² bzw. 1,0 m² bei Raumhöhen bis 2,30 m
- Mindestens ein Sitzplatz und Spind pro Person
- Eine Kochnische muss vorhanden sein

Für den Toilettengang und die persönliche Hygiene sind entsprechende Sanitärcontainer vorzusehen. Je 20 männliche bzw. je 15 weibliche ArbeitnehmerInnen ist jeweils eine Toilette und eine Waschgelegenheit vorzusehen. Ab zehn ArbeitnehmerInnen ist eine Dusche vorzusehen. Für die Unterbringung von Baustellenangestellten sind Baubüros vorzusehen, welche entsprechend als Arbeitsplätze einzurichten sind. Als Richtwert für die Abschätzung der Bürocontaineranzahl und -Größe können 6-8 m² pro Angestellten angenommen werden. Containermagazine sind zur Lagerung von Baugeräten, Schutzausrüstungen, Werkzeugen und Bauhilfsstoffen erforderlich. Für die Erstversorgung der ArbeitnehmerInnen im Fall von medizinischen Notfällen bzw. Verletzung ist des Weiteren ein entsprechender Erste-Hilfe Container vorzusehen.⁷⁹

An dieser Stelle folgt eine Auflistung der Anzahl und Art der im Zuge der Musterbaustelle 1 eingesetzten Baustellencontainer gemäß Baustelleeinrichtungsplan sowie eine Annahme der jeweiligen Containerausstattung.

Mannschaftscontainer/Aufenthaltscontainer, Anzahl: 2

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200
Elektrische Heizung	3.000
Klimagerät	2.000

⁷⁷ Vgl. Goger, Urban, Chylik, 2019: S. 175

⁷⁸ Vgl. Bauarbeiterschutzverordnung §36, 2017

⁷⁹ Vgl. Goger, Urban, Chylik, 2019: S. 175

Bürocontainer, Anzahl: 3

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200
Elektrische Heizung	3.000
Klimagerät	2.000
EDV Equipment	1.000

Sanitärcontainer, Anzahl:1

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200
Elektrische Heizung	3.000

Besprechungscontainer, Anzahl: 2

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200
Elektrische Heizung	3.000
Klimagerät	2.000

Küchencontainer, Anzahl: 1

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200
Elektrische Heizung	3.000
Klimagerät	2.000
Küchengeräte	400

Erste-Hilfe-Container, Anzahl: 1

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200
Elektrische Heizung	3.000

Magazincontainer, Anzahl: 4

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200

Die Energieversorgung der Baustellencontainer erfolgt über einen Stromanschluss, welcher über den zentralen Baustromzähler der Baustelle erfasst wird. Eine Differenzierung bzw. Einzelerfassung des Energieverbrauchs der Baustellenunterkünfte ist bei gegenständlichem Bauvorhaben

daher nicht möglich und muss abgeschätzt werden. Anhand der aufgelisteten Ausstattung der einzelnen Container ist bereits zu erkennen, dass die Heizung und Kühlung den mit Abstand größten Verbraucher bzw. energetischen Hebel darstellen. Die Faktoren: Jahreszeiten bzw. Temperaturen, Bauzeit, das individuelle Nutzerverhalten und die thermischen Eigenschaften der Baucontainer haben demnach großen Einfluss auf den Stromverbrauch der Baustellenunterkünfte.

Dem zur Verfügung gestellten Baustelleneinrichtungsplan können Informationen über die eingesetzten Baustellencontainer entnommen werden. Diese wurden zur Gänze mit Strom versorgt. Über den Bauzeitplan lässt sich rückschließen, wie lange und über wie viele Sommer- und Wintermonate die Container genutzt wurden. Basierend auf diesen Informationen wurden weiterführende Abschätzung durchgeführt.

Für die Beleuchtung der Container, wurde für die Monate Oktober bis April eine Beleuchtungsdauer angenommen, wobei in den Wintermonaten von einer ganztägigen und in den Herbstmonaten von einer halbtägigen Beleuchtungsnutzung ausgegangen wird. In Summe ergibt sich über die gesamte Bauzeit eine Einsatzdauer von ca. 25.800 Stunden und ein Verbrauch von 5.160 kWh. Für die EDV/IT-Geräte in den Baubüros wird von einer ganztägigen Nutzung über die gesamte Bauzeit ausgegangen, was in Summe eine Nutzungsdauer von ca. 11.794 Stunden und einen Verbrauch von 9.435 kWh ergibt. Hinsichtlich der Küchengerätschaften wird angenommen, dass diese durchschnittlich 2,5 Stunden pro Tag über die gesamte Bauzeit von 24 Monaten im Einsatz sind. Dies ergibt eine Gesamteinsatzdauer von ca. 1.210 Stunden und einen Verbrauch von ca. 605 kWh.

Hinsichtlich des Energieverbrauchs der Heizung stellt sich die größte Schwankungsbreite dar. Je nach Nutzungsverhalten, klimatischen Bedingungen und Jahreszeiten fällt der Heizbedarf unterschiedlich aus. Laut Auskunft mehrerer Bauleiter eines österreichischen Bauunternehmens, werden in manchen Fällen in den Wintermonaten die Heizkörper auch nach Verlassen der Container über Nacht weiterbetrieben, was sehr große Auswirkungen auf den Stromverbrauch in diesen Monaten hat. Bei der Abschätzung der Heizdauer im Zuge der Sachbilanz wurde vom Worstcase-Szenario ausgegangen und eine Heizdauer von 24 Stunden in den Monaten Dezember bis Februar angenommen. Für die Monate November und März wird davon ausgegangen, dass die Heizung nach Beendigung des Arbeitstages abgedreht wird und somit zehn Heizstunden pro Tag anfallen. Für die Monate Oktober und April wird eine Heizdauer von sechs Stunden pro Tag angenommen. Es wird davon ausgegangen, dass die Magazin- und Erste-Hilfe-Container grundsätzlich nicht beheizt werden. Dies ergibt in Summe eine Einsatzdauer der Baucontainerheizung von ca. 33.300 Stunden und einen Gesamtverbrauch von ca. 100.000 kWh über die gesamte Bauzeit.

Ähnlich wie bei der Heizung ist die Schwankungsbreite des Kühlenergiebedarfs ebenso groß, wobei der Fall der durchgehend über Nacht laufenden Kühlung eher auszuschließen ist. Es wird angenommen, dass die Magazin-, Erste-Hilfe- und Sanitärcontainer grundsätzlich keine Kühlung besitzen. Im Hinblick auf das Nutzerverhalten wird angenommen, dass die Klimageräte in den Monaten Juli und August sieben und im Juni fünf Stunden täglich in Betrieb sind. Damit ergibt sich eine Einsatzdauer von 6.400 Stunden und ein Verbrauch von 12.800 kWh über die gesamte Bauzeit.

Unter Berücksichtigung des entsprechenden Emissionsfaktors ergibt die Wirkungsabschätzung in der Sachbilanz die in Abbildung 3.1 dargestellte Gesamtmenge an THG-Emissionen:

		Sachbilanz 0			Ergebnis SB 0			Wirkungsabschätzung			Ergebnis WA 0
	Prozesse		Energieträger	Einsatzdauer	Verbrauch/Einsatzdauer	Verbrauch 0			Emissionsfaktor	Einheit des Emissionsfaktors	THG-Emissionen [kg CO ₂ -Eq]
	Geräte	Aufgabe / Funktion	[Einheit]	[h]	[Einheit/h]	[Einheit]	[MJ]	[kWh]			
6. Heizung, Kühlung, Belüftung usw. während der Bauphase	Baucontainer	Beleuchtung	Strom [kWh]	25800	0,2	5160	18576	5160			
	Baucontainer	EDV/IT	Strom [kWh]	11793,6	0,8	9434,88	33965,568	9434,88			
	Baucontainer	Küchengeräte	Strom [kWh]	1209,6	0,5	604,8	2177,28	604,8			
	Baucontainer	Heizung	Strom [kWh]	33300	3	99900	359640	99900			
	Baucontainer	Kühlung	Strom [kWh]	6400	2	12800	46080	12800			
	Zwischensumme Energieträger Strom, Prozess 6						160054,9	576.198	160.055	0,3391	kg CO ₂ -Eq/kWh
Zwischensumme Prozesse 6							576.198	160.055			54.275

Abbildung 3.1: THG-Emissionen zufolge Stromversorgung Baucontainer

Der in der Wirkungsabschätzung der Musterbaustelle 1 verwendete Emissionsfaktor entspricht jenem der ecoinvent⁸⁰ Datenbank, wie bereits in Kapitel 2.2.2 beschrieben und in Tabelle 1 dargestellt.

Baustrom⁸¹

Bei der überwiegenden Mehrheit der Baustellen wird der Strom über das öffentliche Stromnetz bezogen. Die Baustellen geben dem jeweiligen Stromversorger bzw. dem Strominfrastrukturbetreiber hierzu die benötigte Anschlussleistung bekannt. Die Baustelle wird dabei über einen Baustromverteiler angeschlossen, in welchem seitens Netzbetreiber zwecks Abrechnung ein Stromzähler eingebaut wird. In Sonderfällen wird auf Baustellen eine Notstromversorgung vorgesehen, da eine Unterbrechung der Stromversorgung zu Schäden führen könnte (z.B. Kühlung oder Feuchtigkeitsregulierung von empfindlichem Baumaterial). Bei der Bestimmung der benötigten Anschlussleistung einer Baustelle ist nicht davon auszugehen, dass alle einzelnen Geräte gleichzeitig im Einsatz sind und somit die benötigte Gesamtmenge an Strom kleiner als die Summe der Leistungsaufnahmen der Einzelgeräte ist. Zu diesem Zweck wird ein Gleichzeitigkeitsfaktor angenommen, um die tatsächlich benötigte Strommenge zu bestimmen. Entsprechende Richtwerte für Gleichzeitigkeitsfaktoren je nach elektrischen Anlagen finden sich beispielsweise in den Ausführungsbestimmungen der Oberösterreichischen Verteilnetzbetreiber wieder.⁸² Baugeräte und sonstige Baustelleneinrichtung darf nicht über die bestehende Gebäudeinstallation versorgt werden, sondern über einen eigens dafür vorgesehenen Speisepunkt in Form eines Anschlussverteilerschranks, welcher bereits einen Stromzähler besitzt. Bei der Herstellung des Baustromanschlusses ist die EN 60439 Teil 4 „Besondere Anforderungen an Baustromverteiler“ einzuhalten.

⁸⁰ Vgl. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part 6): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 15 07 2021].

⁸¹ Vgl. Goger, Urban, Chylik, 2019: S. 250

⁸² Vgl. Netz Oberösterreich (online), 2019

Beleuchtung⁸³

Die grundsätzliche Anforderung an Baustellenbeleuchtung lautet, dass Verkehrswege und Arbeitsplätze ausreichend beleuchtet werden und die Beleuchtung an die gegebenen Bedingungen und Bauabläufe angepasst werden muss. Je nach Art der Baustelle werden mittlere Beleuchtungsstärken vorgegeben, wobei je nach Tätigkeit zusätzliche bzw. erhöhte Anforderungen an die Beleuchtungsstärke möglich sind.

Gemäß der deutschen Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft sind folgende zu erreichenden Werte im Hinblick auf die Beleuchtungsstärke für einzelne Tätigkeiten in Tabelle 3 aufgelistet⁸⁴:

Tabelle 3: Beleuchtungsstärken für Allgemeinbeleuchtung für bestimmte Tätigkeiten

Tätigkeiten	Wartungswert der horizontalen Beleuchtungsstärke
Arbeiten an Holzbearbeitungsmaschinen	500 Lux
Grobe Montagearbeiten, z.B. Erdarbeiten, Hilfs- u. Lagerarbeiten	50 Lux
Mittelfeine Montagearbeiten, z.B. Maurer-, Schal-, Installationsarbeiten	100 Lux
Feine Montagearbeiten, z.B. anspruchsvolle Montagen, Oberflächenbehandlungen	200 Lux

Die Baustellenbeleuchtung kann je nach Einsatzort und Anforderungen in vier Kategorien unterteilt werden:⁸⁵

- Innenbeleuchtung von Baustellenunterkünften bzw. -containern
- Außenliegende Allgemeinbeleuchtung von Verkehrswegen und Baustelleninfrastruktur (15 – 30 Lux)
- Mobile und stationäre Beleuchtung von Arbeitsbereichen im Freien (100-500 Lux)
- Sicherheitsbeleuchtung, z.B. Straßenbeleuchtung im Bereich der Baustelle (10-20 Lux)

Für die Ermittlung der Einsatzdauer der Beleuchtung und des damit verbundenen Energieverbrauchs müssen die sogenannten Dunkelstunden berücksichtigt werden. Dabei handelt es sich um jene Stunden, in denen während der Normalarbeitszeit eine künstliche Beleuchtung notwendig ist. Sofern Überstunden oder ein Mehrschichtbetrieb vorgesehen sind, sind diese ebenfalls zu berücksichtigen. Bereiche mit erhöhtem Gefahrenpotenzial wie z.B. Kreuzungen müssen entweder durch anderen Lichtfarben oder mit einer doppelten Beleuchtungsstärke gegenüber den umgebenden Bereichen beleuchtet werden.⁸⁶

⁸³ Vgl. Goger, Urban, Chylik, 2019: S. 261

⁸⁴ Vgl. BG BAU, 2008, Merkheft A 199

⁸⁵ Vgl. Goger, Urban, Chylik, 2019: S. 175

⁸⁶ Vgl. Drees und Reiff, 1994: Kapitel 5.2

Für die Beleuchtung von Außenbereichen werden auf Baustellen hauptsächlich Scheinwerfer mit Rundreflektoren oder rechteckige Rinnenspiegel eingesetzt. Bei großen Abständen mit punktförmigem Ziel kommen sogenannte Spot-Scheinwerfer mit engstrahlendem Lichtkegel zum Einsatz. Bei Abständen unter 30 m und flächenhaftem Ziel kommen weitstrahlende Scheinwerfer zum Einsatz. Bei Scheinwerfern wird zwischen der Rand- und Axialbeleuchtung unterschieden.⁸⁷ Bei der Randbeleuchtung werden die Scheinwerfer am Rand der zu beleuchtenden Fläche positioniert. Bei ausgedehnten Baustellen eignet sich die Axialbeleuchtung, bei welcher sich die Scheinwerfer meist in der Mittelachse des Baugeländes befinden.⁸⁸

Zur Ermittlung der erforderlichen mittleren Beleuchtungsstärke in einem Raum oder einem Arbeitsbereich und der damit verbundenen Anzahl und Art der Beleuchtungskörper, wird das Wirkungsgradverfahren eingesetzt. Dabei wird die Beleuchtungsstärke beeinflusst von der Art und Anzahl der Leuchtkörper, der Raumgeometrie und den Reflexionsverhältnissen, dem Betriebswirkungsgrad der Leuchten abhängig von der Umgebungstemperatur und dem Alterungs- und Verschmutzungsgrad der Lampen.⁸⁸

Da für den Neubau des städtischen Wohngebäudes ausgenommen der Innenbeleuchtung der Baucontainer keine genauen Daten über die eingesetzte Baustellenbeleuchtung vorliegen, wurde basierend auf der bebauten Fläche und den Baustellenverkehrswegen eine entsprechende Abschätzung durchgeführt, siehe Tabelle 4.

Tabelle 4: Übersicht Baustellenbeleuchtung städtischer Wohnbau

Art der Beleuchtung	Zweck	Anzahl	Anschlussleistung gesamt [Watt]
Baustellenscheinwerfer	Allgemeine Beleuchtung von Verkehrswegen	6	400
Baustrahler	Beleuchtung von Arbeitsbereichen	10	800
Innenbeleuchtung Baucontainer	Innenraumbeleuchtung von Unterkünften	13	200

Über die Auswertung der Tagesstunden⁸⁹ über die Bauzeit von 24 Monaten ergibt sich eine durchschnittliche Einsatzzeit von 1,9 Stunden pro Tag. Die Innenbeleuchtung der Container wird in der nachfolgenden Berechnung nicht berücksichtigt. Diese ist bereits in der Verbrauchsermittlung der Baustellencontainer inkludiert.

In Summe ergibt die Abschätzung eine Einsatzdauer von 9.576 Stunden für die der Beleuchtung von Arbeitsbereichen dienenden Baustrahler und 5.746 Stunden für die allgemeinen Baustellenscheinwerfer. Die Wirkungsabschätzung ergibt für die Baustellenbeleuchtung eine THG-Emissionsmenge von ca. 3,4 to CO₂-Eq.

⁸⁷ Vgl. Goger, Urban, Chylik, 2019: S. 175

⁸⁸ Vgl. Goger, Urban, Chylik, 2019: S. 263

⁸⁹ Vgl. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (online), 2021

Baukrane

Baukrane gehören zur Gruppe der Hebezeuge und zählen neben Baggern, Rammgeräten, Drohböhrgeräten und Betonpumpen zu den größten und energieaufwändigsten Geräten auf einer Baustelle im Hochbau. Eine effiziente Einsatzplanung ist von größter Wichtigkeit, da Baukrane einerseits sehr kostenintensiv und andererseits maßgeblich für den Baufortschritt, während der Rohbauphase und damit für die Bauzeit verantwortlich sind.

Ein sehr häufig anzutreffender Baukran ist der Turmdrehkran. Die Turmdrehkrane werden wiederum in verschiedene Bauarten unterteilt. Dazu gehören Turmdrehkrane mit Verstell-, Laufkatzen-, Knick- bzw. Universalausleger, mit Mast- oder Kletterturm, oben oder unten drehende und stationäre oder verfahrbare Turmdrehkrane. Ein Turmdrehkran besteht aus einem Kranturm mit Drehwerk und Fahrerkabine, einem Ausleger mit Laufkatze und Hebezeug sowie einem Gegenausleger mit Gegengewicht. Ein Turmdrehkran ist ein Vorhalte- und kein Leistungsgerät und sein Einsatzfaktor beträgt auf Baustellen mit Betonierarbeiten bis zu 50 %. Dabei entfallen 20 % auf das Betonieren, 15 % auf Mauerarbeiten, 10 % auf Schalungs- und Bewehrungsarbeiten, 5 % auf Sonstiges und die restlichen 50 % auf Wartezeiten.⁹⁰ Es existieren mehrere Verfahren zur Bemessung der Krane und Ermittlung der erforderlichen Krananzahl. Dabei kann wie folgt vorgegangen werden:

- Ermittlung der Krananzahl über die Spielzeiten
- Ermittlung der Krananzahl über die Beschäftigtenkennzahlen
- Ermittlung der Krananzahl über das Gebäudevolumen und die Baustoffmengen
- Ermittlung der Krananzahl über den Umsatz
- Ermittlung der Krananzahl über die Kranzeiten für die maßgebenden Verrichtungen
- Ermittlung der Krananzahl mit Hilfe von Warteschlangenmodellen

Die Ermittlungsverfahren über die Spielzeiten und die Beschäftigtenkennzahlen haben sich in der Praxis am besten bewährt. Die laut Baustelleneinrichtungsplan beim städtischen Wohnbau eingesetzten Turmdrehkrane sind in Tabelle 5 aufgegliedert.

Tabelle 5: Turmdrehkrane der Musterbaustelle 3

Kran	Nennlastmoment [tm]	Höhe [m]	Max. Ausladung [m]	Tragfähigkeit bei max. Ausladung [t]
Turmdrehkran 1	294,00	52,60	60,00	4,90
Turmdrehkran 2	205,00	44,50	45,00	4,55

Die Einsatzdauer des Krans 1 beträgt 12 Monate und die des Krans 2 beträgt 10 Monate. Die Baukrane werden mit Strom versorgt und über eine 5-polige 32A CEE-Steckdose am Baustromverteiler angeschlossen. Das bedeutet, dass die Krane mit den restlichen Baustellengeräten und der

⁹⁰ Vgl. Goger, Urban, Chylik, 2019: S. 236

Baustelleneinrichtung an einem Stromverteiler hängen und eine separate Zählung des Kranstromverbrauchs nicht erfolgt. Der größte Anteil des Stromverbrauches ist dem Hubwerk zuzuweisen, welches die Hauptfunktion des Turmdrehkranes übernimmt. Die Motorleistung des Hubwerks beträgt im Fall des Krans 1 40 kW. Weiters besitzen das Drehwerk und das Katzfahrwerk, welches für die Bewegung der Hebevorrichtung entlang des Auslegers verantwortlich ist, einen eigenen Antrieb mit jeweils 10 kW und 7,5 kW. In den Wintermonaten kommt zusätzlich eine Heizung in der Fahrerkabine zum Einsatz, deren Leistung mit ca. 2 kW geschätzt werden kann.

Die Gesamtmotorleistung von Kran 2 beträgt demnach inkl. Kabinenheizung 59,5 kW. Unter Berücksichtigung eines Motorgleichlaufkoeffizienten von 0,8⁹¹ und einer Wochenarbeitszeit von 39 Stunden ergibt sich:

$$59,5 \text{ kW} * 0,8 \text{ (Gleichlaufkoeffizient)} * 39 \text{ h/Woche} = 1.856 \text{ kWh/Woche}$$

Wie oben beschrieben beträgt der Einsatzfaktor eines Baukrans maximal 50 %. Damit ergibt sich für Kran 1 ein maximaler monatlicher Verbrauch von:

$$1.856 \frac{\text{kWh}}{\text{Woche}} * 0,5 \text{ (Einsatzfaktor)} * 4,2 \left(\frac{\text{Wochen}}{\text{Monat}} \right) = 3.898 \text{ kWh}$$

Analog erfolgt die Berechnung bei Kran 1. Dessen einzelne Motorleistungen betragen:

- Hubwerk: 30 kW
- Drehwerk: 10 kW
- Katzfahrwerk: 6,5 kW
- Kabinenheizung: 2 kW

Der monatliche Maximalverbrauch ergibt sich somit zu:

$$49 \text{ kW} * 0,8 \text{ (Gleichlaufkoeffizient)} * 39 \text{ Wochenstunden} * 0,5 \text{ (Einsatzfaktor)} * 4,2 \left(\frac{\text{Wochen}}{\text{Monat}} \right) \\ = 3.210 \text{ kWh}$$

Die errechneten Werte stellen Maximalverbräuche dar, welche nur bei maximaler Auslastung in der Rohbauphase erreicht werden. In der Regel wird eine derartige Intensität nicht über einen ganzen Monat aufrechterhalten. Da keine separate Stromzählung der Krane erfolgt, ist eine Ermittlung des tatsächlichen Energieverbrauchs der einzelnen Krane nicht möglich. Bei der Abschätzung des Stromverbrauchs werden abhängig von den Bauleistungen, die lt. Bauzeitplan in den jeweiligen Monaten erbracht werden sollen, die monatlichen Verbräuche mit entsprechenden Abminderungsfaktoren abgeschätzt.

Der Aufbau eines Turmdrehkrans nimmt in der Regel 1,5-2 Tage in Anspruch und erfolgt mittels Autokrane. In der Regel werden schwere Autokrane mit einer Traglast von 60 bis 90 t und Teleskopauslegern mit Hauptarmlänge von 45 bis 60 m eingesetzt. Die Ermittlung der Einsatzdauer und der damit verbundenen Energieverbräuche und THG-Emissionen werden im späteren Verlauf dieses Kapitels auf Seite 56 behandelt.

⁹¹ Vgl. Deutscher Bauzeiger (online), 2021

Erdbaugeräte

Auch bei Baustellen im Hochbau machen Erd- bzw. Aushubarbeiten den Großteil der verführten und transportierten Massen aus. Der Erdbau stellt auch hinsichtlich Baukosten einen Teil der 20 % an Bauleistungen dar, die ca. 80 % der Kosten ausmachen. Der Umfang der Erdbauleistung variiert im Hochbau je nachdem, wie tragfähig und frei von Kontaminationen der bestehende Boden ist und wie viele Untergeschosse errichtet werden. Die Erdarbeiten bei Baustellen im Hochbau bestehen in der Regel aus dem Bodengewinn (Löse- und Ladevorgang), dem Transportvorgang, dem Einbauvorgang (Verteilen, Hinterfüllen, Planieren) und dem Verdichtungs Vorgang (Walzen, Rütteln).

Das beim Löse- und Ladevorgang am häufigsten zum Einsatz kommende Baugerät ist der Hydraulikbagger. Dieser besteht aus einem Unterwagen mit Raupenfahrwerk, einem Oberwagen mit Antriebsmotor, Fahrerkabine, Drehkranz mit Drehmotor und einem daran montierten Ausleger mit Löffelstiel und Tief- oder Hochlöffel. Alle Bewegungen des Baggers einschließlich des Fahrens erfolgen hydraulisch und der Antrieb der Kolbenpumpen erfolgt über einen Verbrennungsmotor. Je nach Qualität des ausgehobenen Bodens und je nach geplanter Gestaltung der Außenanlagen wird ein Teil des Bodens auf der Baustelle wiederverwendet. Beispielsweise zum Hinterfüllen von Baugruben oder zur Geländemodellierung. Der Großteil wird jedoch abtransportiert, wobei belastete Böden zu speziellen Deponien verführt werden müssen. Den Transport übernehmen dabei Lastkraftwagen, Muldenkipper, Bodenentleerer und Spezialtransportfahrzeuge. Beim städtischen Wohnbau kommen ausschließlich Lastkraftwagen mit Kippern mit einer Nutzlast von 16 bis 32 t zum Einsatz.

Für die Vorbereitung der durch den Bagger aufgelösten Baugrubensohle kommen Planierraupen und gegebenenfalls Verdichtungswalzen zum Einsatz, um eine geeignete Oberfläche für die darauffolgenden Betonierarbeiten herzustellen. In vielen Fällen wird das Raupenfahrwerk der Hydraulikbagger dazu verwendet, den Boden oberflächlich zu verdichten. Sämtliche Unebenheiten, die nach dem Baggereinsatz bestehen, werden durch die Herstellung einer Sauberkeitsschicht wieder ausgeglichen. Beim städtischen Wohnbau wurden keine Planierraupen und Verdichtungswalzen bei der Herstellung der Baugrubensohle eingesetzt. In vielen Fällen erlauben die beengten Platzverhältnisse städtischer Baustellen keine allseitige freie Baugrubenböschung, wodurch aufwändigere jedoch platzsparende Methoden eingesetzt werden müssen. Bei gegenständlichem Bauvorhaben wurde eine Baugrubenseite durch eine Kombination aus Spundwänden und Bohlträgern gesichert. Für dann Einbau von Spundwänden und Bohlträgern wurden spezielle Ramm- und Bohrgeräte eingesetzt.

Den zur Verfügung gestellten Bautagesberichten können die Art, das Gewicht und die Einsatzdauer der einzelnen Bagger entnommen werden. Ein Geräteeinsatzplan liegt jedoch nicht vor, da der Geräteeinsatz basierend auf firmeninternen Erfahrungswerten aus früheren Bauvorhaben abgeschätzt wurde und für gegenständliches Bauvorhaben nicht gesondert im Detail durchgeplant wurde. Sofern entsprechende Erfahrungswerte innerhalb der Bauleitung bzw. des Unternehmens vorliegen, ist eine Abschätzung der Geräteanzahl, Gerätearten und Geräteeinsatzdauer für die Prognose der daraus resultierenden THG-Emissionen hinreichend genau möglich. Weiters besteht die Möglichkeit, den erforderlichen Geräteeinsatz über eine Leistungsermittlung basierend

auf Gerätedaten der ÖBGL und den kalkulierten LV-Aushubmengen abzuschätzen. Im Folgenden wird eine Leistungsermittlung für einen Hydraulikbagger gemäß ÖBGL durchgeführt und im Anschluss mit der tatsächlichen Einsatzdauer lt. Bautagesberichten und dem daraus resultierenden Kraftstoffverbrauch verglichen. Die 11 Schritte ergeben sich wie folgt:

1. Gewähltes Gerät: D.1.03.0100 Hydraulikbagger mit Raupenfahrwerk 100 kW und Monoblock Ausleger, Gewicht 18 t
2. Gewählter Tieflöffel: D.1.60.1200 Tieflöffelinhalt 1200 l, Gewicht 0,85 t
3. Annahme Füllfaktor: 95 %
4. Durchschnittliche Ladespiele pro Stunde für Hydraulikbagger mit Tieflöffel 60 - 80 LS/h⁹².
Annahme: 60 LS/h
5. Leistung Hydraulikbagger:
6. $Q_N = V_R * n * f_F = 1,2 * 60 * 0,95 = 68,4 \left[\frac{m^3_{lose}}{h} \right]$
7. Aushub- und Hinterfüllmengen lt. LV: 28.000 m³
8. Erforderliche Einsatzdauer: 28.000 m³ / 68,4 m³/h = ca. 410 h
9. Einsatzdauer aus Bautagesbericht mit der Annahme von sechs effektiven Einsatzstunden pro Tag: 523 h
10. Verbrauch lt. Leistungsermittlung (Hydraulikbagger 18,85): 15 l/h⁹³ * 410 h = 6.150 l
11. Verbrauch lt. Auswertung Bautagesberichte: 7.345 l

Die Abschätzung der erforderlichen Geräteeinsatzzeit und des damit verbundenen Verbrauchs über Literaturwerte gemäß ÖBGL unterschreitet die aus den Bautagesberichten hergeleiteten Werte um ca. 15 %. Gründe dafür könnten sein, dass einerseits, von der Annahme abweichende Tieflöffel zum Einsatz kamen, oder die theoretischen Ladespiele von 60 LS/h aus diversen Gründen nicht erreicht werden konnten. Des Weiteren ist die tatsächliche Einsatzzeit pro Tag aus den Bautagesberichten nicht ersichtlich und musste daher, unter der Annahme einer möglichst effizienten und wirtschaftlichen Gerätenutzung, abgeschätzt werden.

Zu den im Zuge der Baugrubensicherungsarbeiten eingesetzten Ramm- und Bohrgeräte liegen keine Daten vor. Es wurden hierfür basierend auf Angaben von Geräteherstellern entsprechende Annahmen getroffen. Tabelle 6 zeigt jene Geräte die im Zuge der Erdbau-, Baugrubensicherungs- und Außenanlagenarbeiten zum Einsatz kamen.

⁹² Vgl. IBPM TU Wien, 2020

⁹³ Vgl. Winkler, 2017: Kapitel 9.1

3 THG-Emissionen in der Errichtungsphase – Untersuchung von Musterbaustellen

Tabelle 6: Geräteeinsatz Erdbau

Geräteart	Gewicht [t]	Verbrauch [l/h] ⁹⁴	Einsatzdauer [h]
Hydraulikbagger	35	24	35
Hydraulikbagger	24	15	77
Hydraulikbagger	21	15	378
Hydraulikbagger	14	15	21
Hydraulikbagger	9	10	196
Hydraulikbagger	6	8	10
Asphaltfertiger	15,6	12,9	8,5
Walze	12	10	8,5
Geräteart	Gewicht [t]	Verbrauch [l/h] ⁹⁵	Einsatzdauer [h]
Rammgerät	64	135	44

In der Sachbilanz, für welche im Zuge des Forschungsprojekts das „CO2neuBau-Tool“ erstellt und mit Inhalten aus den im Zuge dieser Diplomarbeit untersuchten Baustellen befüllt wurde, ergab der Einsatz von Erd- und Straßenbaugeräten gemäß Abbildung 3.2 folgende Menge an THG-Emissionen:

		Sachbilanz 0			Ergebnis SB 0			Wirkungsabschätzung		Ergebnis WA 0
Prozesse	Energieträger	Einsatzdauer	Verbrauch/Einsatzdauer	Verbrauch 0			Emissionsfaktor	Einheit des Emissionsfaktors	THG-Emissionen	
				[Einheit]	[MJ]	[kWh]				
Geräte	Aufgabe / Funktion	[Einheit]	[h]	[Einheit/h]	[Einheit]	[MJ]	[kWh]			
1. Erdarbeiten u. Freiflächenplanung	Bagger 24t	Erdaushub	Diesel [l]	77	15	1155	41580	11550		
	Bagger 35t	Erdaushub	Diesel [l]	35	24	840	30240	8400		
	Bagger 21t	Erdaushub	Diesel [l]	378	15	5670	204120	56700		
	Bagger 14t	Erdaushub	Diesel [l]	21	15	315	11340	3150		
	Bagger 9t	Erdaushub	Diesel [l]	196	10	1960	70560	19600		
	Bagger 6t	Erdaushub	Diesel [l]	10	8	80	2880	800		
	Asphaltfertiger	Außenanlagen	Diesel [l]	8,5	12,9	109,65	3947,4	1096,5		
	Walze	Außenanlagen	Diesel [l]	8,5	10	85	3060	850		
	Rammgerät	Baugrubensicherung	Diesel [l]	44	135	5940	213840	59400		
	Zwischensumme Energieträger Diesel, Prozess 1					16.155	581.567	161.547	0,09195	kg CO ₂ -Eq/MJ
Rammgerät	Hydraulikölkühlung	Strom [kWh]	44	200	8800	31680	8800			
Zwischensumme Energieträger Strom, Prozess 1					8.800	31.680	8.800	0,3391	kg CO ₂ -Eq/kWh	2.984
Zwischensumme n Prozesse 1						613.247	170.347			56.459

Abbildung 3.2: THG-Emissionen zufolge Erdarbeiten und Freiflächenplanung

Es ergibt sich somit eine Gesamtmenge von 56.459 kg CO₂-Eq THG-Emissionen. Der Abtransport des nicht wiederverwendeten Erdaushubs wird in Kapitel 3.1.2 behandelt. Es wurden die Emissionsfaktoren gemäß Tabelle 1 verwendet.

⁹⁴ Vgl. Winkler, 2017: Kapitel 9.1

⁹⁵ Vgl. RTG Rammtechnik (online), 2020

Wasserhaltung

Kommt es in einer Baugrube zu Wasseransammlung aufgrund des natürlichen oberhalb der Baugrubensohle liegenden Grundwasserspiegels, Schichtwässern oder Niederschlagswässern, so müssen entsprechende Maßnahmen zur Beherrschung des Wasseraufkommens ergriffen werden. Dazu gehören die Grundwasserabsenkung in Form einer offenen oder geschlossenen Wasserhaltung, Abdichtung von Baugruben und Grundwasserverdrängung.⁹⁶

Im Fall des städtischen Wohnbaus wurde eine offene Wasserhaltung betrieben, wobei das vorhandene Wasser mittels Tauchpumpen über Gräben in der Baugrube herausgepumpt wurde. Je nach Wasserandrang und Niederschlag sind die Tauchpumpen durchgehend bis gelegentlich, bis zur Herstellung des Drainagesystems bzw. bis zur Abdichtung der Kellerkonstruktion und Hinterfüllung der Baugrube im Einsatz.

Kleingeräte

Auf Baustellen ist eine große Anzahl an Kleingeräten im Einsatz, welche meist in den Magazincontainer gelagert werden bzw. von den Subunternehmen zur Baustelle an- und abtransportiert werden. Für Kleingeräte werden grundsätzlich keine Einsatzpläne erstellt und auch keine Einzelkosten ermittelt. Kleingeräte werden in der Regel pauschal in den Baustellengemeinkosten mitberücksichtigt. Die Art und Anzahl der erforderlichen Kleingeräte ergeben sich aus Erfahrungswerten vergangener Bauvorhaben und können bei Bedarf kurzfristig ergänzt werden. Kleingeräte können entweder mithilfe eines Verbrennungsmotors oder mittels Stroms betrieben werden. Der Großteil entfällt auf Stromversorgung.

Typische Kleingeräte auf Baustellen im Hochbau sind in Tabelle 7 dargestellt:

Tabelle 7: Kleingeräte auf Hochbau Baustellen

Gerät	Leistung
Trommelmischer 250-750 l	5,0-15,0 kW
Kleinkompressor 0,04-1,65 m ³ /min	0,4-15,0 kW
Kolbenkompressor 2,0-90 m ³ /min	15,0-65,0 kW
Tischkreissäge Ø 350-550 mm	2,0-9,0 kW
Handkreissäge Ø 170-550 mm	0,6-4,0 kW
Flaschenrüttler Ø 17,0-60,0 mm	0,6-3,0 kW
Schlagbohrmaschine	ca. 2,5 kW
Elektrohammer	1,5 – 3,6 kW
Winkelschleifer	1,0 – 2,0 kW
Vibrationsstamper	4,0 – 6,0 kW
Handrührgerät	0,8 – 2,2 kW
Mehrzwecksauger	1,0 – 1,4 kW
Motorsäge	1,5 – 6,0 kW
Stromaggregat	5,0 – 40 kW

⁹⁶ Vgl. Adam, 2019: S. 9-54

Es wird angenommen, dass in der Rohbauphase ca. acht Schlagbohrmaschinen, zehn Winkelschleifer und zwei Tischkreissägen durchschnittlich ca. zwei Stunden täglich im Einsatz sind. Zusätzlich wird angenommen, dass während der Betonierarbeiten stets vier Flaschenrüttler ca. zwei Stunden im Einsatz sind. Für die elf Monate dauernde Rohbauphase ergeben sich bei ca. 470 Einsatzstunden und einer Kleingeräteleistung von insgesamt ca. 70kW in etwa 33.000 kWh an Energieverbrauch. Da von einem geringeren Einsatz von Tischkreissägen, Elektrohammern und Schlagbohrmaschinen in der Ausbauphase auszugehen ist, wird für die restliche Bauzeit ein etwas geringfügigerer Energieverbrauch zufolge von Kleingeräten von ca. 20.000 kWh angenommen. In Summe wird der Energieverbrauch aus dem Kleingeräteinsatz mit ca. 53.000 kWh abgeschätzt. Dies ergibt eine THG-Emissionsmenge von rund 19 t CO₂-Eq.

Betonarbeiten

Im Fall der fiktiven Baustelle „städtischer Wohnbau“ ist zwischen zwei Arten des Betoneinbaus zu unterscheiden.

Ortbetonbauweise (siehe Kapitel 2.4):

Die Betonproduktion erfolgt im Betonmischwerk und der Antransport des flüssigen und pumpfähigen Betons mittels Betonmischer-LKWs. Die Versorgung der Betonmischanlage, der Produktionsprozess selbst und der Mischvorgang der LKWs während der Befüllzeit sind in dem Fall nicht Teil der Errichtungsphase. Sie sind der Herstellungsphase zuzuordnen. In der Errichtungsphase wird der Transport vom Werk zur Baustelle einschließlich des stetigen Mischvorganges der LKWs während der Fahrt und der Entleerung vor Ort berücksichtigt. Der Betoneinbau an sich mittels Betonpumpen oder Betonkübeln, der Rüttel- bzw. Verdichtungsvorgang und der Oberflächenbehandlungsprozess, sind im System „Baustelle“ zu berücksichtigen. Je nachdem, ob es sich um Ortbeton- oder Hohlwände handelt, werden entsprechende Schalungsarbeiten benötigt, die ebenso dem Betoneinbauprozess zuzuordnen sind.

Fertigteilbauweise (siehe Kapitel 2.4):

Bei der Fertigteilbauweise erfolgt sowohl die Betonproduktion als auch die Vorproduktion der fertigen Betonbauteile samt aller Schalungs-, Verdichtungs- und Nachbehandlungsprozesse im Werk. Die Versorgung des Fertigteilwerks sowie die Anlieferung der Rohstoffe ist analog zur Transportbetonbauweise Teil der Herstellungsphase. In der Errichtungsphase zu berücksichtigen sind der Transport der Fertigteile zur Baustelle und die Verhebe- bzw. Versetzarbeiten samt zugehöriger Abstütz- und Ausschalmaßnahmen. Tabelle 8 zeigt eine Abschätzung des Verhältnisses von Ortbeton- zu Fertigteilbauweise für den gegenständlichen Wohnbau:

Tabelle 8: Verwendung von Ortbeton und Beton-Vollfertigteilen

Ebene	Ortbeton	Fertigteil
UG2	100	0
UG1	100	0
EG	90	10
OG1	50	50
OG2	10	90
OG3	10	90
OG4	10	90
OG5	10	90
OG6	10	90
OG7	10	90
	40,00 %	60,00 %

Die Untergeschosse wurden gänzlich in Ortbetonbauweise hergestellt. Im Erdgeschoss wurde lediglich die Decke als Elementdecke, also als Halbfertigteil ausgeführt. Ab dem zweiten Obergeschoss wurden – bis auf den Aufbeton der Elementdecke und die aussteifenden Wände im Erschließungskern – sämtliche konstruktiven Bauteile als Fertigteile ausgeführt. Damit ergibt sich eine Aufteilung von 40 % Ortbeton- zu 60 % Fertigteilbauweise.

Bei der Ortbetonbauweise erfolgt die Zulieferung des Frischbetons mittels Betonmischer-LKWs. Der Beton wird zwischen LKW und Einbaustelle mittels Betonkübel verhoeben. Ein großer Betonkübel kann ein Volumen von ca. 1,5-2,0 m³ Beton aufnehmen. Ein Betonmischer-LKW transportiert in der Regel zwischen 8-12 m³ Frischbeton. Während einer Baustellenbesichtigung eines großvolumigen Wohnbauvorhabens wurden seitens des Autors dieser Arbeit zeitliche Messung betreffend die Befüllzeit des Betonkübels (1,5 m³), den Verhebe- und Rückhebeprozess, sowie den Verfüllprozess durchgeführt. Der Betonmischer des LKWs befindet sich grundsätzlich nur während der Befüllung des Betonkübels im Einsatz. Die Befüllzeit wurde mit ca. 45 Sekunden gemessen. Die restliche Zeit zwischen den Befüllungen wurde mit ca. 3,5 Minuten gemessen, wobei diese Zeit je nach Entfernung zwischen LKW und Betonierabschnitt variieren kann. Damit ergeben sich 4,25 min/1,5 m³ bzw. 2,8 min/m³ = 0,05 h/m³. Der LKW-Motor ist, während der gesamten Stehzeit im Leerlaufbetrieb und verbraucht währenddessen 3-5 l/h⁹⁷. Um den zusätzlichen Verbrauch, der durch den Betrieb des Betonmischers anfällt und ca. 17 % der Betoneinbauzeit ausmacht abzudecken, wurde der Verbrauch des LKW auf der Baustelle mit 5 l/h angesetzt. Bei einer Gesamtmenge von 7.600 m³ (unverdichtet) verbautem Frischbeton ergibt sich somit eine Einsatzdauer des Betonmischer-LKW vor Ort von 380 Stunden. In Abbildung 3.3 wird die Umweltwirkung dieses Prozesses in der CO₂-Sachbilanz dargestellt. Bei der Wirkungsabschätzung wurden die Emissionsfaktoren gemäß Tabelle 1 verwendet.

⁹⁷ Vgl. GPSFahrtenbuch (online), 2017

3 THG-Emissionen in der Errichtungsphase – Untersuchung von Musterbaustellen

		Sachbilanz 0			Ergebnis SB 0			Wirkungsabschätzung		Ergebnis WA 0	
	Prozesse		Energieträger	Einsatzdauer	Verbrauch/ Einsatzdauer	Verbrauch 0			Emissionsfaktor	Einheit des Emissionsfaktors	THG-Emissionen [kg CO ₂ -Eq]
	Geräte	Aufgabe / Funktion	[Einheit]	[h]	[Einheit/h]	[Einheit]	[MJ]	[kWh]			
5. Produktherstellung u. -umwandlung vor	Betonmischer LKW		Diesel [l]	380	5	1900	68400	1900			
			Zwischensumme Energieträger Diesel			1.900	68.400	1.900	0,09195	kg CO ₂ -Eq/MJ	6.289
	Betonmischer klein		Strom [kWh]			0	0	0			
			Zwischensumme Prozesse 5				68.400	1.900			6.289

Abbildung 3.3: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Wirkungsabschätzung Betonmischer LKW

Sobald der frische Beton in den zu betonierenden Bauteil eingebracht wurde, muss dieser verdichtet werden. Dabei kommen elektrisch betriebene Innenrüttler, auch genannt Flaschenrüttler mit einer Motorleistung von ca. 1,5 kW zum Einsatz. Anschließend wird die Betonoberfläche geglättet und nachbehandelt. Diese Prozesse haben jedoch einen vernachlässigbar kleinen Energieverbrauch.

Die Auswertung der Bautagesberichte ergab, dass bei gegenständlicher Baustelle die Autobetonpumpe lediglich an drei Tagen zum Einsatz kam. Der Betoneinbau mittels Betonkübel wird seitens der Bauleiter in den meisten Fällen aus wirtschaftlichen Gründen bevorzugt. Des Weiteren können die Kübelbefüllzeiten zur Betonverdichtung mit geringerem Personaleinsatz genutzt werden. Der Autobetonpumpeneinsatz wurde in der Sachbilanz berücksichtigt.

Ein wesentlicher Teil der Ortbetonbauweise sind die Schalungsarbeiten, die dem eigentlichen Betonieren vorangestellt sind. Dabei sind sämtliche, dem Schalungssystem zugehörigen Bauteile an die entsprechende Stelle zu verheben und anschließend physisch seitens des Baustellenpersonals aufzustellen und zu montieren. Beim Zusammenbauen der Schalungssysteme kommen grundsätzlich Werkzeuge ohne externe Energieversorgung zum Einsatz. In gewissen Fällen, insbesondere bei Sonderkonstruktionen, müssen Schalttafeln entsprechend zugeschnitten werden. Dies erfolgt zumeist mittels Kreissägetischen. Den größten energetischen Aufwand stellt allerdings das Verheben der Schalungsbauweise mittels Krans dar.

Sowohl bei der der Ortbetonbauweise als auch bei der Vollfertigteilbauweise stellt das Verheben des Betons den größten energetischen Aufwand dar. Wie unter Punkt 3.1.1 auf Seite 50 bereits berechnet, ergeben sich für die Turmdrehkrane 1 und 2 maximale monatliche Verbräuche von jeweils 3210 kWh für Kran 1 und 3898 kWh für Kran 2. Die errechneten Werte stellen Maximalverbräuche dar, welche nur bei maximaler Auslastung in der Rohbauphase erreicht werden. Es wird angenommen, dass eine derartige Intensität nicht über einen ganzen Monat, sondern lediglich zu Spitzenzeiten erreicht wird. Da keine separate Stromzählung der Krane erfolgt, ist eine genaue Ermittlung des tatsächlichen Energieverbrauchs der einzelnen Krane nicht möglich. Basierend auf dem Bauzeitplan und den während den jeweiligen Monaten erbrachten Bauleistungen wurden unter Berücksichtigung entsprechender Abminderungsfaktoren die monatlichen Stromverbräuche aus dem Kraneinsatz abgeschätzt, siehe Tabelle 9.

Tabelle 9: Leistungsabgabe und Einsatzdauer Turmdrehkran 1 und 2

Kran	max. Leistungsabgabe [kW]	Leistungsabgabe ohne Heizung [kW]	Abminderung Stehzeiten	durchschn. monatlicher Verbrauch mit Heizung [kWh]	durchschn. monatlicher Verbrauch ohne Heizung [kWh]	Einsatzdauer [Wochen]
Kran 1	49	47	60%	1926	1847,4	32,6
Kran 2	59,5	57,5	60%	2338,8	2260,2	45,2

Beim Versetzen von Fertigteilen kommt es im Vergleich zur Ortbetonbauweise vermehrt zu Stehzeiten. Grund dafür ist, dass ein Fertigteil, unter Beachtung von etwaigen Schub- und Zugverbindungen zwischen den Fertigteilwänden, sorgfältig und genau vom Baustellenpersonal positioniert werden muss. Anschließend müssen die erforderlichen Stützelemente montiert werden, um ein Kippen der Fertigteilwand zu verhindern. Der Kran muss das Fertigteillement während des gesamten Versetzprozesses in Position bzw. unter Spannung halten. Beim Betonieren vor Ort hingegen steht der Kran so lange, bis der Betonkübel befüllt bzw. wieder entleert wird. Für eine Fertigteilwand mit den Abmessung L= 6,0m, B= 0,18m, H= 3,0m, sind bei Einsatz der Ortbetonbauweise mithilfe eines Betonkübels mit einem Füllinhalt von 1,5m³, um das vier- bis sechsfache an Kranbewegungen gegenüber der Fertigteilbauweise erforderlich.

Aufgrund von erhöhten Stehzeiten des Krans während der Fertigteilbauweise, welche im gegenseitlichen Fall 60 % des Rohbaus ausmachen und der Annahme, dass die maximale Kranauslastung auch bei der Ortbetonbauweise in der Regel nicht erreicht wird, wird die durchschnittliche Leistungsabgabe der Krane auf 60 % der maximalen Leistung geschätzt. Laut Bauzeitplan ist Kran 1 von August bis April über insgesamt 32,6 Wochen im Einsatz. Kran 2 ist von Juni bis Mai über 45,2 Wochen im Einsatz. Es wird angenommen, dass die Kabinenheizung in den Monaten November, Dezember, Jänner, Februar und damit über 40 % der Einsatzzeit genutzt wird. Darauf aufbauend wird für die beiden Krane ein durchschnittlicher monatlicher Verbrauch von ca. 1880 kWh für Kran 1 und ca. 2290 kWh für Kran 2 geschätzt.

Aus dem Kraneinsatz ergibt sich in der CO₂-Sachbilanz eine Gesamtmenge von rund 22 to CO₂-Eq an THG-Emissionen. Aus dem geschätzten Einsatz der Kleingeräte ergibt sich eine Gesamtmenge von rund 19 to CO₂-Eq and THG Emissionen. Bei der Wirkungsabschätzung wurden die Emissionsfaktoren gemäß Tabelle 1 verwendet.

3 THG-Emissionen in der Errichtungsphase – Untersuchung von Musterbaustellen

		Sachbilanz 0			Ergebnis SB 0			Wirkungsabschätzung		Ergebnis WA 0		
Prozesse	Geräte	Aufgabe / Funktion	Energieträger	Einsatzdauer	Verbrauch/Einsatzdauer	Verbrauch 0			Emissionsfaktor	Einheit des Emissionsfaktors	THG-Emissionen [kg CO ₂ -Eq]	
			[Einheit]	[h]	[Einheit/h]	[Einheit]	[MJ]	[kWh]				
7. Einbau der Produkte in das Gebäude inkl. Zusatzprodukte	Autobetonpumpe		Diesel [l]	20	15	300	10800	3000			0	
	Kleingeräte	Motorsäge	Diesel [l]									
		Stromaggregat	Diesel [l]									
	Zwischensumme Energieträger Diesel, Prozess 7						300	10.800	3.000	0,09195	kg CO ₂ -Eq/MJ	993
	Turmdrehkran 1		Strom [kWh]	1349,4	18	24289,2	87441,12	24289,2				
	Turmdrehkran 2		Strom [kWh]	1840,8	22	40497,6	145791,36	40497,6				
	Kleingeräte	Betonrüttler		Strom [kWh]	950	1,5	3	10,8	3			
		Kreissägetisch		Strom [kWh]	800	2	1600	5760	1600			
		Schlagbohrmaschine		Strom [kWh]	2500	1,2	3000	10800	3000			
		Elektrohammer		Strom [kWh]	500	1,7	850	3060	850			
		Winkelschleifer		Strom [kWh]	8500	2,5	21250	76500	21250			
		Vibrationsstampfer		Strom [kWh]	600	5	3000	10800	3000			
		Handrührgerät		Strom [kWh]	475	1,5	712,5	2565	712,5			
		Mehrwecksauger		Strom [kWh]	250	1	250	900	250			
	Sonstige		Strom [kWh]	22000	1	22000	79200	22000				
Zwischensumme Energieträger Strom, Prozess 7						117452,3	422.828	117.452	0,3391	kg CO ₂ -Eq/kWh	39.828	
Zwischensumme Prozesse 7							433.628	120.452			40.821	

Abbildung 3.4: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Ermittlung THG-Emissionen aus Kraneinsatz und Kleingeräten

Estrich Trocknung

Je nach Art des eingebauten Estrichs wird eine entsprechende Zeit für dessen Trocknung benötigt. Bevor der weitere Aufbau bzw. der Bodenbelag auf dem Estrich verlegt wird, muss dieser die Gleichgewichtsfeuchte erreichen bzw. muss sich der Feuchtegehalt der Umgebungsfeuchtigkeit im Estrich einstellen. Bei nicht fachgerechter Trocknung und frühzeitiger Verlegung eines Bodenbelags, besteht die Gefahr des Ziehens bzw. Brechens des Estrichs.⁹⁸ (Mit einer fachgerechten Trocknung ist eine konstante Wärmezufuhr und Wärmeabfuhr über einen vorgegebenen Zeitraum entsprechend den Herstellervorgaben gemeint.) Da die zentrale Gebäudeheizung zum Zeitpunkt der Estricharbeiten in der Regel noch nicht hergestellt bzw. einsatzbereit ist, kommen eigens für die Estrichtrocknung vorgesehene mobile Elektroheizgeräte zum Einsatz. Diese werden über flexible Druckleitungen mit der Hausinstallation verbunden und ermöglichen eine fachgerechte Trocknung der Estrichflächen.⁹⁸ Beim behandelten Bauvorhaben wurde der Estrichtrockner an die im Estrich verlegte Fußbodenheizung angeschlossen. Je nach Estrich beträgt die Ausheizdauer ohne Verwendung von Estrichbeschleunigern 2-3 Wochen, wobei der Estrich die ersten zwei Wochen nach Verlegung nicht ausgeheizt werden darf und nach der Ausheizphase eine weitere Woche mit den darauffolgenden Bodenlegearbeiten gewartet wird. Je nach Leistung des Estrichtrockners kann eine bestimmte Größe der Estrichfläche ausgeheizt werden.

Tabelle 10: Eckdaten Estrichtrocknereinsatz

Gerät	Leistung [kW]	Einsatz [h/d]	Anzahl Geräte	kWh pro Monat
Estrichtrockner	21,6	2	3	2.721

Basierend auf den in Tabelle 10 dargestellten Einsatzdaten der Estrichtrocknung ergibt sich in der

⁹⁸ Vgl. Koch (online), 2019

Sachbilanz ein Gesamtverbrauch von 7.258 kWh, was einer Emissionsmenge von ca. 2,5 to CO₂-Eq entspricht.

Heizlüfter

In den Wintermonaten, insbesondere in der Ausbauphase, werden auf der Baustelle Heizlüfter eingesetzt, da für den Einbau diverser Baumaterialien eine bestimmte Mindesteinbautemperatur erforderlich ist und gewisse Baustoffe bei nasser Aufbringung bzw. nassem Einbau entsprechend getrocknet werden müssen. Da hierzu keine Daten vorliegen, wurde lt. Tabelle 11, basierend auf Gesprächen mit mehreren Bauleitern einer größeren österreichischen Baufirma, folgende Abschätzung durchgeführt:

Tabelle 11: Eckdaten Heizlüftereinsatz

Heizlüfter	Leistungsabgabe [kW]	Einsatz [h/d]	Anzahl Geräte	Verbrauch [kWh/Mo]
Leistungsstufe 1	5	6	4	2.520
Leistungsstufe 2	8	6	4	4.032

Es wird angenommen, dass in der Ausbauphase vier Wohnungen gleichzeitig durch Maler, Fliesenleger und Bodenleger bearbeitet werden. Weiters wird angenommen, dass die zweite Leistungsstufe in den kältesten Monaten Dezember bis Februar bzw. die erste Leistungsstufe in den Monaten Oktober und November zum Einsatz kommt.

Damit ergibt sich ein Gesamtverbrauch von 17.136 kWh und eine THG-Emissionsmenge von ca. 5,9 to CO₂-Eq.

Auswertung des tatsächlichen Stromverbrauchs

Die Baustelle wird über einen Baustromverteiler angeschlossen, in welchem seitens Netzbetreiber zwecks Abrechnung ein Stromzähler eingebaut wird. Baugeräte und sonstige Baustelleneinrichtung dürfen nicht über die bestehende Gebäudeinstallation versorgt werden, sondern über einen eigens dafür vorgesehenen Speisepunkt in Form eines Anschlussverteilerschranks, welcher bereits einen Stromzähler besitzt. Für das gegenständliche Bauvorhaben wurden die monatlichen Stromabrechnung zur Verfügung gestellt. Der tatsächliche Stromverbrauch für die gesamte Baustelle über die 24 Monate Bauzeit stellt sich gemäß Tabelle 12 wie folgt dar.

Tabelle 12: Monatlicher Stromverbrauch

Verrechnungszeitraum	Verbrauch [kWh]	Verrechnungszeitraum	Verbrauch [kWh]
Mai 18	902	Mai 19	10.539
Jun 18	1.448	Jun 19	4.299
Jul 18	3.641	Jul	5.812
Aug 18	5.257	Aug 19	5.036
Sep 18	6.175	Sep 19	7.393
Okt 18	9.122	Okt 19	11.008
Nov 18	16.278	Nov 19	15.333
Dez 18	22.390	Dez 19	18.239
Jan 19	26.533	Jan 20	23.990
Feb 19	20.304	Feb 20	25.452
Mär 19	17.586	Mär 20	10.234
Apr 19	11.919	Apr 20	3.864
		Summe	282.754

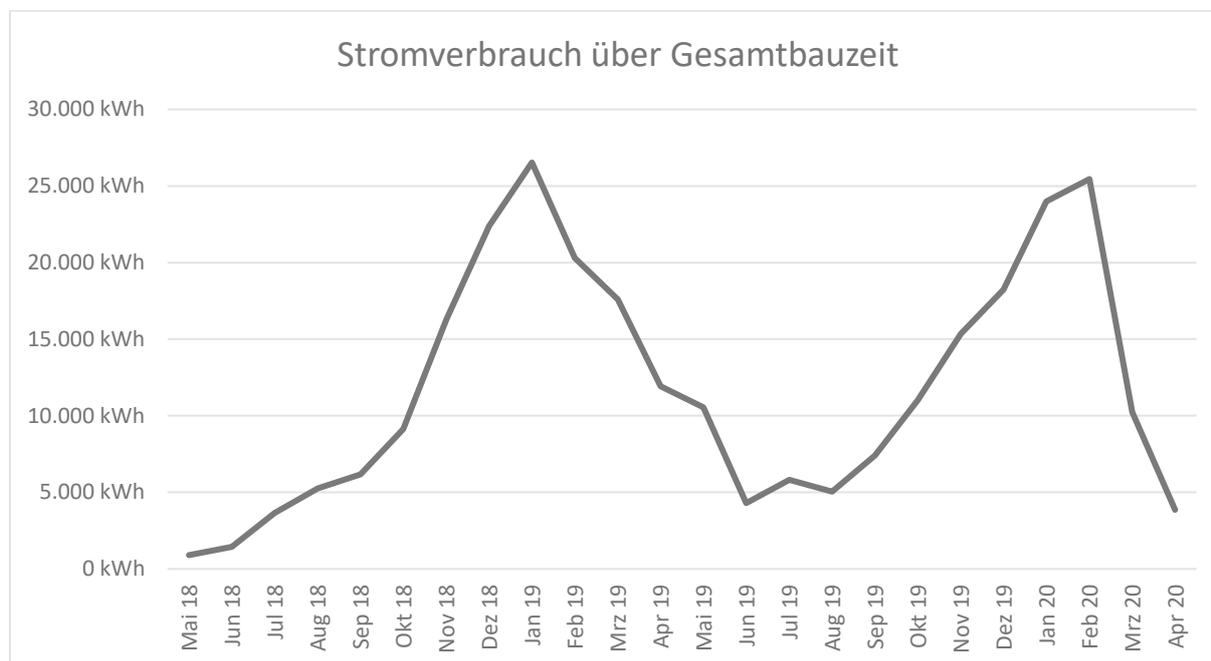


Abbildung 3.5: Liniendiagramm Stromverbrauch über gesamte Bauzeit

Aus dem Liniendiagramm in Abbildung 3.5 ist der erhebliche Einfluss der Jahreszeiten bzw. der Temperatur auf den Stromverbrauch besonders gut ersichtlich. Die Auswertung zeigt, dass der Stromverbrauch zu Beginn des Bauvorhabens, als hauptsächlich Erdbauarbeiten ausgeführt wurden geringer war. Grund hierfür ist die Tatsache, dass zu dem Zeitpunkt noch keine Krane aufgestellt waren, die Temperaturen im Mai und Juni keiner Heizung bzw. Kühlung bedürft haben und

im Zuge von Erdbauarbeiten verhältnismäßig wenig gewerbliches Personal und angestelltes Personal im Einsatz war, welches die Baustelleneinrichtung hätte nutzen können.

Ende August bzw. ab September waren bereits beide Krane im Einsatz und die Rohbauphase war im Gange, was sich mit einer Verdoppelung des Stromverbrauchs zwischen Juli und September abzeichnet. Von November bis Jänner kommt es zu einer Steigerung des Stromverbrauchs um ca. 5.000 kWh pro Monat. Da sich die in dieser Zeit tätigen Gewerke der Betonierarbeiten, Schwarzdeckerarbeiten, Installateur- und Elektrikerarbeiten gegenüber den Vormonaten nicht geändert haben und auch von keiner unverhältnismäßig hohen Steigerung der Leistungsintensität auszugehen ist, ist dieser signifikante Anstieg des Stromverbrauchs auf die Temperaturen und die damit verbundene Heizleistung sowie auf die geringe Anzahl an Tageslichtstunden und den damit verbundenen erhöhten Einsatz der Baustellenbeleuchtung zurückzuführen.

Der Kraneinsatz endete mit Ende Mai bzw. Anfang Juni 2019, was an einem entsprechenden Abfall der Verbrauchslinie um mehr als 5.000 kWh zu erkennen ist. Der Energieverbrauch sank seit den Wintermonaten 2018/2019 wieder signifikant auf das Vorjahresniveau und obwohl keine Krane mehr im Einsatz waren, lag der Stromverbrauch in den Monaten Juni bis September bei ca. 6.000 kWh, wofür es zwei möglich Gründe gibt. Einerseits sind in der Ausbauphase weitaus mehr Gewerke und damit mehr gewerbliches Personal auf der Baustelle im Einsatz, welches eine intensivere Nutzung der Baustelleneinrichtung und Kleingeräte mit sich trägt. Andererseits fanden von Mai bis September Estricharbeiten statt, bei welchen energieaufwändige Estrichtrockner eingesetzt wurden.

Trotz des Entfalls der Krane ist der Stromverbrauch in der zweiten Winterbauphase mit insgesamt 93.248 kWh (November bis März 2019) nur geringfügig kleiner als der Stromverbrauch in der Winterbauphase 2018 mit 103.091 kWh. In den Monaten Oktober bis Februar kam es zu einem erhöhten Einsatz von Heizlüftern, da für die zu dieser Zeit tätigen zahlreichen Ausbaugewerke ein höherer Temperaturbedarf besteht. Im Speziellen bei Arbeiten mit hydraulischen Bindemitteln sind entsprechende Mindesteinbautemperaturen erforderlich. Während der Rohbauphase werden Heizlüfter in den Wintermonaten seltener eingesetzt als in der Ausbauphase. Grund dafür ist, dass das Vorhandensein von genügend umbautem Raum, idealerweise mit bereits versetzten Fenstern, Voraussetzung ist für einen effektiven Einsatz von Heizlüftern.

Aus der im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Abschätzung der Verbräuche von strombetriebenen Geräten und Einrichtungen, ergibt sich ein Gesamtverbrauch von ca. 285.000 kWh. Der über den Baustromzähler abgerechnete tatsächliche Gesamtverbrauch der Baustelle betrug ca. 282.000 kWh. Es ergibt sich somit eine Diskrepanz zwischen Abschätzung und Realität von ca. 3.000 kWh. Ob und über welchen Zeitraum das Gebäude nach Herstellung der Trafostation über den hauseigenen Hauptstromanschluss versorgt wurde, ist nicht bekannt.

THG Emissionen aus den Prozessen vor Ort

Für das lt. ÖNORM EN 15978 definierte Informationsmodul der Errichtungsphase namens: A5 Prozesse vor Ort, ergeben sich aus der Sachbilanz nun folgende, in Tabelle 13, Tabelle 14 und Tabelle 15 dargestellten Summenwerte. Die Umrechnung der Litermenge Diesel in MJ erfolgt über den volumsspezifischen Energiegehalt, welcher 36 MJ/l⁹⁹ beträgt.

GWP 100a

Tabelle 13: GWP 100a Emissionen gesamt für Prozesse vor Ort

Energie-träger	Menge	MJ	kWh	Emissionsfaktor ¹⁰⁰	THG Emissionen [to CO ₂ -Eq]
Diesel	18.547 l	667.679	168.367	0,092 kgCO ₂ -Eq/MJ	61,4
Strom	243.601 kWh	876.963	243.601	0,339 kgCO ₂ -Eq/kWh	82,6
Summe		1.544.642	411.967		144

Direkte Emissionen

Tabelle 14: nur direkte Emissionen der Prozesse vor Ort

Energie-träger	Menge	MJ	kWh	Emissionsfaktor ¹⁰¹	THG Emissionen [to CO ₂ -Eq]
Diesel	18.547 l	667.679	168.367	2,458 kg CO ₂ -Eq/l	45,6
Strom	243.601 kWh	876.963	243.601	0	0
Summe					45,6

THG-Emissionen

Tabelle 15: THG-Emissionen gesamt der Prozesse vor Ort

Energie-träger	Menge	MJ	kWh	Emissionsfaktor ¹⁰²	THG Emissionen [to CO ₂ -Eq]
Diesel	18.547 l	667.679	168.367	3,098 kg CO ₂ -Eq/l	57,5
Strom	243.601 kWh	876.963	243.601	0,258 kg CO ₂ -Eq/kWh	62,8
Summe		1.544.642	411.967		120,3

⁹⁹ Vgl. EU (online), 2009: S. 34

¹⁰⁰ Vgl. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2019. The ecoinvent database version 3 (part 6): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 15 07 2021].

¹⁰¹ Vgl. Umweltbundesamt (online), 2020

¹⁰² Vgl. Umweltbundesamt (online), 2020

3.1.2 Transport

Das Transportaufkommen und die damit verbundenen THG-Emissionen werden aufgrund mangelnder Daten hinsichtlich Transportdistanzen, Zwischenlagerungen und eingesetzten Fahrzeugen, basierend auf den Materialmengen aus dem Leistungsverzeichnis und deren spezifischen Gewichten entsprechend abgeschätzt. Noch vor Auswertung des Leistungsverzeichnisses, können mithilfe einfacher Überlegungen bereits die größten Mengen bzw. die größten Verursacher von THG-Emissionen unter den tätigen Gewerken hinsichtlich des Verkehrs identifiziert werden. Die durch den Transport verursachten THG-Emissionen hängen im Fall von Hochbauten, die in der Regel mindestens ein Untergeschoss besitzen, maßgeblich von der Transportdistanz der Betonwerke bzw. der Fertigteilwerke, Bewehrungsproduktionsstätten und der Erddeponien ab, da diese Bauleistungen die meisten Tonnenkilometer zu verantworten haben.

Folgende Daten wurden zur Abschätzung der THG-Emissionen im Zusammenhang mit den Transportprozessen der Baustelle verwendet:

- Gewichte der transportierten Materialien und Produkte in Tonnen [t]. Das Gewicht der Verpackungen wurde aufgrund des verschwindenden Anteils nicht mitberücksichtigt.
- Transportdistanz von den Werken der Güter bis zur Baustelle, einschließlich ev. Zwischenlagerung und Verteilung in Kilometer [km]
- Gewichte der Baugeräte (Krane, Rüstmaterialien usw.) in Tonnen [t]
- Transportdistanz der Baugeräte bis zur Baustelle und zurück (An- und Abtransport) in Kilometer [km].
- Gewichte der Abfälle in Tonnen [t].
- Transportdistanz der Abfälle von der Baustelle bis zur endgültigen Beseitigung oder bis zum Ende des Abfallstatus (nur Abtransport) in Kilometer [km].
- Verwendete Transportmittel inkl. ev. Zusatzinformationen (z.B. Euroklassen 3-6 u. Gewichtsklassen 3,5-7,5 t, 4,5-16 t, 16-32 t, > 32t von LKWs).

Tabelle 16 zeigt die Auswertung des Leistungsverzeichnisses des gegenständlichen Projekts hinsichtlich Massen und Gewerken ergeben:

Tabelle 16: Massenbilanz nach Gewerken

Transportgut/Gewerk	Masse [t]
Erdbau	5.200
Versickerungsanlagen	2.668
Spachtelung	104
Estricharbeiten	44,5
Abdichtungen	66
Beton- und Stahlbetonarbeiten	19.089
Fertigteile Stahlbeton	8.568
Außenanlagen	192,4
Schwarzdeckerarbeiten	1.651
Bauspenglerarbeiten	76
Fliesenlegearbeiten	288
Asphaltierarbeiten	50
Schlosserarbeiten	52
Vorgehängte Fassaden	8,5
Holzfußböden	66
Trockenbauarbeiten	260
Türsysteme	31
WDVS	173
Fenster, Fenstertüren	57
Landschaftsbau	686
Toranlagen	3,5
Baugeräte	335
Bauhilfsstoffe (Schalung, Fassadengerüst etc.)	395
Baustelleneinrichtung	28
Baugrubensicherung	467
Aushub (Erdbau)	50.230
Summe	90.785

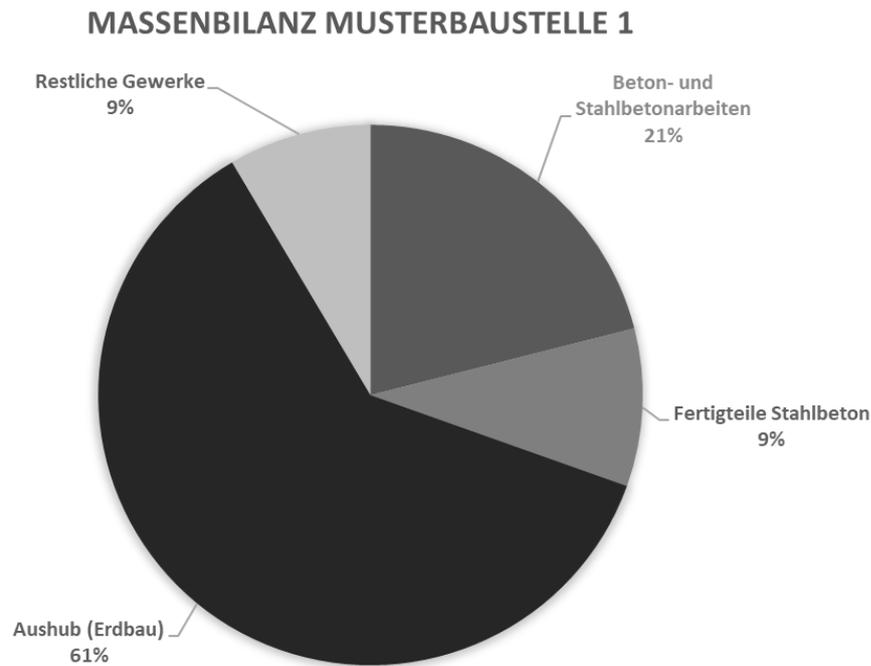


Abbildung 3.6: Massenbilanz Musterbaustelle 1

Aus der Massenbilanz in Abbildung 3.6 ist ersichtlich, dass die Verfuhr des Erdaushubs den mit Abstand größten Mengenanteil ausmacht. Gemeinsam mit den Beton- und Stahlbetonarbeiten inkl. Schalungsarbeiten sowie den Stahlbetonfertigteilen machen diese drei Gewerke bereits 90 % der zu transportierenden Massen aus. Die mit jenen Gewerken im Zusammenhang stehenden Transportdistanzen wirken sich somit signifikant auf die Anzahl der Tonnenkilometer und in weiterer Folge auf die Menge an THG-Emissionen aus. Betonhersteller berücksichtigen Transportdistanzen bei der Lieferung von Transportbeton über sogenannte Frachtzonen. Der Betonhersteller Fa. Wopfinger unterscheidet beispielsweise in 12 Zonen von 5 bis 55 und mehr gefahrene Kilometer mit Fahrmischer.¹⁰³ Da die Daten betreffend die tatsächlichen Transportdistanzen nicht zur Verfügung gestellt werden konnten, wurde für die Wirkungsabschätzung eine konservative Annahme von 40 km getroffen. Für die Bewehrung wurden 30 km und für die Fertigteile 80 km Transportdistanz angenommen. Die Entfernung zur Erdaushub- und Altlastendeponie wurde basierend auf mehreren sich im Umkreis von 30-60 km um Wien befindenden Deponien^{104 105} auf 30 km geschätzt.

Bei der Wirkungsabschätzung im Rahmen der Sachbilanz wurden ecoinvent¹⁰⁶ Datensätze für LKW verwendet. Diese sind in Tabelle 2 und erneut in Tabelle 17 dargestellt. Die ecoinvent Datenbank enthält Datensätze für mehrere Euroklassen und Gewichtsklassen. Die Datensätze reprä-

¹⁰³ Vgl. Fa. Wopfinger (online), 2020

¹⁰⁴ Vgl. Fa. Rohrdorfer (online), 2021

¹⁰⁵ Vgl. Bezirk Gänserndorf (online), 2021

¹⁰⁶ Vgl. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part 6): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 15 07 2021].

sentieren das Service eines Tonnenkilometers Gütertransports und beziehen sich auf den gesamten Transportlebenszyklus, d.h. auf den Bau, den Betrieb, die Wartung und das Ende der Lebensdauer von Fahrzeug- und Straßeninfrastrukturen. Treibstoffverbrauch und Emissionen beziehen sich auf durchschnittliche europäische Fahrten und Beladungsfaktoren.

Tabelle 17: Verwendete Datensätze THG-Emissionen/tkm¹⁰⁸

IPCC2013, GWP100a/tkm [kg CO ₂ -Eq]	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
transport, freight, lorry >32 metric ton	0,09158	0,09012	0,0908	0,08693
transport, freight, lorry 16-32 metric ton	0,1666	0,1653	-	-
transport, freight, lorry 7,5-16 metric ton	0,2158	0,2136	-	-
transport, freight, lorry 3,5-7,5 metric ton	0,5159	0,5107	-	-

Abbildung 3.7, Abbildung 3.8, Abbildung 3.9 und Abbildung 3.10 zeigen einen beispielhaften Auszug aus dem CO₂neuBAU - Tool zur Wirkungsabschätzung der THG-Emissionen und eine Zusammenfassung der aus dem Antransport von Baumaterialien, dem An- und Abtransport von Baugeräten und dem Abtransport von Abfällen entstehenden THG-Emissionen.

Sachbilanz					Ergebnis Sachbilanz	
Transportmittel (Bezeichnung, Gesamtgewicht [t])	Ladegut Bezeichnung	Ladegut			Transportkilometer beladen [km]	Tonnenkilometer [tkm]
		Volumen [m ³]	Dichte [t/m ³]	Masse [t]		
Erdbau						
LKW 16 - 32 t (Diesel)	Hinterfüllung	2600	2	5200	70	364.000
Versickerungsanlagen						
LKW 16 - 32 t (Diesel)	Sickerschächte			8	30	240
LKW 16 - 32 t (Diesel)	Hinterfüllen Drainagekies 32/70	1470	1,7	2500	60	150.000
LKW 16 - 32 t (Diesel)	Feinsand	100	1,6	160	35	5.600

Abbildung 3.7: Auszug aus CO₂neuBAU - Tool (v0.6) - Transportprozesse A4; Erdbau und Versickerungsanlagen

¹⁰⁸ Vgl. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2019. The ecoinvent database version 3 (part 6): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 15 07 2021].

Wirkungsabschätzung					Ergebnis
Daten ecoinvent v 3,6 2019					Wirkungsabschätzung
Transportmittel (Bezeichnung, Gesamtgewicht [t])	LKW	Datensatz-Name	Einheit	IPCC2013, GWP100a/Einheit [kg CO2-Eq]	GWP 100 [kg CO2-Eq]
	Euroklasse				
Erdbau					
LKW 16- 32 t (Diesel)	4	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4_RER_2019_Allocation, cut-off	tkm	0,1653	60.169
Versickerungsanlagen					
LKW 16- 32 t (Diesel)	4	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4_RER_2019_Allocation, cut-off	tkm	0,1653	40
LKW 16- 32 t (Diesel)	4	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4_RER_2019_Allocation, cut-off	tkm	0,1653	24.795
LKW 16- 32 t (Diesel)	4	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4_RER_2019_Allocation, cut-off	tkm	0,1653	926

Abbildung 3.8: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Wirkungsabschätzung Transport A4; Erdbau u. Versickerung

Sachbilanz					Ergebnis		
					Sachbilanz		
Transportmittel (Bezeichnung, Gesamtgewicht [t])	Ladegut Bezeichnung	Ladegut			Transportkilo- meter beladen [km]	Tonnen- kilometer [tkm]	
		Volumen [m³]	Dichte [t/m³]	Masse [t]			
Summe der Prozesse "Antransport von Baumaterialien und -produkte (A4)"					39.330	3.075	1.975.371
Summe der Prozesse "An- und Abtransport von Baugerät (Kräne, Rüstma...)"					1.225	1.205	123.438
Summe der Prozesse "Abtransport von Abfällen (A5)"					50.230	60	1.506.900
Summe LKW					90.785	4.340	3.605.709
Summe ZUG					0	0	0
Summe Schiff					0	0	0

Abbildung 3.9: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Gesamtbilanz Prozesse A4 und A5

Wirkungsabschätzung				Ergebnis
Daten ecoinvent v 3,6 2019				Wirkungsabschätzung
			IPCC2013, GWP100a/Einheit [kg CO2-Eq]	GWP 100 [kg CO2-Eq]
				275.511
				12.714
				251.029
				539.254
				0
				0

Abbildung 3.10: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Wirkungsabschätzung THG-Emissionen gesamt (Prozesse A4 und A5)

In Summe ergeben sich aus dem Transport von Baumaterialien, Baugeräten und Abfällen ca. 540 to CO₂-Eq. Hinsichtlich der verwendeten Fahrzeuge, des tatsächlichen Treibstoffverbrauchs und der Transportdistanzen stehen für die reale Baustelle keine Daten zur Verfügung. Da der Transport grundsätzlich Teil der Subunternehmer- bzw. Lieferantenleistung ist, ist es auch nicht üblich und bisher auch für die Bauunternehmen nicht von Interesse, obgenannte Daten seitens der Baustelle zu sammeln. Bei der Auswahl von Lieferanten seitens der Bauunternehmen, stehen grundsätzlich der Preis, die Verlässlichkeit hinsichtlich der termintreuen Lieferungen und die

Qualität im Vordergrund, wobei Transportdistanzen auf die Preise und Pünktlichkeit der Lieferanten langfristig eine Auswirkung haben. Es ist daher in diesem Fall kein Vergleich der durchgeführten Abschätzung mit der Realität möglich. Die ausschlaggebendste Unbekannte sind die Entfernungen zwischen den Werktoeren der Produktionsstätten, Lager, Fuhrparks und den Baustellen, welche zu einer großen Schwankungsbreite im Zuge der Wirkungsabschätzung führen. Sind die entsprechenden Transportdistanzen zum Zeitpunkt der Wirkungsabschätzung unbekannt, so ist diese mit entsprechenden Unsicherheiten versehen und müsste bei Vergabe bzw. Beauftragung der Leistungen im Nachhinein angepasst werden. Um eine höhere Genauigkeit zu erzielen, können die Distanzen je nach Ort der Baustelle z.B. hinsichtlich des Einzugsgebiets einer Stadt eingegrenzt werden. Die Gegenüberstellung der zu transportierenden Massen hat gezeigt, dass lediglich die Entfernung des Betonwerks, der Bewehrungseisenproduktion, der Erddeponie und gegebenenfalls des Fertigteilwerks bekannt sein müssten, um eine hinreichend genaue Wirkungsabschätzung hinsichtlich der THG-Emissionen durchzuführen. Oft ist es möglich jene Hersteller bzw. Lieferanten aufgrund von langjähriger Zusammenarbeit, Ort der Baustelle und ggf. basierend auf unverbindlichen Vorgesprächen bereits auf einen kleinen Kreis von Anbietern einzugrenzen. Indem unter den Anbietern im Zuge der Wirkungsabschätzung diejenigen mit den größten Transportdistanzen berücksichtigt werden, kann eine konservative sowie realistische Abschätzung der THG-Emissionen erzielt werden.

Basierend auf einer Studie von Rosinak, Sedlak und Wagner zeigt das Arbeitspaket 3.4¹⁰⁹ der RUMBA Richtlinien das Transportaufkommen im Zuge der Errichtung einer Wohnsiedlung im Bezirk Rodaun an der Grenze zu Wien. Im Zuge dieses Bauprojekts wurden 102 Wohneinheiten errichtet. Die Berechnung von Rosinak, Sedlak und Wagner ergaben dabei, dass die größten Massen auf den Aushub, die Hinterfüllungen, die Betondecken und die Schotterlieferungen entfielen. Jene Gewerke machten dabei mehr als 50 % der LKW-Fahrten aus. Dabei wurden für eine Wohneinheit in etwa 561 t Material transportiert und ca. 30.000 Tonnenkilometer zurückgelegt. Im Fall der Musterbaustelle 1 ergeben sich aus der durchgeführten Abschätzung pro Wohneinheit 468 t Materialmenge und ca. 18.750 Tonnenkilometer.

¹⁰⁹ Vgl. MD-Stadtbaudirektion der Stadt Wien, 2004: Teil 4, S. 6

3.2 Baustelle „Urbaner Straßenbau“

Es handelt sich bei der Baustelle um eine Neuherstellung der Asphaltdecke einer Gemeindestraße in Wien, im Rahmen der Errichtung eines innerstädtischen Großbauvorhabens.

- Bauzeit: 1 Woche, Monat: Mai
- Bearbeitete Straßenfläche: 4305m²
- Anzahl Baucontainer: 5
- Eingesetzte Geräte vor Ort:
 - o Asphaltfertiger
 - o Walzen
 - o Vorspritzwagen
 - o LKW
 - o Handgeführte Walze
 - o Stromaggregat
- Eingebaute Asphaltdecken:
 - o Bituminöse Tragschichten
 - o Hochstandfeste bituminöse Tragschichten
 - o Bituminöse Deckschichten
 - o Splittmastixasphalt

Daten die mit geringem bis moderaten Aufwand zur Verfügung gestellt bzw. ausgehoben werden konnten:

- Baustoff- und Materialmengen (m², m³, lfm, to)
- Anzahl eingesetzter LKW-Fahrzeuge
- Elektronische Lieferscheine des Asphaltmischguts
- Standort Asphaltmischanlage
- Anzahl eingesetzter Asphaltfertiger
- Einsatzzeiten Vorspritzwagen

Daten die nicht ausgehoben werden konnten bzw. nicht zur Verfügung standen:

Stromverbrauch

- Kraftstoffverbräuche
- Gerätetypen bzw. -arten
- Baustelleneinrichtung
- Anzahl und Art der Kleingeräte
- Abfall- und Recyclingaufkommen auf der Baustelle

Die Systeminputs sind in diesem Fall der Transport von Asphaltmischgut zur Baustelle sowie die während des Asphalteinbaus seitens der Baugeräte aufgebrauchte Energie.

Die Systemprozesse beinhalten den Einbau und die Verarbeitung von Material unter Verwendung von Bauhilfsstoffen, Baugeräten, Arbeitskräften, Transporten innerhalb der Baustelle und der laufenden Versorgung der Baustelle unter Verwendung von Strom, Kraftstoff und Wasser.

Die Systemoutputs sind in diesem Fall das nutzungsfertige Straßenbauwerk und die während der Bautätigkeiten anfallenden und zu entsorgenden Materialverluste, Verpackungen, Baurestmassen, Altlasten, Abwässer, Holzabfälle, Metallabfälle und sonstige Abfälle.

3.2.1 Umweltrelevante Baustelleneinrichtung und Bauprozesse

Baustellencontainer

Hinsichtlich der allgemeinen Funktion, der Dimensionierung im Zuge der Baustelleneinrichtungsplanung und der gesetzlichen Vorschriften und Mindestanforderungen hinsichtlich Baustellencontainern wird an dieser Stelle auf das Kapitel 3.1.1 auf Seite 43 verwiesen, in welchem auf diese Themen bereits näher eingegangen wurde.

An dieser Stelle folgt eine Auflistung des für die Musterbaustelle 2 angenommenen Einsatzes von Baustellencontainern samt Ausstattungsbeschreibung, welche für die Abschätzung der zur Versorgung der Container benötigten Strommenge von großer Bedeutung ist:

Mannschaftscontainer/Aufenthaltscontainer, Anzahl: 1

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200
Elektrische Heizung	3.000
Klimagerät	2.000

Bürocontainer, Anzahl: 2

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200
Elektrische Heizung	3.000
Klimagerät	2.000
EDV Equipment	1.000

Sanitärcontainer, Anzahl:1

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200
Elektrische Heizung	3.000

Küchen-/Besprechungscontainer, Anzahl: 1

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200
Elektrische Heizung	3.000
Klimagerät	2.000
Küchengeräte	400

Die Energieversorgung der Baustellencontainer erfolgt über einen Stromanschluss, welcher über den zentralen Baustromzähler der Baustelle erfasst wird. Da es sich bei gegenständlichem Bauvorhaben um eines mit einer nur einwöchigen Bauzeit handelt, liegen auch keine Daten zum monatlichen Stromverbrauch vor.

Hinsichtlich der Containeranzahl wird von einer Mindestausstattung mit jeweils einem Mannschafts-, Sanitär- und Küchen- bzw. Besprechungscontainer sowie zwei Bürocontainern ausgegangen. Da das Bauvorhaben in den Sommermonaten stattfand, wird davon ausgegangen, dass die Heizung während der Bauphase nicht genutzt wurde. Im Zuge einer konservativen Abschätzung wurde angenommen, dass die Beleuchtung, die EDV/IT-Geräte und die Kühlung täglich 12 Stunden im Einsatz waren. Die Arbeitszeit von 12 Stunden täglich kann den digitalen Asphaltlieferungen entnommen werden.

Damit ergeben sich für die Beleuchtung, EDV und Kühlung jeweils 96 Betriebsstunden, für die Küchengeräte werden 24 Stunden abgeschätzt. Dies ergibt in Summe einen Gesamtstromverbrauch von ca. 317 kWh über drei Tage, wobei die Kühlung hierbei für 60 % des Verbrauchs verantwortlich ist.

Unter Berücksichtigung des entsprechenden Emissionsfaktors gemäß Tabelle 1 ergibt die Wirkungsabschätzung gemäß Abbildung 3.11 folgende Gesamtmenge an THG-Emissionen.

	Prozesse		Energieträger [Einheit]	Einsatzdauer [h]	Verbrauch/Einsatzdauer [Einheit/h]	Verbrauch 0			Emissionsfaktor	Einheit des Emissionsfaktors	THG-Emissionen [kg CO ₂ -Eq]
	Geräte	Aufgabe / Funktion				[Einheit]	[MJ]	[kWh]			
6. Heizung	Baucontainer	Beleuchtung	Strom [kWh]	96	0,2	19,2	69,12	19,2			
	Baucontainer	EDV/IT	Strom [kWh]	96	1	96	345,6	96			
	Baucontainer	Küchengeräte	Strom [kWh]	24	0,4	9,6	34,56	9,6			
	Baucontainer	Kühlung	Strom [kWh]	96	2	192	691,2	192			
	Zwischensumme Energieträger Strom, Prozess 6						316,8	1.140	317	0,3391	kg CO₂-Eq/kWh
Zwischensumme Prozesse 6							1.140	317			107

Abbildung 3.11: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - THG-Emissionen zufolge Stromversorgung der Baucontainer

Beleuchtung

Bezüglich grundsätzlicher Anforderungen, Planungskriterien und Arten der Baustellenbeleuchtung wird an dieser Stelle auf Kapitel 3.1.2 auf Seite 44 verwiesen, in welchem auf diese Themen bereits näher eingegangen wurde.

Da die Asphaltbaubaustelle in den Sommermonaten vollzogen wurde und davon auszugehen ist, dass die Lichtverhältnisse ausreichend waren, wurde die künstliche Beleuchtung energetisch nicht berücksichtigt.

Asphaltbaugeräte

Bei einem sogenannten Zentralmischverfahren wird ein Gemisch bestehend aus Grundstoff, Bindemittel und Wasser in einer stationären Mischanlage hergestellt und auf der Baustelle eingebaut und verdichtet.¹¹⁰ Jener Einbau erfolgt mittels Asphaltfertiger. Je nach Fahrwerk wird dabei zwischen Raupen- und Radfertigern unterschieden. Ein Asphaltfertiger besteht aus einem Fahrerstand mit darunterliegendem Fahrtrieb, dem Aufnahmebehälter, Kratzerbändern, Verteilerschnecken, Einbaubohle, Heizung und Nivellierautomatik.¹¹¹

Hinsichtlich der Verdichtung ist beim Asphalteinbau zwischen Walzasphalt und Gussasphalt zu unterscheiden. Beim Walzasphalt erfolgt eine Vorverdichtung beim Einbau durch den Straßenfertiger sowie eine Nachverdichtung mittels Walzen. Beim Gussasphalt werden Walzen zum Eindrücken der Abstreukörnung verwendet, da eine Verdichtung des Gussasphalts grundsätzlich nicht erforderlich ist.¹¹² Beim Einbau von Walzasphalt ist ein hoher Verdichtungsgrad erforderlich, um eine entsprechend hohe Verformungsbeständigkeit und Dauerhaftigkeit zu erzielen. Der zur Verdichtung erforderliche Aufwand hängt maßgeblich von der Zusammensetzung des Asphaltmischguts und von der Einbautemperatur ab. Ein Asphaltmischgut mit Rundkorn und einem hohen Bindemittelanteil bedarf einer geringeren Menge an Verdichtungsenergie als ein Mischgut mit gebrochenem Korn und wenig Bindemittel.¹¹³ Hinsichtlich der Einbautemperatur ist ein Wert von über 125°C wünschenswert, wobei der Maximalwert von 180°C aufgrund schädlicher Bindemittelinflüsse nicht überschritten werden sollte.¹¹⁴ Die Asphaltverdichtung hat grundsätzlich mittels Walzen zu erfolgen, wobei die Walzenart entsprechend der zu verdichtenden Mischgutsorte, Schichtdicke und der Umgebungsbedingungen zu wählen ist.¹¹⁵ Grundsätzlich können statische Glattmantelwalzen, Vibrationswalzen und Gummiradwalzen eingesetzt werden, wobei letztere zur Verdichtung von Asphaltdeckschichten nicht geeignet sind. Sofern nicht mit hoher erforderlicher Verdichtungsenergie aufgrund innerer Reibung, zu rechnen ist, können statische Glattmantelwalzen universal eingesetzt werden. Bei Asphalten der Sorte SMA, BBTM und PA dürfen ausschließlich Glattmantelwalzen verwendet werden.¹¹⁶ Die Anzahl der einzusetzenden Walzen hängt von der geplanten Einbaufläche des Asphaltfertigers und der erforderlichen Verdichtungsleistung ab. Bei gegenständlichem Bauvorhaben kamen zwei Walzen zum Einsatz.

Nach entsprechender Vorreinigung der Grundfläche sowie zwischen dem Einbau der einzelnen Asphaltsschichten erfolgt das sogenannte Vorspritzen mittels Bitumenemulsion, um eine Klebefläche für die darauffolgende Asphaltsschicht zu schaffen. Eine Bitumenemulsion ist eine Mischung

¹¹⁰ Vgl. IVWS, 2019: Kapitel 5, Teil 1, S. 34

¹¹¹ Vgl. Zeppelin Baumaschinen (online), 2021

¹¹² Vgl. Deutscher Asphaltverband (online), 2018

¹¹³ Vgl. Deutscher Asphaltverband (online), 2018

¹¹⁴ Vgl. Deutscher Asphaltverband (online), 2018

¹¹⁵ Vgl. IVWS, 2019: Kapitel 5, Teil 2, S. 17

¹¹⁶ Vgl. IVWS, 2019: Kapitel 5, Teil 2, S. 18

aus Bitumen, Wasser und Emulgatoren. Vor der Aufbringung wird die Emulsion auf 40-60°C erwärmt und nach dem Aufsprühen verdunstet das Wasser und es bleibt ein Klebefilm aus Bitumen und Zusätzen und schaffen einen kraftschlüssigen Verbund der Schichten untereinander.¹¹⁷ Zum gleichmäßigen und vollflächigen Auftragen der Bitumenemulsion werden auf einem Vorspritzwagen montierte Spritzgeräte mit Balken verwendet, wobei auf die Genauigkeit der Dosiermenge geachtet werden muss.¹¹⁸ Beim Asphaltbauprojekt kam ein Vorspritzwagen zum Einsatz.

Asphalteinbau

Die für die Herstellung, den Transport, den Einbau und die Verdichtung erforderlichen Einrichtungen, Geräte und Maschinen sind auf die Umgebungsbedingungen entsprechend abzustimmen, sodass die Baustelle kontinuierlich mit Asphaltmischgut versorgt werden kann und der Asphalt vor Ort schnell eingebaut wird.¹¹⁹ Das für den Asphaltbau und etwaige Nebearbeiten erforderliche Personal und erforderlichen Gerätschaften sind über die Gesamtdauer der Baustelle vorzuhalten.¹²⁰ Die zur kontinuierlichen Versorgung der Baustelle erforderliche Transportleistung ist zu gewährleisten. Dabei wird der Asphalt mittels LKW-Kippern mit winddichter Abdeckung in wärmeisolierten Behältern von der Asphaltmischanlage zur Baustelle transportiert.¹²¹ Die Fahrgeschwindigkeit des Straßenfertigers hängt von der Asphaltmenge und Mischgutsorte ab. Wichtig ist dabei, dass die Einbaugeschwindigkeit konstant bleibt, um Unebenheiten, ungleichmäßiger Vorverdichtung und Oberflächenbeschaffenheit vorzubeugen.¹²² Der Straßenfertiger wird während dem Asphaltieren kontinuierlich mit Asphalt aus dem LKW-Kipper versorgt, welcher während des Kippvorgangs gleichzeitig und im selben Tempo mit dem Straßenfertiger mitfährt. Sobald der Asphaltbehälter des LKW-Kippers leer ist, steht bereits der nächste beladene LKW bereit, um den Straßenfertiger weiter zu beschicken. Idealerweise bleibt die Geschwindigkeit des Straßenfertigers während dieses Wechsels konstant. Die Breite und Anordnung der gefertigten Asphaltbahnen muss so geplant werden, dass die dabei entstehenden Längsnähte nicht im Bereich von zukünftigen Radspuren entstehen.¹²³ Um den erforderlichen Verdichtungsgrad zu erreichen, erfolgt die Walzverdichtung direkt nach dem Einbau. Die Verdichtungswalzen fahren dem Straßenfertiger direkt hinterher und beginnen mit den Verdichtungsarbeiten bei einer Asphaltmischguttemperatur von $\geq 125^{\circ}\text{C}$ und sollten bei einer Asphaltmischguttemperatur von 90-100°C damit abschließen.¹²⁴ Sobald eine Asphaltenschicht fertig eingebaut und walzverdichtet ist, beginnt der Vorgang von Neuem und die eingebaute Asphaltenschicht wird vorgereinigt und durch das Auftragen einer Bitumenemulsion, auf den Einbau der darauffolgenden Schicht vorbereitet.

¹¹⁷ Vgl. Fachverband der chemischen Industrie Österreich (online), 2021

¹¹⁸ Vgl. Fachverband der chemischen Industrie Österreich (online), 2021

¹¹⁹ Vgl. IVWS, 2019: Kapitel 5, Teil 2, S. 17

¹²⁰ Vgl. IVWS, 2019: Kapitel 5, Teil 2, S. 17

¹²¹ Vgl. Deutscher Asphaltverband (online), 2018

¹²² Vgl. Deutscher Asphaltverband (online), 2018

¹²³ Vgl. IVWS, 2019: Kapitel 5, Teil 2, S. 17

¹²⁴ Vgl. Deutscher Asphaltverband (online), 2018

In Tabelle 18 sind die aus dem beauftragten Leistungsverzeichnis des realen Asphalteinbauprojekts entnommenen Asphaltmischgutarten und Mengen ersichtlich:

Tabelle 18: Asphaltmengen gemäß LV

Asphaltmischgut	Fläche [m ²]	Schichtdicke verdichtet [cm]	Gesamtgewicht [t]
Bituminöse Tragschichten			
AC22	2.355	6	336
AC22	2.355	7	392
Hochstandfeste bituminöse Tragschichten			
AC32	3.435	12,5	1.020
AC22	4.305	9	920
Bituminöse Deckschichten			
AC11	2.355	3	168
Splittmastixasphalt			
SMA11	4.305	3,5	358
Bitumenemulsion			
pmB	11.300		4,5

Asphaltfertiger besitzen Einbauleistungen von bis zu 250 t/h und eine theoretische Einbaugeschwindigkeit von bis zu 60 m/min. Das Erreichen derartiger Geschwindigkeiten ist in der Praxis jedoch nicht realistisch, da einerseits die kontinuierliche Beschickung der Fertiger mit Asphalt logistisch kaum möglich wäre und andererseits die Walzen mit dem Verdichten nicht nachkommen würden. In der Praxis wird mit Einbaugeschwindigkeiten zwischen 2,0-4,5 m/min¹²⁵ gearbeitet. Da die tatsächliche Einbaugeschwindigkeit bei gegenständlichem Bauvorhaben nicht bekannt ist, wird eine konservative Annahme am unteren Ende des Richtwerts mit 2,0 m/min getroffen. Der bearbeitete Straßenabschnitt besitzt eine Breite von 8 m. Es war ein Asphaltfertiger mit einer Einbaubreite von 4,0 m im Einsatz. Aus den Asphaltierflächen gemäß LV ergeben sich bei Division durch die Straßenbreite die jeweiligen Längen der Einbauabschnitte. Unter Berücksichtigung der angenommenen Einbaugeschwindigkeit und Kraftstoffverbräuche gemäß Winkler C.: „Betriebsstoffverbrauch von Baumaschinen als Faktor einer ökoeffizienten Bauprozessoptimierung“, Dissertation, IBPM-TU Wien, 2017, ergeben sich gemäß Tabelle 19 folgende Einsatzdauern und Gesamtverbräuche der Asphaltfertiger:

¹²⁵ Vgl. Zentralverband Deutsches Baugewerbe (online), 2018

Tabelle 19: Einsatzdauer und Gesamtverbrauch je Asphaltfertiger

Material	LV Menge [m ²]	Dauer Herstellung Fertiger [h]	Kraftstoffverbrauch Fertiger [l/h]	Gesamtverbrauch [l]
Spezialreinigen Hochdruckwasser (mit Fahrzeug)	3195			
Vorspritzen mit Bitumenemulsion	11300			
Bituminöse Tragschichten				
AC22 6cm	2355	3,5	12,9	45,15
AC22 7cm	2355	3,5	12,9	45,15
Hochstandfeste bituminöse Tragschichten				
AC32 12,5cm	3435	6,5	12,9	83,85
AC22 9,0cm	4305	8	12,9	103,2
Bituminöse Deckschichten				
AC11 3cm	2355	3	12,9	38,7
Splittmastixasphalt				
SMA11 3,5cm	4305	6,5	12,9	83,85
GESAMT	33605	31		399,9

Nach dem Einbau mittels Asphaltfertiger folgt die Walzverdichtung. Da die Einbaugeschwindigkeit des Asphaltfertigers entsprechend der Geschwindigkeit der Walzverdichtung gewählt wird, entspricht die angenommene Einsatzdauer der Walzen jener des Asphaltfertigers. In Summe ergeben sich lt. Tabelle 20 für das Bauvorhaben folgende Einsatzdauern und Gesamtverbräuche je Walze:

Tabelle 20: Einsatzdauer und Gesamtverbrauch je Walze

Material	LV Menge [m ²]	Dauer Herstellung Walzen [h]	Kraftstoffverbrauch h Walzen [l/h]	Gesamtverbrauch [l]
Spezialreinigen Hochdruckwasser (mit Fahrzeug)	3195			
Vorspritzen mit Bitumenemulsion	11300			
Bituminöse Tragschichten				
AC22 6cm	2355	3,5	6,8	23,8
AC22 7cm	2355	3,5	6,8	23,8
Hochstandfeste bituminöse Tragschichten				
AC32 12,5cm	3435	7	6,8	47,6
AC22 9,0cm	4305	8	6,8	54,4
Bituminöse Deckschichten				
AC11 3cm	2355	3	6,8	20,4
Splittmastixasphalt				
SMA11 3,5cm	4305	6,5	6,8	44,2
GESAMT	33605			214,2

Laut Auskunft des ausführenden Bauunternehmens war der Vorspritzwagen vor jedem Schichteinbau ca. eine Stunde im Einsatz. Daraus ergibt sich ein Gesamtverbrauch von ca. 84 Liter Dieselmotorkraftstoff. Des Weiteren wurde für jene Bereiche, welche aufgrund der Kleinteiligkeit durch den Asphaltfertiger nicht erreicht werden konnten, der Einsatz einer handgeführten Walze angenommen und die Einsatzdauer auf ca. 5 Stunden abgeschätzt.

THG Emissionen der Prozesse A5 (vor Ort)

Unter Berücksichtigung des entsprechenden Emissionsfaktors gemäß Tabelle 1 ergeben sich für sämtliche vor Ort stattfindenden Prozesse gemäß Abbildung 3.12 folgende THG-Emissionsmengen:

		Sachbilanz 0			Ergebnis SB 0			Wirkungsabschätzung		Ergebnis WA 0
Prozesse		Energieträger	Einsatzdauer	Verbrauch/Einsatzdauer	Verbrauch 0			Emissionsfaktor	Einheit des Emissionsfaktors	THG-Emissionen
Geräte	Aufgabe / Funktion	[Einheit]	[h]	[Einheit/h]	[Einheit]	[MJ]	[kWh]			[kg CO ₂ -Eq]
Asphaltfertiger 17t	Asphalteinbau	Diesel [l]	31	12,9	399,9	14396,4	3999	0,09195		
Asphaltfertiger 17t	Asphalteinbau	Diesel [l]	31	12,9	399,9	14396,4	3999	0,09195		
Walze	Verdichtung	Diesel [l]	32	6,8	217,6	7833,6	2176	0,09195		
Walze	Verdichtung	Diesel [l]	32	6,8	217,6	7833,6	2176	0,09195		
Vorspritzwagen	Vorspritzen Bindemittel	Diesel [l]	10,5	8	84	3024	840	0,09195		
LKW 16-32t	Asphaltbeschickung	Diesel [l]	13,8	3	41,4	1490,4	414	0,09195		
Zwischensumme Energieträger Diesel, Prozess 1					1.360	48.974	13.604	0,09195	kg CO₂-Eq/MJ	4.503
Zwischensummen Prozesse 1						48.974	13.604			4.503
Baucontainer	Beleuchtung	Strom [kWh]	96	0,2	19,2	69,12	19,2			
Baucontainer	EDV/IT	Strom [kWh]	96	0,5	48	172,8	48			
Baucontainer	Küchengeräte	Strom [kWh]	24	0,4	9,6	34,56	9,6			
Baucontainer	Kühlung	Strom [kWh]	96	1,3	124,8	449,28	124,8			
Zwischensumme Energieträger Strom, Prozess 6					201,6	726	202	0,3391	kg CO₂-Eq/kWh	68
Zwischensumme Prozesse 6						726	202			68
Kleingeräte 0,7t	Handgeführte Walze	Diesel [l]	5	1,2	6	216	60	0,09195		
	Stromaggregat	Diesel [l]	8	2	16	576	160	0,09195		
Zwischensumme Energieträger Diesel, Prozess 7					22	792	220	0,09195	kg CO₂-Eq/MJ	73
Zwischensumme Prozesse 7						792	220			73
Summe der Prozesse A5						50.492	14.026			4.644
Summe Energieträger Diesel			Kraftstoff (Diesel)		1.382	49.766	13.824	0,092	kg CO₂-Eq/MJ	4.576
Summe Energieträger Strom			Strom		202	726	202	0,339	kg CO₂-Eq/kWh	68

Abbildung 3.12: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - THG-Emissionen der Prozesse A5

Für das gemäß ÖNORM EN 15978 definierte Informationsmodul der Errichtungsphase: A5 (Prozesse vor Ort) ergeben sich aus der Sachbilanz nun folgende, in der Tabelle 21, Tabelle 22 und Tabelle 23 dargestellten Summenwerte. Die Umrechnung der Litermenge an Diesel in MJ erfolgt über den volumsspezifischen Energiegehalt, welcher 36 MJ/l¹²⁶ beträgt.

GWP 100a

Tabelle 21: GWP 100a Emissionen gesamt für Prozesse vor Ort

Energie-träger	Menge	MJ	kWh	Emissionsfaktor ¹²⁷	THG [to CO ₂ -Eq]
Diesel	1.039 l	37.418	10.394	0,092 kg CO ₂ -Eq/MJ	4,6
Strom	317 kWh	1.140	317	0,339 kg CO ₂ -Eq/kWh	0,068
Summe					4,6

¹²⁶ Vgl. EU (online), 2009: S. 34

¹²⁷ Vgl. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part 6): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8> [Accessed 15 07 2021].

Direkte Emissionen

Tabelle 22: nur direkte Emissionen der Prozesse vor Ort

Energie-träger	Menge	MJ	kWh	Emissionsfaktor ¹²⁸	THG [to CO ₂ -Eq]
Diesel	1.039 l	37.418	10.394	2,458 kg CO ₂ -Eq/l	3,4
Strom	317 kWh	1.140	317	0	0
Summe					3,4

THG-Emissionen

Tabelle 23: THG-Emissionen gesamt der Prozesse vor Ort

Energie-träger	Menge	MJ	kWh	Emissionsfaktor ¹²⁹	THG [to CO ₂ -Eq]
Diesel	1.039 l	37.418	10.394	3,098 kg CO ₂ -Eq/l	4,3
Strom	317 kWh	1.140	317	0,258 kg CO ₂ -Eq/kWh	0,052
Summe					4,3

3.2.2 Transport

Das Transportaufkommen und die damit verbundenen THG-Emissionen werden aufgrund mangelnder Daten hinsichtlich Transportdistanzen, Zwischenlagerungen und eingesetzten Fahrzeugen, basierend auf den Materialmengen aus dem Leistungsverzeichnis und deren spezifischen Gewichten entsprechend abgeschätzt. Die Gewerke und zu transportierenden Materialien halten sich im Vergleich zu Musterbaustelle 1 (siehe Kapitel 3.1 - Hochbau) in Grenzen. Neben der Baustelleneinrichtung und den Baugeräten, ist allen voran der Asphalt das wichtigste und ausschlaggebendste Transportgut der Asphalteinbau-Baustelle. Die durch den Transport verursachten THG-Emissionen hängen somit im Fall von Asphalteinbauten maßgeblich von der Transportdistanz der Asphaltmischanlage ab, da diese Bauleistung die meisten Tonnenkilometer verursacht.

Folgende Daten wurden zur Abschätzung der THG-Emissionen im Zusammenhang mit den Transportprozessen der Baustelle verwendet:

- Gewichte der transportierten Materialien in Tonnen [t].
- Transportdistanz von den Werken der Güter bis zur Baustelle in Kilometer [km].
- Gewichte der Baugeräte (Asphaltfertiger, Walzen usw.) in Tonnen [t]
- Transportdistanz der Baugeräte bis zur Baustelle und zurück (An- und Abtransport) in Kilometer [km].

¹²⁸ Vgl. Umweltbundesamt (online), 2020

¹²⁹ Vgl. Umweltbundesamt (online), 2020

- Gewichte der Abfälle in Tonnen [t].
- Transportdistanz der Abfälle von der Baustelle bis zur endgültigen Beseitigung oder bis zum Ende des Abfallstatus (nur Abtransport) in Kilometer [km].
- Verwendete Transportmittel inkl. ev. Zusatzinformationen (z.B. Euroklassen 3-6 u. Gewichtsklassen 3,5-7,5 t, 4,5-16 t, 16-32 t, > 32t von LKWs).

Tabelle 24 zeigt die Massenauswertung des Leistungsverzeichnisses des gegenständlichen Projekts nach Gewerken:

Tabelle 24: Massen lt. Leistungsverzeichnis

Transportgut/Gewerk	Masse [t]
Bituminöse Tragschichten	728
Hochstandfeste bituminöse Tragschichten	1.941
Bituminöse Deckschichten	168
Splittmastixasphalt	358
Gussasphalt	15,12
Polymermodifizierte Bitumenemulsion	5
Baugeräte	61
Bauhilfsstoffe	3
Baustelleneinrichtung	8
Baustellenabfälle	9
Summe	3.296,12

MASSENBLANZ MUSTERBAUSTELLE 2

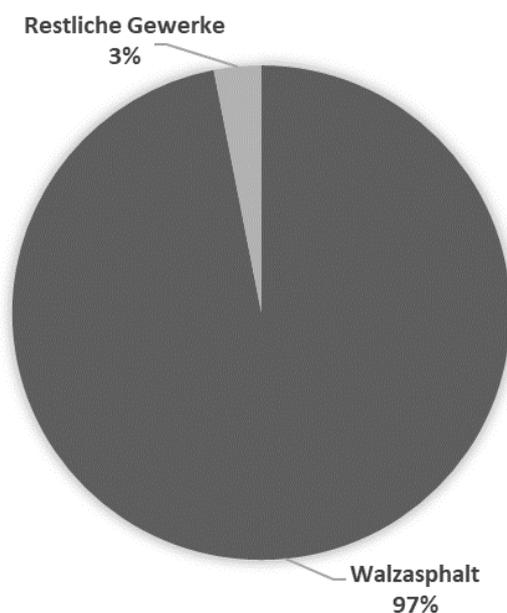


Abbildung 3.13: Massenbilanz Musterbaustelle 2

Aus der Massenbilanz in Abbildung 3.13 ist ersichtlich, dass die Walzasphaltnischgüter den mit Abstand größten Mengenanteil ausmachen. Diese machen bereits 97 % der zu transportierenden Massen aus. Die mit den Asphaltnischgütern im Zusammenhang stehenden Transportdistanzen, wirken sich somit signifikant auf die Anzahl der Tonnenkilometer und in weiterer Folge auf die Menge an THG-Emissionen aus.

Im Zusammenhang mit dem Asphaltnischguttransport müssen Maßnahmen getroffen werden, die den Erhalt der geforderten Mischgutqualität sicherstellen. Dazu zählen die Verwendung eines geeigneten Trennmittels auf der sauberen LKW-Ladefläche, die Vermeidung von Entmischungen durch zu hohe Fallhöhen beim Be- und Entladen und die winddichte Abdeckung des Walzasphalts.¹³⁰ Die winddichte Abdeckung zu jeder Jahreszeit ist von essenzieller Bedeutung, da einerseits die Temperaturverluste gering gehalten werden und andererseits die für das Mischgut schädliche Bindemitteloxidation, durch mittels Fahrtwind zugeführtem Sauerstoff, unterbunden wird.¹³⁰ Das Asphaltnischgut besitzt beim Beladen des LKW eine Temperatur von ca. 150-180 °C und muss beim Einbau auf der Baustelle eine Einbautemperatur von mindestens 125 °C aufweisen, um den geforderten Verdichtungsgrad erreichen zu können. Aus diesem Grund sind entsprechend kurze Transportdistanzen zwischen Asphaltnischanlage und Einbaustelle zu empfehlen bzw. erforderlich. Bei gegenständlichem Bauvorhaben ist der Standort der Asphaltnischanlage bekannt und die Transportdistanz beträgt in etwa 5 km.

Bei der Wirkungsabschätzung im Rahmen der Sachbilanz wurden die bereits unter Punkt 3.1.2 beschriebenen ecoinvent Datensätze für LKW verwendet.

Die folgende Abbildung 3.14, Abbildung 3.15, Abbildung 3.16 und Abbildung 3.17 zeigen einen beispielhaften Auszug aus dem CO2neuBau-Tool zur Wirkungsabschätzung der THG-Emissionen und eine Zusammenfassung der aus dem Antransport von Baumaterialien, Baugeräten und dem Abtransport von Abfällen, entstehenden THG-Emissionen.

Sachbilanz					Ergebnis Sachbilanz	
Transportmittel (Bezeichnung, Gesamtgewicht [t])	Ladegut Bezeichnung	Ladegut			Transportkilometer beladen [km]	Tonnenkilometer [tkm]
		Volumen [m³]	Dichte [t/m³]	Masse [t]		
Bituminöse Tragschichten						
LKW 16 - 32 t (Diesel)	AC22trag, 70/100, T1, G4, 6cm			335,6	5	1.678
LKW 16 - 32 t (Diesel)	AC22trag, 70/100, T1, G4, 7cm			391,52	5	1.958
Hochstandfeste bituminöse Tragschichten						
LKW 16 - 32 t (Diesel)	AC32binder, PmB25/55-65, H1, G4, 12,5cm			1020	5	5.100
LKW 16 - 32 t (Diesel)	AC32binder, PmB25/55-65, H1, G4, 9,0cm			921	5	4.605
Polymermodifizierte Bitumenemulsion						
LKW 7,5 - 16 t (Diesel)	PmB (Vorspritzen)			4,6	50	230

Abbildung 3.14: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Beispiel Sachbilanz Transportprozesse A4; Asphaltnischgüter

¹³⁰ Vgl. Deutscher Asphaltverband (online), 2021

3 THG-Emissionen in der Errichtungsphase – Untersuchung von Musterbaustellen

Transportmittel (Bezeichnung, Gesamtgewicht [t])	Wirkungsabschätzung				Ergebnis Wirkungsabschätzung GWP 100 [kg CO ₂ -Eq]
	LKW Euroklasse	Daten ecoinvent v 3,6 2019			
		Datensatz-Name	Einheit	IPCC2013, GWP100a/Einheit [kg CO ₂ -Eq]	
Bituminöse Tragschichten					
LKW 16 - 32 t (Diesel)	4	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4_RER_2019_Allocation, cut-off	tkm	0,1653	277
LKW 16 - 32 t (Diesel)	4	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4_RER_2019_Allocation, cut-off	tkm	0,1653	324
Hochstandfeste bituminöse Tragschichten					
LKW 16 - 32 t (Diesel)	4	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4_RER_2019_Allocation, cut-off	tkm	0,1653	843
LKW 16 - 32 t (Diesel)	4	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4_RER_2019_Allocation, cut-off	tkm	0,1653	761
Polymermodifizierte Bitumenemulsion					
LKW 7,5 - 16 t (Diesel)	4	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4_RER_2019_Allocation, cut-off	tkm	0,1653	38

Abbildung 3.15: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Wirkungsabschätzung Transportprozesse A4; Asphaltmischgüter

Transportmittel (Bezeichnung, Gesamtgewicht [t])	Ladegut Bezeichnung	Ladegut			Transportkilometer beladen [km]	Tonnenkilometer [tkm]
		Volumen [m ³]	Dichte [t/m ³]	Masse [t]		
Summe der Prozesse "Antransport von Baumaterialien und -produkte (A4)"					3.214	16.276
Summe der Prozesse "An- und Abtransport von Baugerät (Kräne, Rüstmaterialien usw.) (A4)"					73	3.313
Summe der Prozesse "Abtransport von Abfällen (A5)"					9	370
Summe LKW					3.296	19.959
Summe ZUG					0	0
Summe Schiff					0	0

Abbildung 3.16: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Gesamtbilanz Prozesse A4 und A5

Wirkungsabschätzung				Ergebnis Wirkungsabschätzung GWP 100 [kg CO ₂ -Eq]
Daten ecoinvent v 3,6 2019				
				2.690
				521
				61
				3.273
				0
				0

Abbildung 3.17: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Wirkungsabschätzung THG-Emissionen gesamt (Prozesse A4 und A5)

In Summe ergeben sich aus dem Transport von Baumaterialien, Baugeräten und Abfällen 3,3 to CO₂-Eq. Es wurden die Emissionsfaktoren gemäß Tabelle 2 verwendet.

3.3 Baustelle „Thermische Sanierung eines städtischen Wohnbaus“

Bei der Musterbaustelle 3 handelt es sich um eine umfassende Sanierung inkl. thermischer Er-tüchtigung eines Wiener Gemeindebaus mit sieben Obergeschossen und einem Untergeschoss,

- BGF: ca. 12.000 m², Grundfläche ca. 1.600 m²
- Fassadenfläche ca. 5.200 m² davon Fensterfläche ca. 1.200 m²
- Durchgeführte Arbeiten:
 - o Abbrucharbeiten
 - o Instandsetzungsarbeiten (Spenglerarbeiten, Metallbauarbeiten, Fenstertausch etc.)
 - o Dämmarbeiten (Fassade und Dach)
 - o Elektriker- und Installateurarbeiten
- Vor Ort verwendete Geräte:
 - o Materialaufzug
 - o Dieselgeneratoren, Kompressoren etc.
 - o Kleingeräte
 - o Asphaltfertiger
 - o Bagger (9 Tonnen Gesamtgewicht)
- Anzahl Baucontainer: 5
- Bauzeit: 17 Monate über zwei Winterperioden

Daten die mit geringem bis moderatem Aufwand zur Verfügung gestellt bzw. ausgehoben werden konnten:

- Baustoff- und Materialmengen (m², m³, lfm, to)
- Bauzeitplan
- Anzahl und Art der Großgeräteaus den Bautagesberichten
- Anzahl und Art der Baustelleneinrichtung aus dem Baustelleneinrichtungsplan
- Monatlicher Stromverbrauch der Baustelle
- Abfallaufkommen auf der Baustelle

Daten die nicht ausgehoben werden konnten bzw. nicht zur Verfügung standen:

- Transporte zur und von der Baustelle: Anzahl der Transporteinheiten, Art bzw. Kategorie des Transportmittels, Transportdistanzen, Beladungsgrad und Leerfahrten.
- Detaillierte Zuweisung der Energieverbräuche zu den einzelnen Bauverfahren, -Geräten und -Prozessen der Baustoffverarbeitung

- Anzahl und Art der Kleingeräte

3.3.1 Umweltrelevante Baustelleneinrichtung und Bauprozesse

Baustellencontainer

Hinsichtlich der allgemeinen Funktion, der Dimensionierung im Zuge der Baustelleneinrichtungsplanung und der gesetzlichen Vorschriften und Mindestanforderungen an Baustellencontainern wird an dieser Stelle auf Kapitel 3.1.1 verwiesen, in welchem auf diese Themen bereits näher eingegangen wurde.

An dieser Stelle folgt eine Auflistung der Anzahl und Art der im Zuge der Musterbaustelle 3 eingesetzten Baustellencontainer gemäß Baustelleneinrichtungsplan sowie eine Annahme der jeweiligen Containerausstattung. Laut den zu Verfügung gestellten Ausschreibungsunterlagen kamen thermisch gedämmte Container zum Einsatz, die einen geringeren Heizwärmebedarf aufweisen als konventionelle, ungedämmte Container. Die Anschlussleistung der Heiz- und Kühlgeräte wird aus diesem Grund niedriger angesetzt als für die Musterbaustelle 1.

Mannschaftscontainer/Aufenthaltscontainer, Anzahl: 2

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200
Elektrische Heizung	1.000
Klimagerät	1.300

Bürocontainer, Anzahl: 1

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200
Elektrische Heizung	1.000
Klimagerät	1.300
EDV Equipment	800

Sanitärcontainer, Anzahl:1

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200
Elektrische Heizung	1.000

Küchen-/Besprechungscontainer, Anzahl: 1

Ausstattung	Anschlussleistung [Watt]
Beleuchtung	200
Elektrische Heizung	1.000
Klimagerät	1.300
Küchengeräte	400

Die Energieversorgung der Baustellencontainer erfolgt über einen Stromanschluss, welcher über den zentralen Baustromzähler der Baustelle erfasst wird. Die seitens Baufirma zur Verfügung gestellten monatlichen Stromverbrauchsdaten, werden am Ende dieses Kapitels dargestellt und mit den abgeschätzten Verbräuchen verglichen.

Dem zur Verfügung gestellten Baustelleneinrichtungsplan können Informationen über die eingesetzten Baustellencontainer entnommen werden. Diese wurden zur Gänze mit Strom versorgt. Über den Bauzeitplan lässt sich rückschließen, über wie lange und über wie viele Sommer- und Wintermonate die Container genutzt wurden. Basierend auf diesen Informationen wurden weiterführende Abschätzungen durchgeführt.

Für die Beleuchtung der Container wurde für die Monate Oktober bis April eine Beleuchtungsdauer angenommen, wobei in den Wintermonaten von einer ganztägigen und in den Herbstmonaten von einer halbtägigen Beleuchtungsnutzung ausgegangen wird. In Summe ergibt sich über die gesamte Bauzeit eine Einsatzdauer von ca. 8.460 Stunden und ein Verbrauch von 1.692 kWh.

Für die EDV/IT-Geräte in den Baubüros wird von einer ganztägigen Nutzung über die gesamte Bauzeit ausgegangen, was in Summe eine Nutzungsdauer von ca. 1.764 Stunden und einen Verbrauch von 2.822 kWh ergibt.

Hinsichtlich der Küchengerätschaften wird angenommen, dass diese durchschnittlich 2,5 Stunden pro Tag über die gesamte Bauzeit im Einsatz sind. Dies ergibt eine Gesamteinsatzdauer von ca. 1.103 Stunden und einen Verbrauch von ca. 441 kWh.

Hinsichtlich des Energieverbrauchs der Heizung stellt sich die größte Schwankungsbreite dar. Je nach Nutzungsverhalten, klimatischen Bedingungen und Jahreszeiten fällt der Heizbedarf unterschiedlich aus. Bei der Abschätzung der Heizdauer im Zuge der Sachbilanz, wurde eine Heizdauer von 16 Stunden in den Monaten Dezember bis Februar angenommen. In Summe ergibt sich eine Einsatzdauer der Baucontainerheizung von ca. 12.700 Stunden und ein Gesamtverbrauch von 12.700 kWh über die gesamte Bauzeit.

Ähnlich wie bei der Heizung, ist die Schwankungsbreite des Kühlenergiebedarfs groß, wobei der Fall der durchgehend über Nacht laufenden Kühlung eher auszuschließen ist. Im Hinblick auf das Nutzerverhalten wird angenommen, dass die Klimageräte in den Monaten Juni, Juli und August sechs Stunden täglich in Betrieb waren. Damit ergibt sich eine Einsatzdauer von 3.024 Stunden und ein Verbrauch von ca. 3.932 kWh über die gesamte Bauzeit.

Unter Berücksichtigung des entsprechenden Emissionsfaktors gemäß Tabelle 1, ergibt die Wirkungsabschätzung gemäß Abbildung 3.18 folgende Gesamtmenge an THG-Emissionen:

		Sachbilanz 0			Ergebnis SB 0			Wirkungsabschätzung		
Prozesse		Energieträger	Einsatzdauer	Verbrauch/Einsatzdauer	Verbrauch 0			Emissionsfaktor	Einheit des Emissionsfaktors	THG-Emissionen [kg CO ₂ -Eq]
Geräte	Aufgabe / Funktion	[Einheit]	[h]	[Einheit/h]	[Einheit]	[MJ]	[kWh]			
Baucontainer	Beleuchtung	Strom [kWh]	8460	0,1	846	3045,6	846			
Baucontainer	EDV/IT	Strom [kWh]	3528	0,5	1764	6350,4	1764			
Baucontainer	Küchengeräte	Strom [kWh]	1386	0,4	554,4	1995,84	554,4			
Baucontainer	Heizung	Strom [kWh]	12700	1	12700	45720	12700			
Baucontainer	Kühlung	Strom [kWh]	3024	1,3	3931,2	14152,32	3931,2			
Beleuchtung	Leuchtstrahler	Strom [kWh]	924	4,25	3927	14137,2	3927			
Zwischensumme Energieträger Strom, Prozesse					23722,6	85.401	23.723	0,3391	kg CO ₂ -Eq/kWh	8.044
Zwischensumme Prozesse 6						85.401	23.723			8.044

Abbildung 3.18: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - THG-Emissionen zufolge Stromversorgung der Baucontainer

Beleuchtung

Betreffend die grundsätzlichen Anforderungen, Planungskriterien und Arten der Baustellenbeleuchtung wird an dieser Stelle auf das Kapitel 3.1.1 verwiesen, in welchem auf diese Themen bereits näher eingegangen wurde. Dem Baustelleneinrichtungsplan kann die Anzahl und Positionierung der allgemeinen Baustellenaußenbeleuchtung entnommen werden, siehe Tabelle 25:

Tabelle 25: Übersicht Baustellenbeleuchtung

Art d. Beleuchtung	Zweck	Anzahl	Anschlussleistung gesamt [Watt]
Scheinwerfer	Allg. Beleuchtung von Verkehrswegen	17	250

Über die Auswertung der Tagesstunden¹³¹ über die Bauzeit von 17 Monaten ergibt sich eine durchschnittliche Einsatzzeit von 2,0 Stunden pro Tag. Die Innenbeleuchtung der Container wurde bereits in der Verbrauchsermittlung der Baustellencontainer berücksichtigt.

In Summe ergibt die Abschätzung eine Einsatzdauer von 924 Stunden für die allgemeine Baustellenbeleuchtung mittels Baustellenscheinwerfern. Unter Berücksichtigung des Emissionsfaktors zur Stromaufbringung gemäß ecoinvent¹³² Datenbank ergibt die Sachbilanz eine THG-Emissionsmenge von 1,3 to CO₂-Eq für die Baustellenbeleuchtung.

Materialaufzug

Da bei Sanierungsvorhaben Material in ein bereits bestehendes und allseitig umschlossenes Gebäude eingebracht bzw. aus diesem abtransportiert werden muss und Krane wesentlich seltener und kürzer zum Einsatz kommen als bei Neubauten, da die Bauteile und Materialien nicht einfach

¹³¹ Vgl. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (online), 2021

¹³² Vgl. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part 6): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 15 07 2021].

von oben in die Gebäude hereingehoben werden können, werden zum vertikalen Materialtransport temporäre Material- bzw. Lastenaufzüge eingesetzt. Diese werden bereits vor dem Aufstellen des Fassadengerüsts aufgebaut und nach Fertigstellung des Bauvorhabens wieder abgebaut und abtransportiert. Je nach Erfordernis der jeweiligen Baustelle, werden entsprechende, sich nach Art, Größe und Antrieb unterscheidende Materialaufzüge gewählt. Bei gegenständlichem Bauvorhaben kamen zwei Seilaufzüge mit 500 kg Tragfähigkeit, einer Förderhöhe von 40 m und einer Anschlussleistung von 5,5 kW zum Einsatz. Die Materialaufzüge waren während den Fassaden- und Dacharbeiten über einen Zeitraum von 7 Monaten im Einsatz. Da keine Daten hinsichtlich der Nutzungsintensität und des tatsächlichen Verbrauchs der Materialaufzüge vorliegen, wird angenommen, dass die Aufzüge pro Tag durchschnittlich ca. 1,5 Stunden bei voller Leistung im Einsatz waren. Daraus ergibt sich ein Gesamtverbrauch von 12.705 kWh und eine THG-Emissionsmenge von 4,4 to CO₂-Eq.

Großbaugeräte

Im Vergleich zu Neubauten, fällt der Einsatz und Leistungsanteil von großen Baugeräten im Fall von Sanierungen wesentlich geringer aus. Da das Gebäude bereits errichtet ist, bedarf es keiner aufwändigen Erdaushübe und die Verhebearbeiten werden aufgrund der geschlossenen Gebäudehülle von Kranen auf Materialaufzüge verlagert. Werden umfassende Sanierungsarbeiten bzw. Erneuerungen der Dachkonstruktion durchgeführt oder ein zusätzliches Geschoss dazu gebaut, kommen je nach Umfang der Bauarbeiten kleinere Turmdrehkrane und/oder Autokrane zum Einsatz. Aus den Bautagesberichten der Baufirma kann entnommen werden, dass ein Autokran mit einem Gesamtgewicht von 60 t, acht Tage lang im Einsatz war. Mit einem durchschnittlichen Verbrauch von 8 l/h¹³³ ergibt sich daraus ein Gesamtverbrauch von 476 l Dieselkraftstoff und damit THG-Emissionen in Höhe von 1,6 to CO₂-Eq.

Im Zuge der Errichtung der Außenanlagen, wurden asphaltierte Gehwege hergestellt. Hierfür kamen ein Bagger, ein Asphaltfertiger und eine Tandemwalze zum Einsatz. Die zugehörigen Verbräuche und THG-Emissionsmengen lauten gemäß Abbildung 3.19 wie folgt:

		Sachbilanz 0		Ergebnis SB 0			Wirkungsabschätzung		Ergebnis WA 0	
Prozesse		Energieträger	Einsatzdauer	Verbrauch/Einsatzdauer	Verbrauch 0			Emissionsfaktor	Einheit des Emissionsfaktors	THG-Emissionen [kg CO ₂ -Eq]
Geräte	ufgabe / Funktion	[Einheit]	[h]	[Einheit/h]	[Einheit]	[MJ]	[kWh]			
Bagger 9t	Erdaushub	Diesel [l]	16	10	160	5760	1600			
Asphaltfertiger	Außenanlagen	Diesel [l]	8,5	12,9	109,65	3947,4	1096,5			
Walze	Außenanlagen	Diesel [l]	8,5	10	85	3060	850			
Zwischensumme Energieträger Diesel, Prozt					355	12.767	3.547	0,09195	kg CO ₂ -Eq/MJ	1.174
Zwischensummen Prozesse 1						12.767	3.547			1.174

Abbildung 3.19: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - THG-Emissionen aus Erdarbeiten und Freiflächenplanung

Es wurden die Emissionsfaktoren gemäß Tabelle 1 verwendet.

¹³³ Vgl. Winkler, 2017: Kapitel 9.1

Bauverfahren

Die im Zuge von Wohnbausanierungsvorhaben zum Einsatz kommenden Bauverfahren hängen von der Art und dem Umfang der Sanierungen ab. Sie unterscheiden sich jedoch kaum von jenen der Neubauvorhaben während der Ausbauphase. Die beim gegenständlichen Bauvorhaben ausgeführten Gewerke wie Maurer-, Dachdecker-, Bauspengler-, Zimmermeister-, Trockenbau-, Fassadendämm-, Schlosser-, Metallbau-, Elektro- und Installationsarbeiten entsprechen im Wesentlichen jenen der im Zuge dieser Arbeit behandelten Musterbaustelle 1 – Neubau eines städtischen mehrgeschossigen Wohngebäudes, durchgeführten Ausbauarbeiten. Der größte Unterschied liegt in den im Zuge der Wohnbausanierung erfolgten Abbrucharbeiten und dem damit verbundenen Abtransport von Abbruchmaterial. Bei Abbrucharbeiten kommen vermehrt Kleingeräte wie Elektrohammer, Motorsägen und Schlagbohrmaschinen zum Einsatz. Durch den beinahe gänzlichen Entfall von Erd- und Straßenbauarbeiten sowie den viel geringeren Einsatz von Kranen, ist der Anteil der Kleingeräte am gesamten Geräteinsatz bei Sanierungsbauvorhaben größer als bei Neubauten. Den Kleingeräten sollte bei Sanierungsbauvorhaben hinsichtlich der Einsatzplanung und des Energieverbrauchs somit grundsätzlich mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Auswertung des tatsächlichen Stromverbrauchs

Für die gegenständliche Musterbaustelle wurden die monatlichen Stromabrechnung zur Verfügung gestellt. In Abbildung 3.20 ist der tatsächliche Stromverbrauch für die gesamte Baustelle über die 17 Monate Bauzeit dargestellt:

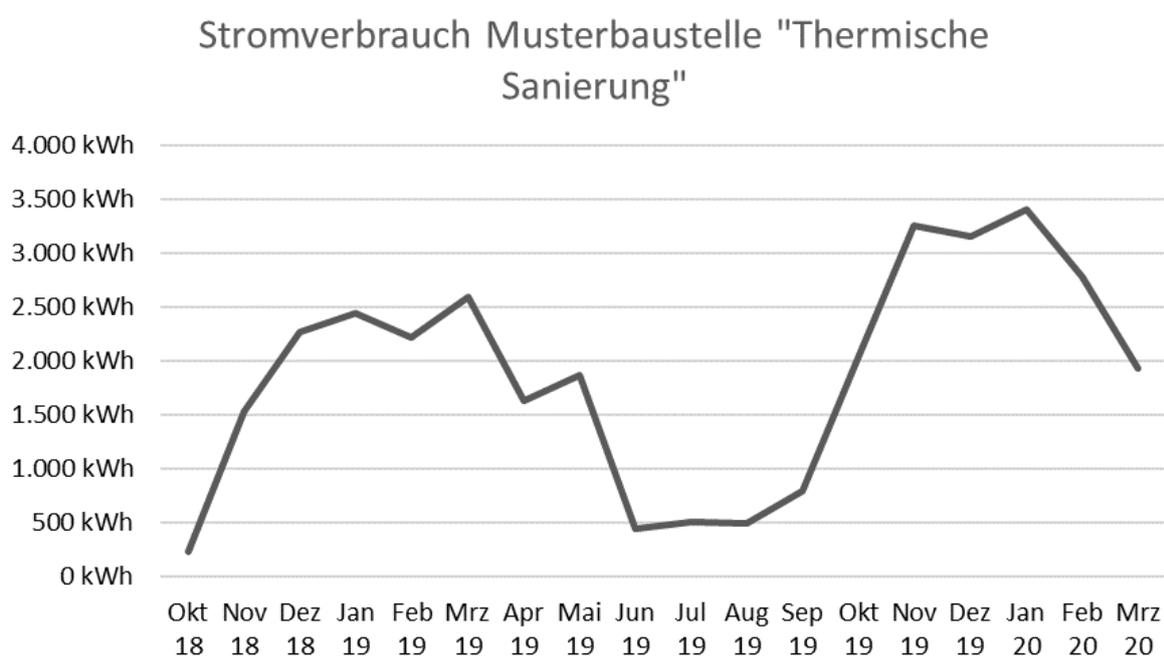


Abbildung 3.20: Liniendiagramm Stromverbrauch über die gesamte Bauzeit

Wie auch schon bei der Musterbaustelle 1, ist aus dem Liniendiagramm der erhebliche Einfluss der Jahreszeiten bzw. der Temperatur und dem damit verbundenen Einsatz von Bauheizung auf den Stromverbrauch besonders gut ersichtlich.

THG Emissionen aus den Prozessen vor Ort

Für das gemäß ÖNORM EN 15978 definierte Informationsmodul der Errichtungsphase: A5 (Prozesse vor Ort), ergeben sich aus der Sachbilanz gemäß Tabelle 26, Tabelle 27 und Tabelle 28 nun folgende Summenwerte. Die Umrechnung der Litermenge an Diesel in MJ erfolgt über den volumenspezifischen Energiegehalt, welcher 36 MJ/l¹³⁴ beträgt.

GWP 100a

Tabelle 26: GWP 100a Emissionen gesamt für Prozesse vor Ort

Energie-träger	Menge	MJ	kWh	Emissionsfaktor ¹³⁵	THG Emissionen [to CO ₂ -Eq]
Diesel	831 l	29.903	8.307	0,092 kg CO ₂ -Eq/MJ	2,8
Strom	36.428 kWh	131.139	36.428	0,339 kg CO ₂ -Eq/kWh	12,3
Summe					15,1

Direkte Emissionen

Tabelle 27: nur direkte Emissionen der Prozesse vor Ort

Energie-träger	Menge	MJ	kWh	Emissionsfaktor ¹³⁶	THG Emissionen [to CO ₂ -Eq]
Diesel	831 l	29.903	8.307	2,458 kg CO ₂ -Eq/l	2,0
Strom	36.428 kWh	131.139	36.428	0	0
Summe					2,0

THG-Emissionen

Tabelle 28: THG-Emissionen gesamt der Prozesse vor Ort

Energie-träger	Menge	MJ	kWh	Emissionsfaktor ¹³⁷	THG Emissionen [to CO ₂ -Eq]
Diesel	831 l	29.903	8.307	3,098 kg CO ₂ -Eq/l	2,6
Strom	36.428 kWh	131.139	36.428	0,258 kg CO ₂ -Eq/kWh	9,4
Summe					12,0

¹³⁴ Vgl. EU (online), 2009: S. 34

¹³⁵ Vgl. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part 6): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 15 07 2021].

¹³⁶ Vgl. Umweltbundesamt (online), 2020

¹³⁷ Vgl. Umweltbundesamt (online), 2020

3.3.2 Transport

Das Transportaufkommen und die damit verbundenen THG-Emissionen werden aufgrund mangelnder Daten hinsichtlich Transportdistanzen, Zwischenlagerungen und eingesetzten Fahrzeugen, basierend auf den Materialmengen aus dem Leistungsverzeichnis und deren spezifischen Gewichten entsprechend abgeschätzt. Die Anzahl unterschiedlicher Gewerke und zu transportierender Materialien ist ähnlich vielfältig wie bei der Musterbaustelle 1. Einen wesentlichen Unterschied stellen die im Vergleich zum Neubau begrenzten Lagerflächen dar, wodurch es dazu kommt, dass Materiallieferungen nicht auf einmal, sondern in mehrere Fuhren unterteilt geliefert werden müssen, da die vorhandenen Lagerflächen für ein einmaliges Abladen der gesamten Materialmenge nicht ausreichen würden.

Folgende Daten wurden zur Abschätzung der THG-Emissionen im Zusammenhang mit den Transportprozessen der Baustelle verwendet:

- Gewichte der transportierten Materialien in Tonnen [t].
- Transportdistanz von den Werken der Güter bis zur Baustelle in Kilometer [km].
- Gewichte der Baugeräte (Asphaltfertiger, Walzen usw.) in Tonnen [t]
- Transportdistanz der Baugeräte bis zur Baustelle und zurück (An- und Abtransport) in Kilometer [km].
- Gewichte der Abfälle in Tonnen [t].
- Transportdistanz der Abfälle von der Baustelle bis zur endgültigen Beseitigung oder bis zum Ende des Abfallstatus (nur Abtransport) in Kilometer [km].
- Verwendete Transportmittel inkl. ev. Zusatzinformationen (z.B. Euroklassen 3-6 u. Gewichtsklassen 3,5-7,5 t, 4,5-16 t, 16-32 t, > 32t von LKWs).

Tabelle 29 zeigt die Massenauswertung des Leistungsverzeichnisses des gegenständlichen Projekts nach Gewerken:

Tabelle 29: Massen lt. Leistungsverzeichnis Musterbaustelle 3

Transportgut/Gewerk	Masse [t]
Versickerungsanlagen	16,1
Maurerarbeiten	1,64
Versetzarbeiten	2,6
Putzarbeiten	102
Außenanlagen	165
Dachdeckerarbeiten	104
Bauspenglerarbeiten	18
Metallbauarbeiten	10
Zimmermeisterarbeiten	164
Trockenbauarbeiten	24
Fensterbauarbeiten	0,5
Fassadenarbeiten	204
Technische Gebäudeausrüstung	18
Restl. Gewerke	129
Bauhilfsstoffe	156
Baustelleneinrichtung	23
Baugeräte	60
Baustellenabfälle	464
Summe	1.658

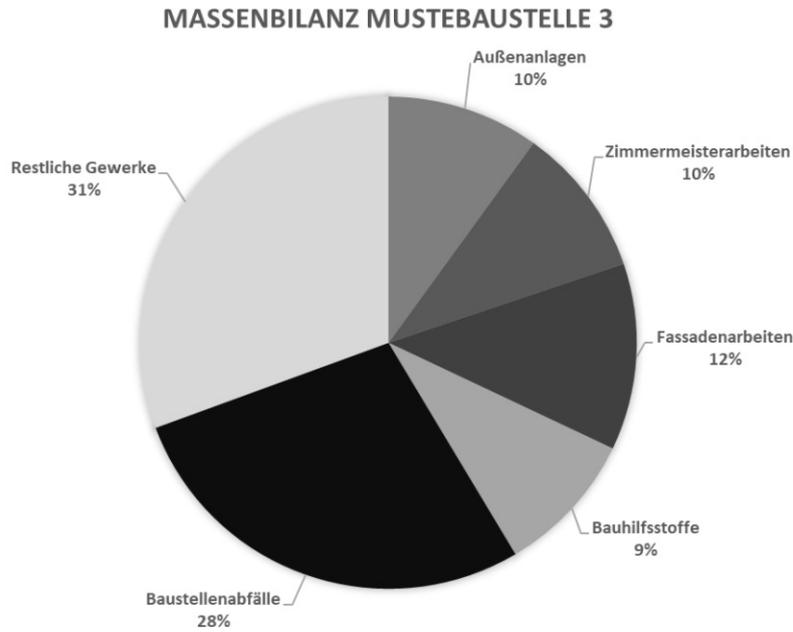


Abbildung 3.21: Massenbilanz Musterbaustelle 3

Die Massenbilanz ergibt in Summe 1.658 t. Dabei entfällt gemäß Abbildung 3.21 der größte Anteil auf die Baustellenabfälle bzw. das Abbruchmaterial, die Fassadearbeiten, die Außenanlagen, Zimmererarbeiten und die Bauhilfsstoffe zu welchen auch das Fassadengerüst zählt. Das Sanierungsbauprojekt ist mit 12.000 m² BGF um ca. 40 % kleiner als der in Kapitel 3.1 behandelte Neubau, dessen Massenbilanz ca. 90.000 t ergeben hat. Damit ergibt der Massenvergleich der beiden Bauvorhaben, dass die Wohnbausanierung lediglich 2-3 % der im Zuge des Neubaus transportierten Massen ausmacht. Die maßgebenden Einflussfaktoren auf die Transportkilometer der Wohnbausanierung sind die Entfernungen zu den Bauschutt- bzw. Baurestmassendeponien und zu den Bauhilfsstofflagern. Bei der Wirkungsabschätzung im Rahmen der Sachbilanz wurden die bereits unter Kapitel 3.1.2 beschriebenen ecoinvent Datensätze für LKW verwendet. Die folgende Abbildung 3.22 zeigt die Zusammenfassung der aus dem Antransport von Baumaterialien, Baugeräten und dem Abtransport von Abfällen, entstehenden THG-Emissionen aus dem CO₂-Berechnungstool.

Sachbilanz					Ergebnis Sachbilanz	Ergebnis Wirkungsabschätzung	
Transportmittel (Bezeichnung, Gesamtgewicht [t])	Ladegut Bezeichnung	Ladegut			Transportkilometer beladen [km]	Tonnenkilometer [tkm]	GWP 100 [kg CO ₂ -Eq]
		Volumen [m ³]	Dichte [t/m ³]	Masse [t]			
Summe der Prozesse "Antransport von Baumaterialien und -produkte (A4)"				956	3.510	48.630	8.230
Summe der Prozesse "An- und Abtransport von Baugerät (Kräne, Rüstmaterialien usw.)"				238	665	26.487	4.283
Summe der Prozesse "Abtransport von Abfällen (A5)"				464	250	17.620	3.120
Summe LKW				1.658	4.425	92.738	15.632
Summe ZUG				0	0	0	0
Summe Schiff				0	0	0	0

Abbildung 3.22: Auszug aus CO₂neuBAU - Tool (v0.6) - THG-Emissionen gesamt für Transportprozesse A4

In Summe ergeben sich aus den Transportprozessen 15,6 to CO₂-Eq. Es wurden die Emissionsfaktoren gemäß Tabelle 2 verwendet.

4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel folgt ein Rückblick auf das Thema der THG-Emissionen während der Errichtungsphase und eine Zusammenfassung der Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Untersuchung der Musterbaustelle. Anschließend folgt die Beantwortung der Forschungsfragen. Eine tabellarische Auflistung nach den einzelnen Musterbaustellen, sowohl gesamt als auch unterteilt in die Prozesse vor Ort und den Transport, gibt Aufschluss über die THG Emissionen. Dies soll dazu dienen, einen besseren Überblick über die Größenordnung der Emissionen je nach Baustellentyp zu gewähren. Um die Möglichkeit der Vergleichbarkeit unter den Baustellentypen zu gewährleisten, werden entsprechende Flächenkennwerte gebildet und gegenübergestellt. Zum Schluss wird mit entsprechenden Handlungsempfehlung einhergehend ein Ausblick auf zukünftige Forschungsfelder gegeben.

4.1 THG-Emissionen der Errichtungsphase

Im Verlauf dieser Arbeit wurden drei verschiedenen Baustellentypen hinsichtlich der während ihrer Errichtungsphase anfallenden THG-Emissionen und der damit im Zusammenhang stehenden Energieverbräuche untersucht. In erster Linie sollte eine IST-Aufnahme der THG-Emissionsmengen erfolgen. Die Ermittlung erfolgte basierend auf von österreichischen Bauunternehmen zur Verfügung gestellten Baustellendaten, wobei sich die THG-Emissionen und Energieverbräuche für gewisse Bereiche, Bauprozesse und Geräteeinsätze direkt aus den Daten ableiten ließen und andererseits vorhandene Datenlücken mittels Annahmen bzw. qualifizierten Schätzungen geschlossen werden mussten.

In zweiter Linie war die Aufgabe die größten THG-Verursacher bzw. die größten THG-Emittenten zu identifizieren und ihre Emissionen zu quantifizieren. Es erfolgte eine Untersuchung der Baustellentypen hinsichtlich der eingesetzten Geräte, Bauprozesse, Baustelleneinrichtung und sonstiger Umstände. Die untersuchten Baustellentypen bzw. die zugehörigen THG-Emissionen lassen sich hinsichtlich der ermittelten Absolutwerte nicht vergleichen. Es handelt sich einerseits um Bauvorhaben unterschiedlicher Art und andererseits um Bauvorhaben von wesentlich unterschiedlicher Größe. Beispielsweise betrug die Bauzeit der Musterbaustelle 1 „städtischer Neubau eines Wohngebäudes“ ca. zwei Jahre und die Bauzeit der zweiten Musterbaustelle „Urbaner Straßenbau“ lediglich eine Woche. Um die drei Baustellentypen und die dabei anfallenden Emissionen miteinander vergleichbar zu machen, wird im Zuge der Zusammenfassung und Schlussfolgerung eine Umlegung auf entsprechende Flächenkennwerte durchgeführt. Hinsichtlich der drei Baustellentypen wurden wesentliche Unterschiede in den Verhältnissen der Emissionen zufolge der Prozesse vor Ort und zufolge des Transports festgestellt. Während die anfallenden Emissionen zufolge des Transports der Musterbaustelle 1 mit ca. 80 % wesentlich überwiegen, ist die Größe der THG-Emissionen zufolge der Prozesse vor Ort und zufolge des Transports bei der Musterbaustelle 3 „Thermische Sanierung“ in etwa gleich.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war die Überprüfung, ob eine größenordnungsmäßige Abschätzung der anfallenden Emissionen während der Errichtungsphase im Vorhinein möglich ist. Im

Zuge der Bearbeitung der Musterbaustelle 1 wurde untersucht, ob die Abschätzung des Geräteeinsatzes über die Leistungsermittlung basierend auf Gerätedaten der ÖBGL und den kalkulierten LV-Aushubmengen hinreichend genau möglich ist und inwiefern der geschätzte Erdbaugeräteinsatz hinsichtlich der Einsatzdauer, Art und Anzahl der Geräte von den tatsächlichen, aus den Bautagesberichten hervorgehenden Erdbaugeräteeinsätzen abweicht. Für die Musterbaustelle 1 wurden basierend auf den getätigten Annahmen hinsichtlich des Einsatzes strombetriebener Geräte und Baustelleneinrichtungen, entsprechende Verbrauchsmengen ermittelt und mit dem tatsächlichen seitens der Baufirmen zur Verfügung gestellten Verbrauchsdaten verglichen. Analog konnten bei der Musterbaustelle 3 „Thermische Sanierung“ die auf Abschätzungen basierenden Stromverbräuche mit den tatsächlich abgerechneten Stromverbräuchen verglichen werden. Für die Baustelle „Urbaner Straßenbau“, wurden seitens der Baufirma sämtliche digitalen Lieferscheine zweier Arbeitstage zur Verfügung gestellt, aus welchen die Anzahl der Transportwege bzw. Umläufe und die pro Umlauf transportierten Asphaltmengen erhoben und mit den getätigten Abschätzungen verglichen werden konnten.

Im Folgenden Abschnitt dieses Kapitels werden die zu Beginn dieser Arbeit formulierten Forschungsfragen beantwortet.

4.2 Beantwortung der Forschungsfragen

„Welche Prozesse, Geräte und Umstände verursachen die größten Energieverbräuche und THG-Emissionen während der Errichtungsphase eines Gebäudes (Wohnbau, Wohnbausanierung, Asphaltbau)?“

Musterbaustelle 1: Neubau eines städtischen Wohngebäudes

Im Zuge der Untersuchung der Musterbaustelle 1 konnten die nun folgenden Großverursacher von THG-Emissionen identifiziert werden.

Transport:

Die gesamten Prozesse vor Ort im Zuge der Errichtung des städtischen Wohnbaus verursachen der Abschätzung zufolge in Summe ca. 144 to CO₂-Eq. Dieser Wert stellt 20,6 % der gesamten THG-Emissionen dar. Die restlichen 554,1 to CO₂-Eq entfallen auf die Transportprozesse.

Aus dem Leistungsverzeichnis konnten die entsprechenden Materialmengen ausgehoben und ermittelt werden. Mit Hilfe der Emissionsfaktoren der ecoinvent Datenbank konnten unter Annahme praxisüblicher Transportdistanzen, die mit den Materialtransporten im Zusammenhang stehenden THG-Emissionen abgeschätzt werden. Der Transport und die damit im Zusammenhang stehenden Tonnenkilometer und Kraftstoffverbräuche sind stark von den Transportdistanzen abhängig. Hinsichtlich der verwendeten Fahrzeuge, des tatsächlichen Treibstoffverbrauchs und der Transportdistanzen standen für die reale Baustelle keine Daten zur Verfügung. Es war daher kein Vergleich der durchgeführten Abschätzung mit der Realität möglich.

Unter den Transportmassen lassen sich einige wenige Gewerke als die größten Verursacher von THG-Emissionen identifizieren. Dazu zählen der Erdhaushub, der Beton und die Bewehrung bzw. die Betonfertigteile, sofern diese zum Einsatz kommen. Diese Güter machen bereits 90 % der zu

transportierenden Massen aus. Der insgesamt größte Einflussfaktor auf die im Zuge der Errichtungsphase anfallenden THG-Emissionen ist demnach die Transportdistanz der Werke bzw. Deponien zur Baustelle, die Art des Transportmittels bzw. dessen Energieversorgung und die zu transportierenden Massen der zuvor genannten Gewerke.

Baustelleneinrichtung:

Bezüglich der Prozesse vor Ort ist die Baustelleneinrichtung der größte THG-Emittent unter den Stromverbrauchern. Die Baustelleneinrichtung stellt einen ständigen Verbraucher dar, dessen Art und Umfang die größte Auswirkung auf den Stromverbrauch und die damit im Zusammenhang stehenden THG-Emissionen hat. Der abgeschätzte Stromverbrauch der Baucontainer betrug für die Musterbaustelle 1 ca. 160.000 kWh, wovon allein die Bauheizung in etwa 100.000 kWh ausmachte. In Summe verursachten die Baucontainer lt. Abschätzung eine THG-Emissionsmenge von ca. 55 to CO₂-Eq. Dies entspricht in etwa 38 % der gesamten THG-Emissionen zufolge der Prozesse vor Ort.

Erdbaugeräte:

Der Einsatz der Erdbaugeräte und der damit im Zusammenhang stehende Kraftstoffverbrauch verursachte in etwa die gleiche Menge an THG-Emissionen wie die Stromversorgung der Baucontainer. Dazu zählen Hydraulikbagger unterschiedlicher Größe, Walzen und Rammgeräte zur Herstellung der Baugrubenumschließung. Ein großer Einflussfaktor auf die im Zuge von Neubauten anfallenden THG-Emissionen ist demnach die erforderliche Aushubtiefe sowie die Art und der Umfang des Gründungsprojekts und des Baugrubenkonzepts.

Baukran:

Des Weiteren zählen die Baukrane zu den Großverbrauchern unter den strombetriebenen Baugeräten. Der abgeschätzte Stromverbrauch der Baukrane betrug ca. 64.000 kWh und die damit verursachten THG-Emissionen in etwa 22 to CO₂-Eq. Die Auswertung des Stromverbrauchs zeigte, dass der Verbrauch, während der Rohbauphase in welcher zwei Baukrane im Einsatz waren, ähnlich groß war, wie in derselben Periode des darauffolgenden Jahres im Zuge der Ausbauphase. Dies lässt darauf schließen, dass Baukrane bzw. Hebezeuge zwar einen hohen Anteil am Stromverbrauch während der Rohbauphase darstellen, jedoch im Vergleich zu den ständigen Verbrauchern, im Speziellen den Baucontainern, einen geringeren Anteil des Gesamtverbrauchs über die gesamte Bauzeit ausmachen.

Kleingeräte und restliche Geräte:

Die restlichen Baugeräte wie die im Zuge der Ausbauphase zum Einsatz kommenden Heizstrahler und Estrichtrockner sowie elektrisch betriebene Kleingeräte machen in Summe einen nicht zu vernachlässigenden Anteil des Stromverbrauchs aus, der mit ca. 53.000 kWh, um 17 % geringer ausfällt als der Stromverbrauch der Baukrane.

THG-Emissionsfördernde Umstände:

Die insgesamt größten Einflussfaktoren auf die im Zuge der Errichtungsphase anfallenden THG-Emissionen, sind die zu transportierenden Erd-, Beton-, Fertigteil- und Bewehrungsmassen sowie

die zugehörigen Transportdistanzen zwischen den Werken bzw. Deponien und der Baustelle. Des Weiteren ist die Art des Transportmittels bzw. dessen Energieversorgung entscheidend.

Den größten Einflussfaktor auf den Stromverbrauch stellen die Jahreszeiten bzw. die Temperaturen dar. Die Bauphase und der Fortschritt des Rohbaus wird ebenso als entscheidende Größe erkannt, weil sie, abhängig vom Baufortschritt, das Ausnutzen der Heizperiode beeinflusst. Aus den zur Verfügung gestellten Stromverbrauchsdaten gehen in den Monaten November bis Jänner Steigerungen des Stromverbrauchs von ca. 5.000 kWh pro Monat hervor. Da sich die in dieser Zeit tätigen Gewerke der Betonierarbeiten, Schwarzdeckerarbeiten, Installateur- und Elektrikerarbeiten gegenüber den Vormonaten nicht geändert haben und auch von keiner unverhältnismäßig hohen Steigerung der Leistungsintensität auszugehen ist, ist dieser signifikante Anstieg des Stromverbrauchs auf die Temperaturen und die damit verbundene Heizleistung sowie auf die geringe Anzahl an Tageslichtstunden und den damit verbundenen erhöhten Einsatz der Baustellenbeleuchtung zurückzuführen.

Bauprozesse:

Die energieaufwändigsten Prozesse auf der Baustelle sind mitunter diejenigen, die zur Wärmezeugung eingesetzt werden. Dazu zählen einerseits der Einsatz von Heizstrahlern zwecks Gewährleistung der nötigen Einbautemperatur für Baustoffe mit hydraulischem Bindemittel sowie der mehrwöchige Vorgang des Estricheinbaus und der Estrichtrocknung bzw. -Ausheizung in der Ausbauphase. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass alle elektrisch betriebene Einrichtungen zur Beheizung der Baustelle, als maßgebliche Verbraucher und THG-Emittenten zu identifizieren sind. Des Weiteren zählen die während der Aushubs- und Baugrubenherstellungsphase sowie während der Betonierarbeiten zur Anwendung kommenden Bauverfahren zu den größten Verursachern von THG-Emissionen unter den Bauprozessen.

Musterbaustelle 2: Urbaner Straßenbau

Im Zuge der Untersuchung der Musterbaustelle 2 konnte festgestellt werden, dass die anfallenden THG-Emissionen der Prozesse vor Ort 58,2 % und des Transports 41,8 % betragen. Während die Baustelle stetig durch mehrere LKW mit Asphalt versorgt werden muss, welche täglich in Summe bis zu 60 Umläufe zwischen Baustelle und Asphaltmischanlage absolvieren, fallen durch den Einsatz der Asphaltfertiger, der Walzen und der LKW während der Beschickung der Fertiger THG-Emissionen an.

Transport:

Die gesamten Prozesse vor Ort im Zuge der Errichtung des urbanen Straßenbaus verursachen der Abschätzung zufolge in Summe ca. 4,6 to CO₂-Eq. Dieser Wert stellt 58,2 % der gesamten THG-Emissionen dar. Die restlichen 3,3 to CO₂-Eq entfallen auf die Transportprozesse. Im Fall der Musterbaustelle 2 war die Transportdistanz zwischen Baustelle und Asphaltmischanlage bekannt. Die zu transportierenden Massen sowie die Anzahl der LKW Umläufe wurde mithilfe des LVs abgeschätzt. Unter den Transportmassen lässt sich das Asphaltmischgut als größter Verursacher von THG-Emissionen identifizieren. Den größten Einflussfaktor hinsichtlich des Transports stellen die

Transportdistanz zwischen der Asphaltmischanlage und der Baustelle, die Art des Transportmittels bzw. dessen Energieversorgung dar.

Straßenbaugeräte:

Die größten THG-Emittenten im Zuge von Asphalteinbau Baustellen stellen die Baugeräte und die Transporte dar. Dabei sind die Baugeräte gemäß der Abschätzung für ca. 4,5 to CO₂-Eq verantwortlich. Optimierungspotenziale liegen demnach größtenteils im Antrieb bzw. der Energieversorgung der Baugeräte und damit der Asphaltfertiger, Walzen und der LKWs, welche neben dem Transport auch beim Einbauprozess vor Ort zum Einsatz kommen.

Baustelleneinrichtung:

Zu den Prozessen vor Ort kommt die Versorgung der Baustelleneinrichtung hinzu. Je nach Größe und Dauer der Baustelle werden entsprechende Baucontainer genutzt und versorgt. Der Aspekt der elektrischen Versorgung zwecks Beheizung der Baustelle bzw. der Baustelleneinrichtung kommt beim Bau von Asphaltfahrbahnen nicht zum Tragen. Lediglich die Kühlung von Baucontainern bedarf einer erhöhten elektrischen Leistung. Aufgrund der kurzen Bauzeit der Musterbaustelle 2, fällt der Ausstoß an THG-Emissionen zufolge der Baustelleneinrichtung vernachlässigbar gering aus.

THG-Emissionsfördernde Umstände:

Die größten Einflussfaktoren stellen die Transportdistanz zwischen der Asphaltmischanlage und der Baustelle sowie die Art des Straßenbaugeräte- und Transportmittelantriebs dar.

Bauprozesse:

Die energieaufwändigsten Bauprozesse sind im Fall der Musterbaustelle 2 der Asphalteinbauprozess mittels Asphaltfertiger und LKW an sich sowie der zugehörige Verdichtungsprozess mittels Verdichtungswalzen.

Musterbaustelle 3: Thermische Sanierung

Bei der Musterbaustelle 3, dem thermischen Sanierungsvorhaben, stellen die vor Ort stattfindenden Prozesse einen ähnlich großen THG-Verursacher dar wie die Transportprozesse.

Transport:

Die Emissionen zufolge der Transportprozesse fallen bei Sanierungsbauvorhaben wesentlich geringer als bei Neubauten aus. Im Vergleich zu den Prozessen vor Ort stellen diese 15,6 to CO₂-Eq bzw. 50,8 % der Gesamtmenge an THG-Emissionen dar. Die größten Transportmengen entfallen dabei auf die abzutransportierenden Abbruchmengen und die Material- und Bauhilfsstofflieferungen der Fassade, die zusammen 49 % der Transportmassen ausmachen. Analog zur Musterbaustelle 1 standen hinsichtlich der verwendeten Fahrzeuge, des tatsächlichen Treibstoffverbrauchs und der Transportdistanzen für die reale Baustelle keine Daten zur Verfügung. Es war daher kein Vergleich der durchgeführten Abschätzung mit der Realität möglich.

Baustelleneinrichtung:

Im Fall des thermischen Sanierungsvorhabens war die Baustelleneinrichtung mit einem Verbrauch von ca. 20.000 kWh der maßgebende Stromverbraucher und mit ca. 6,7 to CO₂-Eq der insgesamt größte THG-Emittent unter den Prozessen vor Ort.

THG-Emissionsfördernde Umstände:

Analog zur Musterbaustelle 1 sind die größten Einflussfaktoren hinsichtlich der Prozesse vor Ort die Temperaturen bzw. Jahreszeiten und die damit verbundene Heiz- und Beleuchtungsleistung. Hinsichtlich der Transportprozesse sind die zu transportierenden Massen und zugehörigen Transportdistanzen sowie die Art des Transportmittelantriebs ausschlaggebend.

Im Vergleich zur Musterbaustelle 1 sind bei einer thermischen Sanierung i.d.R. Baugeräte wie z.B. Baukrane oder Erdbaugeräte mit einer wesentlich geringeren Intensität im Einsatz. Die gesamte Sanierungsphase ist mit der Ausbauphase eines Neubaus vergleichbar, wobei davon auszugehen ist, dass bereits ein Hausanschluss für die Wärmeversorgung der Baustelle hergestellt ist, welche ggf. im Zuge des Sanierungsvorhabens erneuert bzw. auf ein erneuerbares Energieversorgungssystem ausgetauscht wird. Da das gegenständliche Gebäude während der Sanierungsarbeiten im Betrieb war, wurden der Baustelle keine Heizenergiekosten des zu sanierenden Gebäudes angerechnet. Die Erfassung des mit der Baustelle im Zusammenhang stehenden Stromverbrauchs erfolgte über zwei separate Baustromzähler, über welche die Baustelleneinrichtung, die Baustellenbeleuchtung und der Materialaufzug erfasst wurden. In der Bauausführung der Musterbaustelle 3 wurden keine Erdbaugeräte eingesetzt. Zur Herstellung der Außenanlagen wurde ein Asphaltfertiger samt Walze eingesetzt.

„Wie groß sind die CO₂-Emissionen, die während der Errichtungsphase eines Gebäudes anfallen?“

Musterbaustelle 1: Neubau eines städtischen Wohngebäudes

Die Abschätzung der THG-Emissionen der Musterbaustelle 1, bei welcher über einen Zeitraum von 24 Monaten ca. 17.000 m² BGF bzw. ca. 9.000 m² NF und 145 PKW-Stellplätze errichtet wurden, ergab in Summe eine THG-Menge von ca. 698,1 to CO₂-Eq. Davon entfallen ca. 144 to CO₂-Eq auf die Prozesse vor Ort und die restlichen ca. 554,1 to CO₂-Eq auf den Transport. Dies ergibt einen Flächenkennwert von ca. 0,041 to CO₂-Eq/m² BGF. Dabei stehen die THG-Emissionsmengen der Errichtungsphase in folgendem Verhältnis zu den in Kapitel 2.5 beschriebenen THG-Emissionsmengen der Herstellungsphase und Entsorgungsphase des Neubaus eines Wohngebäudes:

In Relation zum Emissionswert von 0,16-0,40 to CO₂-Eq/m² BGF der Herstellungsphase gemäß Kapitel 2.5 beträgt der abgeschätzte Emissionswert der Errichtungsphase von 0,041 to CO₂-Eq/m² BGF ca. 10-26 %. In Relation zum Emissionswert von 0,04-0,16 to CO₂-Eq/m² BGF der Entsorgungsphase entspricht der abgeschätzte Emissionswert der Errichtungsphase von 0,041 to CO₂-Eq/m² BGF ca. 26-103 %.

Musterbaustelle 2: Urbaner Straßenbau

Die Abschätzung der THG-Emissionen der Errichtungsphase der Musterbaustelle 2, bei welcher über einen Zeitraum von einer Woche in Summe ca. 3.200 t Asphalt auf einer Fläche von ca. 4.300 m² eingebaut wurden, ergab in Summe eine THG-Menge von ca. 7,9 to CO₂-Eq. Davon entfallen ca. 4,6 to CO₂-Eq auf die Prozesse vor Ort und die restlichen 3,3 to CO₂-Eq auf den Transport. Dies ergibt einen Flächenkennwert von 0,002 to CO₂-Eq/m² Straßenfläche bzw. einen Massenkennwert von 0,003 to CO₂-Eq/t verbaubtem Asphalt. Dabei stehen die THG-Emissionsmengen der Errichtungsphase in folgender Relation zu den übrigen Lebenszyklusphasen einer Asphaltfahrbahn: In Relation zum konservativeren Emissionswert von 0,040 to CO₂-Eq/t der Herstellungsphase gemäß Kapitel 2.5 entspricht der abgeschätzte Emissionswert der Errichtungsphase von 0,002 to CO₂-Eq/t ca. 4,8 % dieses Wertes.

Auf die in den späteren Lebensphasen anfallenden Erneuerungs-, Abbruchs- und Verwertungsmaßnahmen und die damit verbundenen THG-Emissionen wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen.

Musterbaustelle 3: Thermische Sanierung

Die Abschätzung der THG-Emissionen der Musterbaustelle 3, bei welcher über einen Zeitraum von 17 Monaten ca. 12.000 m² BGF, 5.200 m² Fassadenfläche und 1.200 m² Fensterfläche im praxisüblichen Ausmaß thermisch saniert wurden, ergab in Summe eine THG-Menge von ca. 31 to CO₂-Eq. Davon entfallen ca. 15,1 to CO₂-Eq auf die Prozesse vor Ort und die restlichen ca. 15,6 to CO₂-Eq auf den Transport. Dies ergibt einen Flächenkennwert von ca. 0,0026 to CO₂-Eq/m² BGF bzw. von 0,006 to CO₂-Eq/m² Fassadenfläche. Die thermische Sanierung eines Gebäudes ist grundsätzlich gemäß der Definition der Lebenszyklusphasen nach ÖNORM EN 15978, den Modulen B5 und B6 – Austausch und Modernisierung – der Nutzungsphase zuzuordnen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden in Anlehnung an die Errichtungsphase, die im Zuge des Austauschs und der Modernisierung stattfindenden Prozesse vor Ort und Transporte untersucht. In Relation zum zuvor in Kapitel 2.5 referenzierten Emissionswert von 0,16-0,4 to CO₂-Eq/m² BGF der Herstellungsphase entspricht der abgeschätzte Emissionswert der Modernisierungs- und Austauschphase von 0,003 to CO₂-Eq/m² BGF ca. 0,7-1,64 % dieses Wertes und ca. 6,4 % des Emissionswertes der Errichtungsphase gemäß Musterbaustelle 1. In Relation zum in Kapitel 2.5 recherchierten Emissionswert von 0,04-0,16 to CO₂-Eq/m² BGF der Entsorgungsphase entspricht der abgeschätzte Emissionswert der Modernisierungs- und Austauschphase von 0,003 to CO₂-Eq/m² BGF ca. 1,64-6,6 % dieses Wertes.

Es folgt in Tabelle 30 eine Auflistung der im Zuge der Errichtungsphase der drei Musterbaustellen angefallenen THG-Emissionen, aufgeteilt auf die vor Ort stattfindenden Prozesse und den Transport. Anschließend werden, im Sinne einer besseren Vergleichbarkeit, auf Basis der THG-Emissionen der jeweiligen Musterbaustellen, Flächenkennwerte errechnet und in Tabelle 31 dargestellt. Danach folgen in Abbildung 4.1 bis Abbildung 4.4 sowohl die Veranschaulichungen der Verhältnisse der THG-Emissionen während der Errichtungsphase zufolge der Prozesse vor Ort und des

4 Zusammenfassung

Transportes als auch ein Vergleich der THG-Emissionen der Errichtungsphase mit denen der Herstellungs- und Entsorgungsphase der einzelnen Musterbaustellen in Form von Balkendiagrammen.

Tabelle 30: THG-Emissionen in der Errichtungsphase¹³⁹

	Musterbaustelle 1	Musterbaustelle 2	Musterbaustelle 3
	[to CO ₂ -Eq]		
Prozesse vor Ort	144,0	4,6	15,1
Transport	554,1	3,3	15,6
Gesamt	698,1	7,9	30,7

Tabelle 31: Flächenkennwerte THG-Emissionen

	to CO ₂ -Eq/m ²	to CO ₂ -Eq/to
Musterbaustelle 1	0,041	-
Musterbaustelle 2	0,002	0,003
Musterbaustelle 3	0,003	-

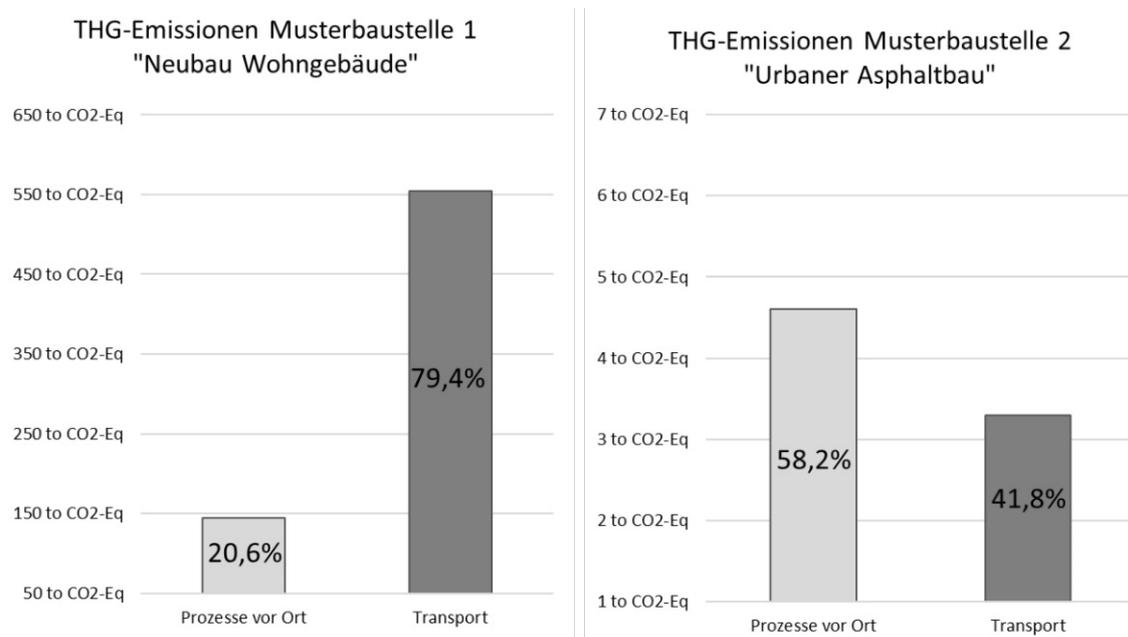


Abbildung 4.1: THG-Emissionen (GWP 100a) Musterbaustellen 1 und 2

¹³⁹ Die Prozesse A5.10. (... Transport u. Abfallmanagement von Produkten u. Materialien, die, während der Errichtungs- u. Einbauphase verloren gehen) wurde im Zuge dieser Arbeit den Transportprozessen zugeordnet. Die Teilsummen der THG-Emissionen der Prozesse vor Ort und des Transportes unterscheiden sich daher zu denen der Studie „CO₂ neutrale Baustelle“.

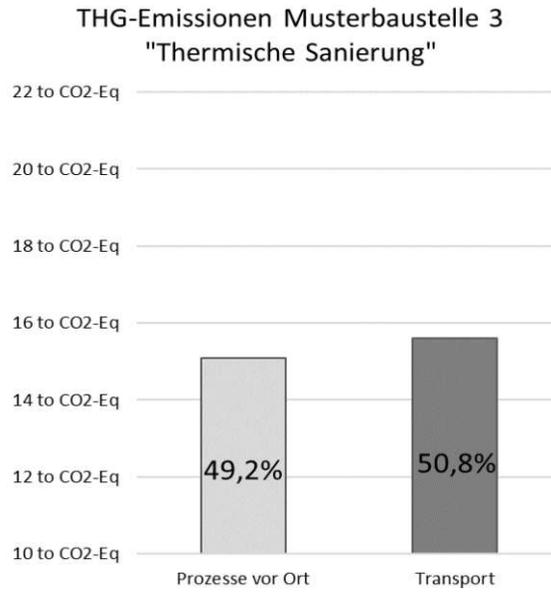


Abbildung 4.2: THG-Emissionen (GWP 100a) Musterbaustelle 3

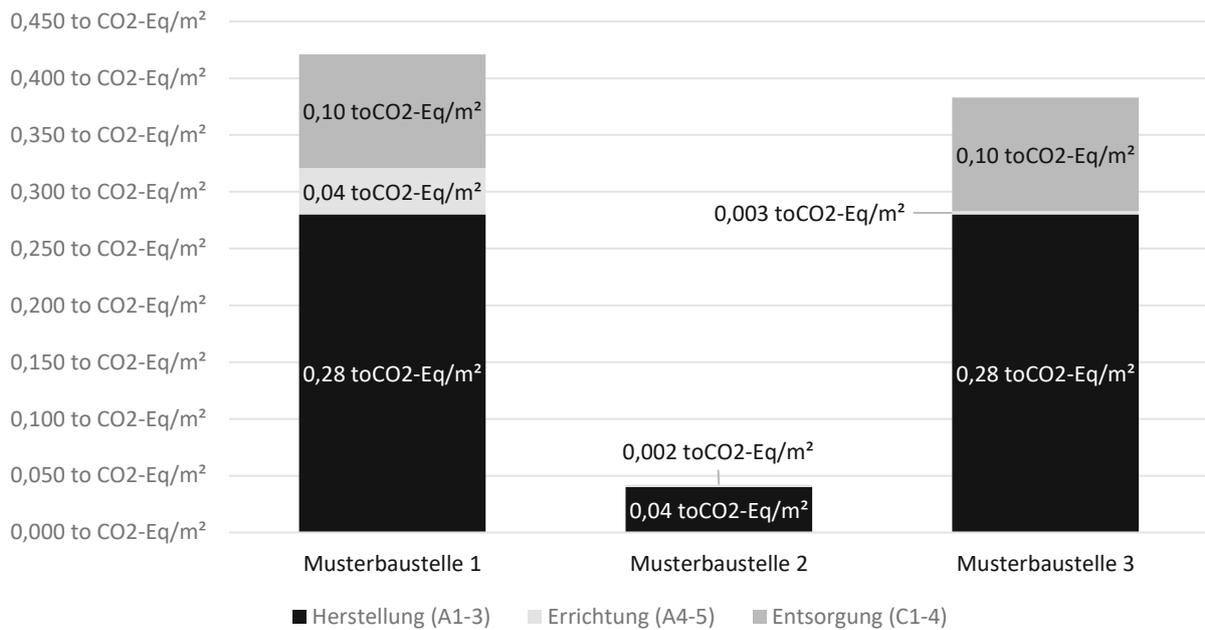


Abbildung 4.3: Vergleich THG-Emissionen von Lebenszyklusphasen der Musterbaustellen

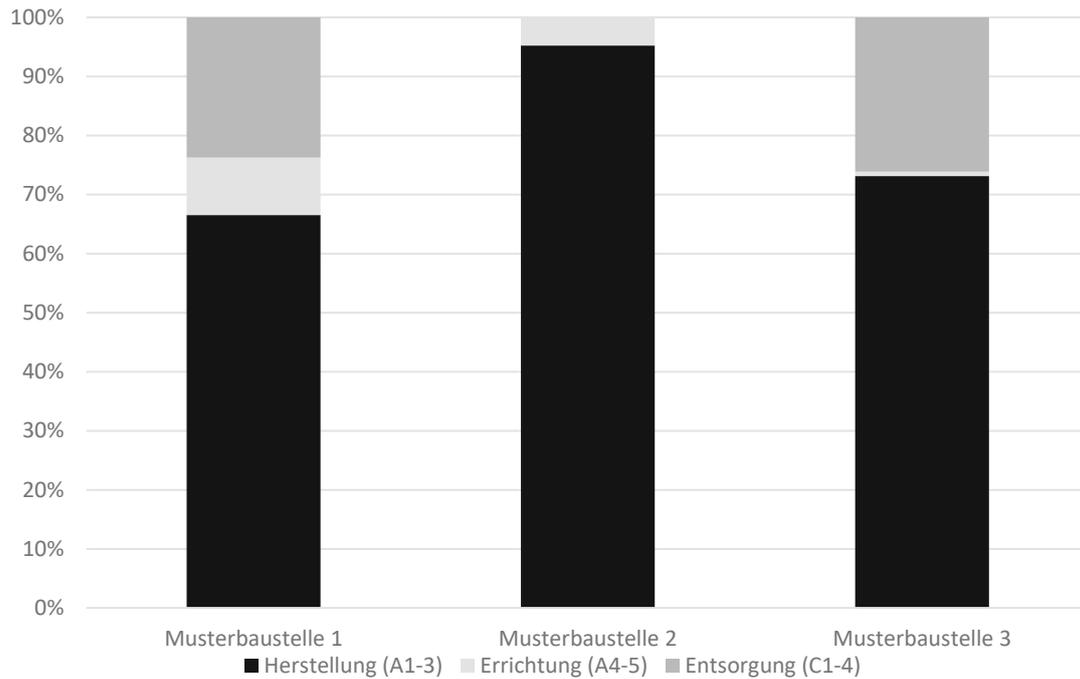


Abbildung 4.4: Vergleich THG-Emissionen von Lebenszyklusphasen der Musterbaustellen

Die Abbildung 4.3 und Abbildung 4.4 zeigen, dass der Anteil der Herstellungsphase an den Gesamtemissionen wesentlich größer ist gegenüber jenem der Errichtungs- bzw. Entsorgungsphase. Der Anteil der Herstellungsphase bei Musterbaustelle 1 ist um mehr als das zehnfache größer als bei Musterbaustelle 3. Dies ist durch die geringeren Transportmengen und den geringeren Einsatz an Baugeräten und Baustelleneinrichtung im Zuge der Musterbaustelle 3 bedingt. Damit wird gezeigt, dass eine umfangreiche thermische Sanierung eines Gebäudes einen wesentlich geringeren Emissionsausstoß verursacht als eine Neuerrichtung. Hinsichtlich Musterbaustelle 2 ist sehr deutlich zu erkennen, dass der Anteil der aus der Herstellungsphase bereits mitgebrachten Emissionen bei weitem (ca. 20-fach) über den Emissionen der Errichtungsphase überwiegt. Dies ist bedingt durch den hohen Energieaufwand, der zur Asphaltherstellung erforderlich ist. Das Emissionsaufkommen im Zuge der Asphaltherstellung entsteht dabei durch den Materialrucksack des Gesteins, Füllers, Bitumens und Recyclingasphalts, den Materialtransport zur Asphaltmischanlage und die Asphaltmischgutherstellung im Werk. Durch die im gegenständlichen Fall kurze Transportdistanz zwischen Asphaltmischanlage und Baustelle von 5 km, fiel die Gesamtemissionsmenge der Errichtungsphase gering aus.

„Lassen sich, die auf einer Baustelle anfallenden THG-Emissionen im Vorhinein hinsichtlich ihrer Größenordnung abschätzen? Welche Daten und Informationen werden dafür benötigt?“

Musterbaustelle 1: Neubau eines städtischen Wohngebäudes

Ob die erfolgte Abschätzung der Energieverbräuche und der damit verbundenen THG-Emissionen mit den tatsächlichen, realen Verbräuchen und THG-Emissionen hinsichtlich ihrer Größenordnung übereinstimmen, lässt sich überprüfen, indem die abgeschätzten Werte mit den Dokumen-

tationsdaten verglichen werden. Im Fall der Musterbaustelle 1 wurden die seitens des Bauunternehmens zur Verfügung gestellten Baustromzählerablesungen über die Bauzeit aufsummiert und ergaben ca. 282.000 kWh. Die im Zuge dieser Arbeit durchgeführte Abschätzung der einzelnen Stromverbräuche je Verbraucher ergab in Summe ca. 285.000 kWh.

Aus den Bautagesberichten konnten die Anzahl, Art und Einsatzdauer, der im Laufe der Erdarbeiten eingesetzten Baugeräte entnommen werden, wobei die genauen Einsatzzeiten pro Tag unbekannt waren und mit der Annahme einer möglichst effizienten Gerätenutzung vervollständigt wurden. Die unter Kapitel 3.1.1 durchgeführte Abschätzung der erforderlichen Geräteeinsatzzeit über Literaturwerte gemäß ÖBGL unterschreitet die aus den Bautagesberichten hergeleiteten Werte um ca. 15 %.

Musterbaustelle 2: Urbaner Straßenbau

Für die Untersuchung der Musterbaustelle 2 standen die Monitoringdaten der Asphaltlieferungen betreffend Be- und Entladezeiten, Transportmengen, Anzahl der Transportmittel und Umläufe für eine Asphaltbinderschicht zur Verfügung. Die tatsächliche Asphaltmenge gemäß Transportdaten überschreitet die abgeschätzte Menge und die damit im Zusammenhang stehenden Tonnenkilometer um ca. 10 %.

Musterbaustelle 3: Thermische Sanierung

Für die Musterbaustelle 3 ergab die seitens des Bauunternehmens zur Verfügung gestellten Baustromzählerablesungen in Summe 35.652 kWh. Die im Zuge dieser Arbeit durchgeführte Abschätzung der einzelnen Stromverbräuche je Verbraucher ergab in Summe 36.428 kWh. Damit ergibt sich eine Abweichung zwischen Abschätzung und tatsächlicher Abrechnung von ca. 2 %.

Conclusio

Die abgeschätzten Energieverbräuche der Musterbaustelle 2 waren tendenziell etwas niedriger als die Werte aus den Dokumentationsdaten. Der abgeschätzte Stromverbrauch der Musterbaustellen 1 und 3 befanden sich sehr nah am tatsächlich abgerechneten Stromverbrauch. Aufgrund zahlreicher Einflussfaktoren und unvorhersehbarer Ereignisse, werden die Energieverbräuche und die damit verbundenen THG-Emissionsmenge stets eine entsprechend große Schwankungsbreite besitzen. Die geringfügigen Abweichungen zwischen der im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Abschätzung und den Verbrauchsdaten zeigen, dass eine Abschätzung der THG-Emissionen der vor Ort stattfindenden Prozesse hinsichtlich ihrer Größenordnung im Vorhinein durchaus möglich ist.

Folgende Daten werden hierzu mindestens benötigt:

- Bauzeitplan
- Baustelleneinrichtungsplan, Ausstattung der Baustelleneinrichtung
- Geräteeinsatzplan
- Leistungsverzeichnis inkl. Baustoff- und Materialmengen (to, m³, m², lfm)

Im Fall der Musterbaustelle 2 war der Transportweg zur Asphaltmischanlage, über welchen 90 % der Massen transportiert wurden, bekannt. Somit konnten auch die THG-Emissionen zufolge des Transports hinreichend genau abgeschätzt werden. Bei den Musterbaustelle 1 und 3 waren die Transportwege jedoch nicht bekannt, mussten zur Gänze abgeschätzt werden und konnten auch nicht verifiziert werden.

Um die THG-Emissionen zufolge des Transports hinsichtlich ihrer Größenordnung im Vorhinein abschätzen zu können, werden mindestens folgende Daten benötigt:

- Leistungsverzeichnis inkl. Baustoff- und Materialmengen (to, m³, m², lfm)
- Entfernung zwischen Baustelle und den Produktions-, Entsorgungs- und Lagerstätten der Baustoffe bzw. Materialien, die 80 % der Massen ausmachen.

Bei den Musterbaustellen 1 und 3 standen keine Geräteeinsatzpläne zur Verfügung. Daher basieren die diesbezüglichen Abschätzungen auf Literaturwerten, die in weiterer Folge mit den Daten aus den Bautagesberichten verglichen und auf Plausibilität überprüft wurden. Weiters wurden sämtliche Stromverbräuche von z.B. Baustelleneinrichtung, Heizgeräten, Baukränen basierend auf Literatur- und Erfahrungswerten abgeschätzt. Mit Hilfe der zu Verfügung gestellten Stromabrechnungen der Baustellen konnten die getätigten Annahmen im Hinblick auf die im jeweiligen Monat lt. Bauzeitplan erbrachten Leistungen und tatsächlich angefallenen Stromverbräuche plausibilisiert werden. Grundsätzlich ist es nicht üblich die Stromverbräuche von einzelnen Großgeräten auf Baustellen separat zu erfassen, wodurch eine Überprüfung der getätigten Annahmen auf Übereinstimmung mit der Realität zwar für die Gesamtheit, jedoch nicht für die einzelnen Geräte möglich war. Die Transportdistanzen und die daraus resultierenden Transportkilometer für sämtliche Material- und Gerätelieferungen waren ebenso unbekannt und mussten mit Hilfe des LV bzw. durch Annahmen abgeschätzt werden. Jene Transportdaten werden von Bauunternehmen weder in der Kalkulations- bzw. Arbeitsvorbereitungsphase noch nach Fertigstellung eines Bauwerks zusammengestellt und standen deshalb nicht zur Verfügung.

4.3 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Der Autor dieser Arbeit empfiehlt eine Begleitung von repräsentativen Musterbaustellen im Sinne einer Feldforschung mit dem Ziel einer Primärdatenerhebung zwecks Verifikation der im Zuge dieser Arbeit ermittelten Ergebnisse. Auch im Hinblick auf eine zukünftige CO₂-Besteuerung ist eine Festlegung eines einheitlichen digitalen Datenerhebungs- und Berechnungsverfahrens von THG-Emissionen im Zuge von Baustellen erforderlich. Eine Bewertungsmöglichkeit wäre, die in den Kalkulationsdatenbanken der Bauunternehmen enthaltenen Bauprodukte, Leistungen und Geräteeinsätze optimalerweise in Verbindung mit BIM, mit entsprechenden THG-Kennwerten in Zusammenhang zu bringen.

Die im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Auswertungen der Musterbaustellen zeigen, dass in der Stromversorgung der Baustelleneinrichtung, dem Kraftstoffverbrauch von Großbaugeräten im Zuge von Erdarbeiten und den Baustellentransporten die größten THG-Emissionen in der Baustellenführung entstehen und es hier besonders wichtig ist, weitere Forschung zu betreiben, Anreize für Bauunternehmer zu kreieren und Hemmnisse durch Herstellung von Kostenwahrheit abzubauen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Relatives Aufkommen an Baustellenabfällen.....	25
Abbildung 2.2: Anteile der Baustellenabfallkategorien in Masseprozent	26
Abbildung 2.3: Beziehung zwischen den Inhalten der Auswertungsphase und weiteren Phasen der Ökobilanz.....	29
Abbildung 2.4: Informationsmodule der Lebenszyklusphasen eines Gebäudes.....	32
Abbildung 2.5: Systemgrenzen der Errichtungsphase	36
Abbildung 2.6: Veranschaulichung der Systemgrenzen anhand von zwei Beispielen.....	37
Abbildung 2.7: Arten der Betonvorfertigung in Bezug auf Systemgrenzen d. Errichtungsphase .	38
Abbildung 3.1: THG-Emissionen zufolge Stromversorgung Baucontainer.....	47
Abbildung 3.2: THG-Emissionen zufolge Erdarbeiten und Freiflächenplanung.....	54
Abbildung 3.3: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Wirkungsabschätzung Betonm. LKW	58
Abbildung 3.4: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Ermittlung THG-Emissionen aus Kraneinsatz und Kleingeräten	60
Abbildung 3.5: Liniendiagramm Stromverbrauch über gesamte Bauzeit.....	62
Abbildung 3.6: Massenbilanz Musterbaustelle 1	67
Abbildung 3.7: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Transportprozesse A4; Erdbau und Versickerungsanlagen.....	68
Abbildung 3.8: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Wirkungsabschätzung Transport A4; Erdbau u. Versickerung.....	69
Abbildung 3.9: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Gesamtbilanz Prozesse A4 und A5.....	69
Abbildung 3.10: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Wirkungsabschätzung THG-Emissionen gesamt (Prozesse A4 und A5).....	69
Abbildung 3.11: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - THG-Emissionen zufolge Stromversorgung der Baucontainer	73
Abbildung 3.12: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - THG-Emissionen der Prozesse A5.....	78
Abbildung 3.13: Massenbilanz Musterbaustelle 2.....	80
Abbildung 3.14: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Beispiel Sachbilanz Transportprozesse A4; Asphaltmischgüter	81
Abbildung 3.15: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Wirkungsabschätzung Transportprozesse A4; Asphaltmischgüter	82
Abbildung 3.16: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Gesamtbilanz Prozesse A4 und A5.....	82
Abbildung 3.17: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - Wirkungsabschätzung THG-Emissionen gesamt (Prozesse A4 und A5).....	82
Abbildung 3.18: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - THG-Emissionen zufolge Stromversorgung der Baucontainer	86
Abbildung 3.19: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - THG-Emissionen aus Erdarbeiten und Freiflächenplanung	87
Abbildung 3.20: Liniendiagramm Stromverbrauch über die gesamte Bauzeit.....	88
Abbildung 3.21: Massenbilanz Musterbaustelle 3.....	92

Abbildung 3.22: Auszug aus CO2neuBAU - Tool (v0.6) - THG-Emissionen gesamt für Transportprozesse A4.....	92
Abbildung 4.1: THG-Emissionen (GWP 100a) Musterbaustellen 1 und 2.....	100
Abbildung 4.2: THG-Emissionen (GWP 100a) Musterbaustelle 3	101
Abbildung 4.3: Vergleich THG-Emissionen von Lebenszyklusphasen der Musterbaustellen.....	101
Abbildung 4.4: Vergleich THG-Emissionen von Lebenszyklusphasen der Musterbaustellen.....	102

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Emissionsfaktoren für Strom und Diesel.....	30
Tabelle 2: Verwendete Emissionsfaktoren für Transportprozesse	30
Tabelle 3: Beleuchtungsstärken für Allgemeinbeleuchtung für bestimmte Tätigkeiten	48
Tabelle 4: Übersicht Baustellenbeleuchtung städtischer Wohnbau	49
Tabelle 5: Turmdrehkrane des BVH städtischer Wohnbau.....	50
Tabelle 6: Geräteeinsatz Erdbau.....	54
Tabelle 7: Kleingeräte auf Hochbau Baustellen.....	55
Tabelle 8: Verwendung von Ortbeton und Beton-Vollfertigteilen	56
Tabelle 9: Leistungsabgabe und Einsatzdauer Turmdrehkran 1 und 2	59
Tabelle 10: Eckdaten Estrichtrocknereinsatz	60
Tabelle 11: Eckdaten Heizlüftereinsatz	61
Tabelle 12: Monatlicher Stromverbrauch.....	62
Tabelle 13: GWP 100a Emissionen gesamt für Prozesse vor Ort.....	64
Tabelle 14: nur direkte Emissionen der Prozesse vor Ort.....	64
Tabelle 15: THG-Emissionen gesamt der Prozesse vor Ort.....	64
Tabelle 16: Massebilanz nach Gewerken	66
Tabelle 17: Verwendete Datensätze THG-Emissionen/tkm	68
Tabelle 18: Asphaltmengen gemäß LV.....	76
Tabelle 19: Einsatzdauer und Gesamtverbrauch je Asphaltfertiger.....	77
Tabelle 20: Einsatzdauer und Gesamtverbrauch je Walze	77
Tabelle 21: GWP 100a Emissionen gesamt für Prozesse vor Ort.....	78
Tabelle 22: nur direkte Emissionen der Prozesse vor Ort.....	79
Tabelle 23: THG-Emissionen gesamt der Prozesse vor Ort.....	79
Tabelle 24: Massen lt. Leistungsverzeichnis.....	80
Tabelle 25: Übersicht Baustellenbeleuchtung	86
Tabelle 26: GWP 100a Emissionen gesamt für Prozesse vor Ort.....	89
Tabelle 27: nur direkte Emissionen der Prozesse vor Ort.....	89
Tabelle 28: THG-Emissionen gesamt der Prozesse vor Ort	89
Tabelle 29: Massen lt. Leistungsverzeichnis Musterbaustelle 3	91
Tabelle 30: THG-Emissionen in der Errichtungsphase	100
Tabelle 31: Flächenkennwerte THG-Emissionen	100

Literaturverzeichnis

- ADAM, D. (2019): Skriptum Grundbau und Bodenmechanik TU Wien – Kapitel Wasserhaltung, Auflage SS 2019, Institut für Geotechnik TU Wien
- BAUARBEITERSCHUTZVERORDNUNG - BauV (2017): §36 Aufenthaltsräume, Verordnung des Bundesministers für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz
- BG BAU – BERUFGENOSSENSCHAFT DER BAUWIRTSCHAFT (2008): Merkheft A 199 – Künstliche Beleuchtung auf Baustellen, Ausgabe 2008
- DREES, G., REIFF, K. (1994): Die Baustelleneinrichtung, 2. Auflage, Werner Verlag
- DIN EN ISO 14044: 2006 (2018): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017), Ausgabe 2018-05, Berlin, Beuth Verlag GmbH
- DIN EN ISO 14067 (2019): Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung, Ausgabe 2019-02, Berlin, Beuth Verlag GmbH
- GÖGER, G., URBAN, H., CHYLIK, B. (2019): Studienblätter zur Vorlesung Bauprozessplanung, Wien, Auflage WS 2019, IBPM TU Wien
- GRUBER, M. (2021): RAP-Tool – Abschätzung des Treibhauspotenzials der Asphaltherstellung, Wien, IVWS TU Wien
- HOLLDOERF, C., MAYER, T. (2009): Ökopprofil für Asphalt- und Betonbauweisen von Fahrbahnen, Biberach, Hochschule Biberach
- INSTITUT FÜR INTERDISZIPLINÄRES BAUPROZESSMANAGEMENT TU WIEN – IBPM (2020): Studienblätter Bauverfahrenstechnik – Kapitel Erdbau, Wien, Auflage SS 2020
- INSTITUT FÜR VERKEHRSWISSENSCHAFTEN TU WIEN – IVWS (2019): Studienblätter LVA Straßenwesen, Auflage SS 2019, Wien, IVWS TU Wien
- KRANZL, S. (2018): Treibhausgasemissionen von Strom – Empfehlungen zur Öko-Bilanzierung, Wien, Umweltbundesamt GmbH
- LIPSMEIER, K. (2004): Abfallkennzahlen für Neubauleistungen im Hochbau – Hochbaukonstruktionen und Neubauvorhaben im Hochbau nach abfallwirtschaftlichen Gesichtspunkten, Dresden, Beiträge zu Abfallwirtschaft/Altlasten Band 37, Dissertation, Technische Universität Dresden
- MAIR AM TINKHOF, O., STRASSER, H., PRINZ, T., HERBST, S., SCHUSTER, M., TOMSCHY, R., FIGL, H., FELLNER, M., PLOSS, M., ROSSKOPF, T. (2017): Richt- und Zielwerte für Siedlungen zur integralen Bewertung der Klimaverträglichkeit von Gebäuden und Mobilitätsinfrastruktur in Neubausiedlungen, Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

MD-STADTBAUDIREKTION DER STADT WIEN (2004): RUMBA – Richtlinie für eine umweltfreundliche Baustellenabwicklung, Wien, Projektleitstelle der MD-Stadtbaudirektion der Stadt Wien

OBERNOSTERER, LEPUSCHITZ, DAXBECK, KISLIAKOVA, HÖRZINGER, GÖGER, WINKLER, WEIGERT (2021): Die CO₂ neutrale Baustelle – Ein Beitrag zum Klimaschutz der österreichischen Bauwirtschaft (Studie noch nicht veröffentlicht)

ÖNORM EN 15978 (2011): Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode, Ausgabe 2012-10, Wien, Austrian Standards plus GmbH

ÖNORM EN 15804 (2020): Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte, Ausgabe 2020-03, Wien, Austrian Standards plus GmbH

ÖNORM EN ISO 14044 (2021): Umweltmanagement – Ökobilanz, Ausgabe 2021-03, Wien, Austrian Standards plus GmbH

ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSFÖRDERUNGSGESELLSCHAFT (2019): 7. Ausschreibung der FIT- Initiative „Stadt der Zukunft“, Wien

PLADERER, C.; GANGLBERGER, E.; FUNDER, B. et al. (2004): Vermeidung von Baustelleabfällen in Wien, Wien, Magistratsabteilung 48

PRASSER, A., KREINER, H., RÖCK, M. (2018): IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC) Annex 57: Evaluierung der konstruktionsspezifischen CO₂- Emissionen und der grauen Energie, Wien, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 13/2018, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

REISINGER, H., STOIFL, B., WEISSENBACH, T., DOMENIG, M. (2017): Das Abfallwirtschaftskonzept als Instrument der Abfallvermeidung, Wien, Umweltbundesamt GmbH

SCHEIBENGRAF, M., REISINGER, H. (2006): Abfallvermeidung und -Verwertung: Baurestmassen – Detailstudie zur Entwicklung einer Abfallvermeidungs- und Verwertungsstrategie für den Bundes-Abfallwirtschaftsplan, Wien, Umweltbundesamt GmbH

WINKLER, C. (2017): Betriebsstoffverbrauch von Baumaschinen als Faktor einer ökoeffizienten Bauprozessoptimierung, Wien, Dissertation TU Wien

Web-Quellenverzeichnis

ASFINAG (2021): Aktuelle Bauprojekte, <https://www.asfinag.at/verkehrssicherheit/bauen/bauprojekte/> (aufgerufen am 07.08.2021)

BAUXUND GMBH (2020): RCC Projekt, <https://bauxund.at/forschungsprojekt-rcc-fuer-mehr-klimaschutz/> (aufgerufen am 04.05.2021)

BEZIRK GÄNSERNDORF (2021): Standort Mülldeponien, <https://www.gaensern-dorf.at/muelldeponie-und-kompostierung/> (aufgerufen am 06.08.2021)

DEUTSCHER ASPHALTVERBAND (2021): Organisieren der Qualität, unter: <https://www.asphalt.de/themen/qualitaet/ii-organisieren-der-qualitaet/5-asphalt-herstellen-und-liefern/> (aufgerufen am 15.08.2021)

DEUTSCHER ASPHALTVERBAND (2018): Einbauverfahren, unter: <https://www.asphalt.de/themen/technik/7-einbauverfahren/> (aufgerufen am 03.08.2021)

DEUTSCHER BAUZEIGER, PETER EGGERT (2021), <https://www.deutscher-bauzeiger.de/bauen/baustelleneinrichtung/baukran-transport/baukran-stromkosten/> (aufgerufen am 02.07.2021)

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2018): Langfristige Klimaziele 2050, https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_de (aufgerufen am 14.04.2021)

EUROPÄISCHE UNION (2021): Folgen des Klimawandels, https://ec.europa.eu/clima/climate-change/climate-change-consequences_de (aufgerufen am 12.07.2021)

EUROPÄISCHE UNION (2009): Richtlinie 2009/28/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 2001/77/EG und 2003/30/EG, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:de:PDF> (aufgerufen am 14.07.2021)

FACHVERBAND DER CHEMISCHEN INDUSTRIE ÖSTERREICH (2021): Branchen: Bitumenemulsionen, <https://bitumenemulsionen.fcio.at/> (aufgerufen am 13.08.2021)

GPSFAHRTENBUCH.DE (2017), <https://www.gpsfahrtenbuch.de/Leerlaufzeiten-Fahrzeugkosten.html> (aufgerufen am 24.07.21)

GLOBALABC (2021): Tracking Progress Global Status Report, <https://globalabc.org/our-work/tracking-progress-global-status-report> (aufgerufen am 04.05.202)

IIBW GMBH UND UMWELTBUNDESAMT GMBH (2020): Definition und Messung der thermischen Sanierungsrate in Österreich, http://iibw.at/documents/2020%20IIBW_UBA%20Sanierungsrate.pdf (aufgerufen am 19.08.21)

LUNA VERLAG GMBH, MICHAEL KOCH (2019), <https://magazin-bauland-hildesheim.de/mit-einer-mobilen-heizung-trocknet-der-estrich-fachgerecht-und-zuegig/> (aufgerufen am 26.07.2021)

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR CHEMISCHE ENERGIEKONVERSION (2020): Rekord-CO₂-Ausstoß im Baubereich, <https://www.solarify.eu/2020/12/17/331-0-rekord-co2-ausstoss-im-baubereich/> (aufgerufen am 04.05.2021)

NETZ OBERÖSTERREICH GMBH (2019): Ausführungsbestimmungen der oberösterreichischen Netzverteiler, <http://www.ooe-ausfuehrungsbestimmungen.at/> (aufgerufen am 01.07.2021)

ÖAMTC (2020): CO₂-Steuer kommt 2022, <https://www.oeamtc.at/autotouring/menschen/co2-steuer-kommt-2022-38040997> (aufgerufen am 15.09.2021)

ÖGNI (2020): Systembroschüre, https://www.ogni.at/wp-content/uploads/OeGNI-Systembroschuere-2020_web.pdf (aufgerufen am 15.09.2021)

ÖSTERREICHISCHE BUNDESREGIERUNG (2020): Sitzung des Nationalrates am 10. Jänner 2020, https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXVII/NRSITZ/NRSITZ_00008/A_12_12_16_00210774.html (aufgerufen am 03.04.2021)

ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUEN UND ÖKOLGIE GMBH - IBO (o. D.): Gebäudebewertung – Breeam, <https://www.ibo.at/gebaeudebewertung/breeam> (aufgerufen am 10.10.2021)

ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUEN UND ÖKOLGIE GMBH - IBO (o. D.): Gebäudebewertung – Leed, <https://www.ibo.at/gebaeudebewertung/leed> (aufgerufen am 10.10.2021)

ROHRDORFER GMBH (2021): Startseite, <https://www.rohrdorfer.at/> (aufgerufen am 06.08.2021)

RTG RAMMTECHNIK GMBH (2020): Datenblatt Teleskopmäkler-Rammgerät, https://www.rtg-rammtechnik.de/export/shared/documents/pdf/bma/rtg/RG_16_T_DE-EN_905_821_1_2.pdf (aufgerufen am 27.07.21)

STADT WIEN (2021): THEWOSAN Sanierungen, <https://www.wien.gv.at/amtshelfer/bauen-wohnen/wohnbauforderung/wohnungsverbesserung/thewosan.html>, (aufgerufen am 20.08.21)

STADT WIEN (2021): Sanierungsförderungen in Zahlen, <https://www.wien.gv.at/statistik/leistungsbericht/ma50/index.html>, (aufgerufen am 15.08.21)

STADT WIEN (2021): Aktuelle Straßensanierungen, <https://www.wien.gv.at/verkehr/baustellen/aktuell/index.html> (aufgerufen am 07.08.2021)

STADT WIEN (2021): Fakten Wiener Straßennetz, <https://www.wien.gv.at/verkehr/strassen/fakten.html> (aufgerufen am 07.08.2021)

STATISTA GMBH (2021): Anzahl der bewilligten neuen Gebäude in Österreich zwischen 2011 und 2020, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/421445/umfrage/anzahl-der-bewilligten-gebaeude-in-oesterreich/> (aufgerufen am 21.06.21)

STATISTIK AUSTRIA (2021): Baubewilligungen 2020, https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/wohnen/wohnungs_und_gebaeudeerrichtung/baubewilligungen/index.html (aufgerufen am 21.06.21)

TU GRAZ (2021): CO2-Emissionen Bedeutung für den Bausektor, <https://www.tu-graz.at/tu-graz/services/news-stories/planet-research/einzelansicht/article/keine-co2-emissionen-bedeutung-fuer-den-bausektor/> (aufgerufen am 04.05.2021)

UMWELTBUNDESAMT DEUTSCHLAND (2019): Europäische Energie- und Klimaziele, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/europaeische-energie-klimaziele> (abgerufen am 12.07.2021)

UMWELTBUNDESAMT (2021): Berechnung von Treibhausgasemissionen verschiedener Energieträger, <https://secure.umweltbundesamt.at/co2mon/co2mon.html> (aufgerufen am 20.07.21)

UN ENVIRONMENT PROGRAMME (2020): Buildings Global status report press release, <https://globalabc.org/our-work/tracking-progress-global-status-report> (aufgerufen am 04.05.2021)

UN ENVIRONMENT PROGRAMME (2020): 2020 Global status report for buildings and construction, https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf (aufgerufen am 04.05.2021)

UN ENVIRONMENT PROGRAMME (2020); Buildings Global status report press release, unter: https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_Press%20Release_FINAL_0.pdf (aufgerufen am 04.05.2021)

Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 24 04 2021].

Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part 6): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 13 03 2021]

Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part 5): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>> [Accessed 24 04 2021]

WOPFINGER GMBH (2020): Preisliste Transportbeton, https://wopfinger.com/files/cto_layout/media/preislisten/WTB_PL2020_OST.pdf (aufgerufen am 06.08.2021)

WWF DEUTSCHLAND (2019): Klimaschutz in der Beton- und Zementindustrie, https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Klimaschutz_in_der_Beton-_und_Zementindustrie_WEB.pdf (aufgerufen am 04.05.2021)

ZEPPELIN BAUMASCHINEN GMBH (2021): Verdichtungs-/Straßenbaumaschinen – Asphaltfertiger, <https://www.zeppelin.com/de-de/cat/produkte/verdichtungs-strassenbaumaschinen/cat-asphaltfertiger/> (aufgerufen am 18.09.2021)

ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (2021): Auf- und Untergangszeiten von Sonne und Monde 2020, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klimauebersichten/ephemeriden> (aufgerufen am 26.07.21)

ZETRNALVERBAND DEUTSCHES BAUGEWERBE (2018): Berufsbild Straßenbauer,
<https://www.bauberufe.net/tagesablauf-strassenbauer.html> (aufgerufen am
14.08.2021)