



Diplomarbeit

Nachhaltigkeitsbetrachtung im Industrie- und Gewerbebau
Vergleichende Lebenszyklusanalyse von unterschiedlichen Bauweisen anhand
eines Tragwerksentwurfs für Hallenbau

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs / Diplom-Ingenieurin
unter der Leitung von

Associate Professor Dipl.-Ing. Dr. techn. Alireza Fadai

E259-02-Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

Institut für Architekturwissenschaften

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Hendrik Hofbauer, BSc

Mat.Nr.: 01230068

Wien, am 23.Mai 2022



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.



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.



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.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der
Bezeichnung

DIPLOMARBEIT

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters an Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten
Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbständig ausgeführt habe und alle
verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur genannt habe.

Wien, 23.05.2022

Datum



Unterschrift

Kurzfassung

Die Planung von Gewerbe - und Industriebauten wird zunehmend anspruchsvoller und komplexer. Thematiken wie Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung stehen beinahe schon an der Tagesordnung. Ökologische Materialien und nachwachsende Rohstoffe sind Voraussetzungen für eine nachhaltige Planung und haben ebenfalls den Gewerbe- und Industrieausektor erreicht.

Aus diesem Grund wird im Zuge dieser Diplomarbeit eine vergleichende Lebenszyklusanalyse für unterschiedliche Bauweisen, anhand eines zuvor definierten Systementwurfs, im Hallenbau erstellt. Durch die Anwendung der Ökobilanzierung ist es möglich, bereits in frühen Phasen die Schritte in Richtung nachhaltiger Planung zu setzen.

Betrachtet werden unterschiedliche Tragwerkskonstruktionen, die im Hallenbau als Standardlösungen zum Einsatz kommen. Neben der Ausführung als reine Stahlbetonkonstruktion wird das Tragwerk noch als Brettschichtholzvariante sowie in Stahlbauweise dimensioniert. Mit der Mischbauweise aus Stahlbeton und Brettschichtholz sowie der Fachwerkbauweise aus Brettschichtholz wird das Trio komplettiert und auf deren ökologische Eigenschaften untersucht.

Im Anschluss an die Beschreibung allgemeiner Grundlagen zum Thema Gewerbe- und Industriebau sowie nachhaltiger Planung werden Referenzobjekte analysiert, um daraus einen Systementwurf zu generieren. Dieser fungiert als Basis für die ökologische Bilanzierung und wird entsprechend statischer Annahmen dimensioniert. Zuvor definierte Entwurfparameter runden den Systementwurf ab.

Um einen ersten Eindruck durch die Ökobilanzierung zu gewinnen, werden zu Beginn des Kapitels die Baustoffe der einzelnen Bauweisen miteinander verglichen. Durch die daraus gewonnen Erkenntnisse können erste Ansätze in Richtung nachhaltiger Planung gesetzt werden. Mit der anschließenden Bilanzierung der Bauweisen und der damit verbundenen Erfassung sämtlicher Input- und Outputflüsse an Stoffen, Energie und Emissionen, die von der Herstellungsphase bis hin zum Rückbau entstehen, wird schließlich die Gesamtauswirkung auf die Umwelt abgeschätzt und dargestellt. Da jedoch eine ökologische Bilanzierung alleine nie ausschlaggebend für die Materialwahl sein wird, bildet ein ökonomischer Vergleich der unterschiedlichen Bauweisen den Abschluss. Die Ergebnisse aus dem ökologischen- sowie ökonomischen Vergleich können in weiterer Folge als Hilfsmittel für Architekten und Fachplaner in Bezug auf eine nachhaltige Planung im Gebäudeentwurf dienen.

Abstract

The planning of commercial and industrial buildings is becoming increasingly more demanding and more complex. Topics such as sustainability and resource protection are almost on the daily agenda. Ecological materials and renewable raw materials are requirements for sustainable planning and they have also reached the commercial and industrial construction sector.

For this reason, in the course of this diploma thesis, a comparative life-cycle analysis for different construction methods is created in hall construction, based on a previously defined system design. It is possible to take steps towards sustainable planning at an early stage by using the ecological balance.

Different constructions of supporting framework are considered which are used as standard solutions in hall construction. In addition to the execution as a pure reinforced concrete construction the supporting framework is also executed as a variation of glued laminated timber and in steel construction. The trio is completed with the mixed construction consisting of reinforced concrete and glued laminated timber as well as the half-timbered construction made of glued laminated timber and it is examined for the view of the ecological properties..

Following the description of general basics on the subject of commercial- and industrial construction as well as sustainable planning, reference objects are analyzed in order to generate a system design. This acts as the base for the ecological balance and it is dimensioned according to static assumptions. Previously defined design parameters complete the system design.

For getting a first impression of ecological balance the building materials of the individual construction methods are compared between them at the beginning of the chapter. The acquired knowledge can be used to set basic approaches for sustainable planning. The overall impact on the environment is finally estimated and presented by the following balancing of the construction methods and the associated recording of all input- and output flows of materials, energy and emissions that arise from the production phase until demolition,. However, an ecological balance only will never be decisive for the choice of material, so an economic comparison of the different construction methods is the conclusion. In further consequence the results of the ecological and the economical comparison can serve as a tool for architects and specialist planners in relation to sustainable planning in the building design.



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.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, welche nicht nur zur Umsetzung dieser Diplomarbeit beigetragen haben, sondern mich auch während meines Studiums begleitet haben.

Mein erster Dank geht an meinen Betreuer Herrn Associate Professor Dipl.-Ing. Dr. techn. Alireza Fadaei dafür, dass er mich von Beginn an bei der Realisierung dieser Diplomarbeit bestmöglich unterstützt hat sowie für seine hervorragende Betreuung.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Partnerin Catherine Lindmayer. Sie ist mir während der letzten Jahre immer zur Seite gestanden und war ein Rückhalt in jeglicher Hinsicht. Da in den zahlreichen Abgabephasen des Studiums schlaflose Nächte an der Tagesordnung waren, danke ich ihr besonders für ihre Unterstützung und ihr hohes Maß an Geduld.

Abschließend möchte ich meinen Eltern Sonja Baier und Josef Hofbauer, sowie deren Partnern Walter Baier und Renée Hofbauer danken, welche mich während der gesamten Studienzzeit nicht nur finanziell unterstützt haben sondern auch immer mit Rat zur Seite standen. Ohne eure Hilfe wäre dieses Studium nicht möglich gewesen. Vielen Dank dafür.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung und Motivation	3
1.2	Zielsetzung	3
2	Industrie- und Gewerbebau	4
2.1	Anforderungen an Industrie- und Gewerbebau	6
2.1.1	<i>Vorgehen der Fabrikplanung</i>	6
2.1.2	<i>Allgemeines Vorgehen zur Anforderungsermittlung</i>	8
2.2	Typologien	16
2.2.1	<i>Typ Geschossbau</i>	18
2.2.2	<i>Typ Flachbau</i>	20
2.2.3	<i>Typ Hallenbau</i>	22
2.3	Hallenbau	25
2.3.1	<i>Hallensysteme</i>	27
2.3.2	<i>Tragstrukturen</i>	29
2.3.3	<i>Gebäudehülle</i>	37
2.3.4	<i>Brandschutz</i>	42
2.4	Richtlinien und Normen	44
2.4.1	<i>Baurichtlinien</i>	44
2.4.2	<i>Konstruktionsnormen</i>	47
2.5	Zukünftige Entwicklung	48
2.5.1	<i>Integrale Planung</i>	48
3	Nachhaltigkeit	50
3.1	Nachhaltigkeit im Bauwesen	50
3.1.1	<i>Was bedeutet Nachhaltigkeit?</i>	50
3.1.2	<i>Nachhaltiges Bauen</i>	51
3.1.3	<i>Ökologische Säule</i>	52
3.1.4	<i>Ökonomische Säule</i>	53
3.1.5	<i>Nachhaltige Planung</i>	53
3.1.6	<i>Rückbaubarkeit und Recycling</i>	54

3.2	Ökologische Bewertungsmöglichkeiten	55
3.2.1	<i>Umweltproduktdeklarationen</i>	55
3.2.2	<i>Bewertungshilfen</i>	56
3.2.3	<i>Gebäudelebenszyklus</i>	61
3.3	Ökobilanzierung Life Cycle Assessment (LCA).....	63
3.3.1	<i>Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens</i>	65
3.3.2	<i>Sachbilanz</i>	70
3.3.3	<i>Wirkungsabschätzung</i>	70
3.3.4	<i>Auswertung</i>	71
3.3.5	<i>Unsicherheiten bei der Ökobilanzierung</i>	71
3.4	Strategien zur Ressourcenschonung	72
3.4.1	<i>Optimierung des Materiallebenszyklus</i>	72
3.4.2	<i>Optimierung des Gebäudelebenszyklus</i>	73
4	Systementwurf	74
4.1	Referenzbeispiele	74
4.1.1	<i>Übersicht</i>	74
4.2	Entwurf	94
4.2.1	<i>Anforderungen an die Produktionshalle</i>	95
4.2.2	<i>Bauplatz</i>	99
4.2.3	<i>Ausgangsbedingungen und Entwurfparameter</i>	101
4.2.4	<i>Entwurf</i>	105
4.2.5	<i>Bauteile</i>	109
4.2.6	<i>Bauweisen</i>	115
5	Ökologischer Vergleich	127
5.1	Vergleichende Ökobilanzierung der unterschiedlichen Bauweisen	127
5.1.1	<i>Ziel der Studie & Untersuchungsrahmen</i>	127
5.1.2	<i>Sachbilanz</i>	131
5.1.3	<i>Auswertung</i>	132

5.2	Ökobilanzieller Vergleich Baustoffe.....	133
5.2.1	<i>Nicht Erneuerbarer Primärenergiebedarf PERNT Baustoffe.....</i>	<i>134</i>
5.2.2	<i>Erneuerbarer Primärenergiebedarf PERT Baustoffe</i>	<i>135</i>
5.2.3	<i>Summe Primärenergiebedarf PE Baustoffe.....</i>	<i>137</i>
5.2.4	<i>Treibhauspotential GWP Baustoffe</i>	<i>140</i>
5.2.5	<i>Versauerungspotential AP Baustoffe.....</i>	<i>143</i>
5.2.6	<i>Diskussion und Bewertung der Ergebnisse</i>	<i>145</i>
5.3	Ökobilanzieller Vergleich Bauweisen	146
5.3.1	<i>Pernt Bauweisen.....</i>	<i>148</i>
5.3.2	<i>Pert Bauweisen.....</i>	<i>150</i>
5.3.3	<i>Pe Bauweisen</i>	<i>152</i>
5.3.4	<i>Gwp Bauweisen</i>	<i>154</i>
5.3.5	<i>Awp Bauweisen.....</i>	<i>158</i>
5.3.6	<i>Diskussion und Bewertung der Ergebnisse</i>	<i>160</i>
6	Ökonomischer Vergleich	162
6.1	Ökonomischer Vergeleich der unterschiedlichen Bauweisen	162
6.1.1	<i>Baustoffmassen</i>	<i>163</i>
6.1.2	<i>Baukosten</i>	<i>164</i>
6.1.3	<i>Baukosten BGF.....</i>	<i>165</i>
6.1.4	<i>Transport.....</i>	<i>166</i>
6.1.5	<i>Konstruktionshöhe</i>	<i>167</i>
6.1.6	<i>Diskussion und Bewertung der Ergebnisse</i>	<i>168</i>
7	Fazit	170
7.1	Zusammenfassung und Prognose	170
8	Verzeichnisse.....	174
8.1	Literaturverzeichnis	174
8.2	Abbildungsverzeichnis	178
8.3	Tabellenverzeichnis.....	181
9	Anhang	184

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<i>Abb.</i>	Abbildung
<i>BG BAU.</i>	Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft
<i>BSH.</i>	Brettschichtholz
<i>CAS - Nummer.</i>	Chemical Abstract Service Nummer
<i>EC- Nummer.</i>	Enzyme Commission Nummer
<i>EPD.</i>	Environmental Product Declaration - Umweltproduktdeklaration
<i>IBO.</i>	Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie
<i>LCA.</i>	Life Cycle Assessment - Ökobilanz
<i>OIB.</i>	Österreichisches Institut für Bautechnik
<i>STB.</i>	Stahlbeton
<i>Tab.</i>	Tabelle
<i>vgl.</i>	Vergleiche



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.

1 EINLEITUNG

Besonders in den Industrieländern wie Österreich und Deutschland wird die Planung von Gewerbe- und Industriestandorten immer anspruchsvoller. Dies hat mehrere unterschiedliche Ursachen. Zum einen wird der Konkurrenzkampf unter den Planern und Planerinnen immer stärker. Zum anderen sind ständig Anpassungen vorzunehmen, die durch verschiedenste Entwicklungen im sozialen, politischen und ökonomischen Bereich Einfluss auf die Planung haben. Und nicht zuletzt muss in der Baubranche auch ressourcenschonend und energiesparend geplant und gebaut werden.

Der gesamte Planungsprozess, angefangen mit dem Konzept bis hin zur Realisierung, ist auch im Gewerbe- und Industriebau sehr zeitintensiv. Hier ist vor allem darauf zu achten, dass kein Teilbereich vernachlässigt wird. Sowohl Gebäudehülle, Tragwerkskonstruktion als auch das Innere des Gebäudes sind immer als ein Ganzes zu betrachten und müssen so konzipiert werden, dass die täglichen Produktionsabläufe reibungslos funktionieren. Meistens arbeiten hier verschiedene Fachrichtungen in einem Team, um möglichst alle Bereiche und Themen bei der Planung der Arbeitsplätze abdecken zu können. Dabei wird selbstverständlich auch der Lebenszyklus der Bauwerke berücksichtigt.

Spricht man vom Lebenszyklus eines Bauwerks, so spricht man von seiner Nachhaltigkeit. Hier werden vor allem die einzelnen Bauteile eines Gebäudes und deren Material betrachtet und überlegt, wie man diese im Falle einer Rückführung wieder verwenden/verwerten könnte. Weiters spielen auch energetische Anforderungen an das Gebäude sowie das Thema Brandschutz eine wichtige Rolle bei der Planung von Industrie- und Gewerbebauten.

Im Industrie- und Gewerbebau spricht man grundsätzlich von weitgespannten Tragwerksformen, deren Anwendung in unterschiedlichen Typologien zu finden sind. Innerhalb unserer Industriekultur ist der Hallenbau eine weit verbreitete Form und zahlreich in fast jedem Industriegebiet zu finden. Hallenbauwerke, zu denen vor allem

Produktions- und Lagerhallen zählen, haben den Zweck, große Räume möglichst stützenfrei zu umschließen. Ausschlaggebend hierfür ist die Wahl der geeigneten Tragwerksstruktur.

Leider wird in der Praxis häufig der Aspekt der geforderten Wirtschaftlichkeit des Tragwerks mit der Suche nach der billigsten Konstruktion verwechselt – oft ein folgenschwerer Fehler. Das Tragwerk ist das am schwersten veränderbare System einer Baustruktur und somit auch das zeitbeständigste. In der Regel wird es für die gesamte Nutzungsdauer eines Gebäudes ausgelegt. Die Wahl der Tragstruktur hat somit großen Einfluss auf die langfristige Nutzbarkeit sowie seine Wandlungsfähigkeit. Weiters spielt auch hier das Thema der Nachhaltigkeit und einer möglichen Rückführung/ eines möglichen Recyclings nach Ablauf der Lebensdauer eine Rolle, welche bei der Planung oftmals nicht berücksichtigt werden.

Von einem gelungenen Tragwerksentwurf ist somit erst dann die Rede, wenn einerseits die Tragwerksstruktur und dessen Materialwahl sorgfältig aufeinander abgestimmt sind und andererseits diese über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg, beginnend von der Herstellung bis hin zur Rückführung, genauestens betrachtet wurden.

1.1 PROBLEMSTELLUNG UND MOTIVATION

Das Thema der Nachhaltigkeit in Verbindung mit dem ökologischen Fußabdruck gewinnt in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung. Dies liegt vor allem daran, dass weltweit zuviel CO₂-Schadstoffausstoß verursacht wird. Vor allem der Bausektor gehört zu den führenden Vertretern dieser Problematik. Deshalb wird es immer wichtiger, auch im Bauwesen nachhaltig zu denken und die CO₂-Emissionen auf ein Minimum zu reduzieren. Eine Möglichkeit zur Reduzierung ist die Verwendung von nachhaltigen Baustoffen. Wichtig dabei ist es, den Hebel sobald als möglich in die Richtung nachhaltiger Planung zu bewegen. Je später dies erfolgt, desto schwerer wird es den Hebel in Bewegung zu setzen.

Im Industrie- und Gewerbebau findet diese Problematik leider noch zu selten Anklang. Hier sind es nach wie vor die Baukosten, welche als bestimmende Kraft auftreten und den ökologischen Gedanken verschwinden lassen. Mit dem Tragwerk wird das am schwersten veränderbare System innerhalb der Struktur bereits zu Beginn der Planung ausgelegt, ohne dabei meist einen Gedanken an seine Entsorgung am Ende seiner Gebäudelebensdauer zu verschwenden. Durch meine berufliche Tätigkeit im Bereich Industrie- und Gewerbebau habe ich laufend mit dieser Problematik zu tun.

1.2 ZIELSETZUNG

Ziel dieser Arbeit ist es aufzuzeigen, welche Auswirkungen und Einflüsse die unterschiedlichen Materialien auf den Tragwerksentwurf, hinsichtlich derer ökologischen Nachhaltigkeit im Industrie- und Gewerbebau, ausüben, um somit künftig Planer und Planerinnen schon frühzeitig in der Planungsphase bei möglichen Entwurfsentscheidungen in Richtung nachhaltiger Planung zu unterstützen.

2 INDUSTRIE- UND GEWERBEBAU

Bei der Errichtung von Industrie- und Gewerbebauten ist ein umfangreicher und komplexer Planungsprozess der Grundstein für einen langfristigen Projekterfolg. Dabei müssen alle Planungskriterien gleichermaßen berücksichtigt werden. Die Gestalt sowie Konstruktion des Gebäudes kann nicht allein aufgrund von ästhetischen Anforderungen hergeleitet werden, sondern formt sich aus einem Findungsprozess, der verschiedenste Prozessabläufe durchläuft. Dabei dienen Themen wie Standort, Logistik, Klima, Gesellschaft und Mensch als wichtige Impulsgeber. Zudem muss ein Beziehungsgeflecht aus Planungs-, Bauteams und Fertigungsunternehmen geschaffen werden und jeweils die gegenseitigen Abhängigkeiten aufzeigen.¹

Industriebauten dienen grundsätzlich der Herstellung von Stoffen, Maschinen und Geräten sowie deren Verpackung und Versand bis hin zu der Bereitstellung von Rohstoffen und Zwischenprodukten. Sie bilden im Regelfall nur die bauliche Hülle für Produktionsanlagen (Produktionshallen) und/oder Lagereinrichtungen (Lagerhallen).²

Im Industrie- und Gewerbebau geht es im Wesentlichen darum, möglichst große stützenfreie Räume und Flächen zu generieren, um somit einen möglichst hohen Grad an Flexibilität zu wahren. Durch die ständig ändernden Ansprüche ist auch der Produktionsablauf einer ständigen Wandlung ausgesetzt. Zudem sollen Produktionsstätten in den Herstell- und Erhaltungskosten möglichst günstig sein.

Möglich machen dies weitgespannte Tragwerksformen die vor allem bei Hallenbauten zur Anwendung kommen. Durch die geringen einwirkenden Lasten auf das Gebäude können die weitgespannten Tragwerke mit geringem Materialaufwand verwirklicht werden. Aufgrund von großen Bauhöhen und Spannweiten sowie kurzen Montagezeiten werden diese Bauformen in den meisten Fällen mit vorgefertigten Elementen gebaut.³

1. Vgl. [Hotz] S.8
2. Vgl. [LaRui] S.38
3. Vgl. [Hierlein] S.30

Entsprechend der unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten für Hallenbauten kommen auch unterschiedliche Hallensysteme zum Einsatz. Für diese gibt es wiederum verschiedene Möglichkeiten der Tragwerksbildung sowie der Materialwahl. Welches System beziehungsweise welcher Baustoff richtig ist, lässt sich nicht sagen. Alle besitzen sie ihre Vor- sowie Nachteile.

Bei der Materialwahl kommen im Wesentlichen nur Beton, Stahl und Holz in Frage. Auch eine Mischbauweise aus unterschiedlichen Materialien ist möglich.

In den folgenden Kapiteln werden unterschiedliche Bereiche zum Thema Industrie- und Gewerbebau behandelt. Angefangen von der Anforderungsermittlung über Typologien und Richtlinien bis hin zum Hallenbau. Im nächsten Abschnitt wird die Planung von Industrie- und Gewerbebauten anhand des Modells nach Nyhuis und Reichardt ⁴ dargestellt, da es keine einheitliche Definition für die Planung von Industrie- und Gewerbebauten gibt.

4. Vgl. [Holz] S.20

2.1 ANFORDERUNGEN AN INDUSTRIE- UND GEWERBEBAU

Zu Beginn eines jeden Industrie- und Gewerbebauprojekts müssen zuallererst die Anforderungen ermittelt werden, um die Zielsetzung für die Gebäudeplanung zu definieren. In diesem Kapitel werden wechselseitige Beziehungen zwischen der Planung der Produktion und dem Gebäude einer Fabrik dargestellt und somit auf Basis dieser die Anforderungen aus Sicht der Produktion für die Neuplanung eines Industrie- und Gewerbebaus abgeleitet. Dadurch können bestimmte Entscheidungen, wie beispielsweise die Materialwahl der Gebäudeelemente, getroffen werden.⁵

2.1.1 VORGEHEN DER FABRIKPLANUNG

Zunächst wird die Anforderungsermittlung im Gesamtkontext der Fabrikplanung betrachtet. Da es keine einheitliche Definition zum Vorgehen einer Fabrikplanung gibt, existieren aus Sicht der Fachplaner spezifische Planungsabläufe, die jedoch nicht im Rahmen eines ganzheitlichen Planungsvorgehens einer Fabrikplanung stehen. Daher ist es notwendig, die verschiedenen Sichten der beteiligten Fachplaner zusammenzuführen. In weiterer Folge gelten die verschiedenen Fabrikplanungsphasen nach Abb. 1.⁶

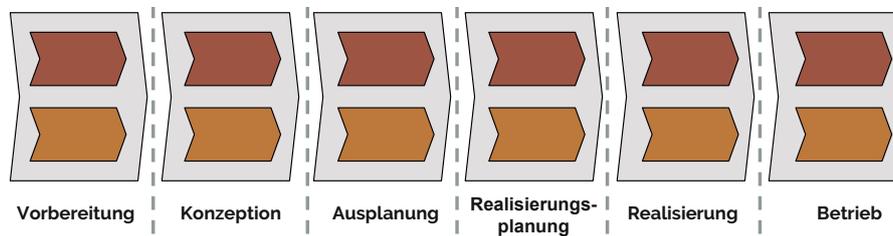


Abb. 1. Ganzheitliche Planungsphasen

⁵ Vgl. I.HolzI S.20
⁶ Vgl. I.HolzI S.20

Wie zu Anfang bereits erwähnt, muss die Anforderungsermittlung zu Beginn eines Projekts durchgeführt werden, um die Zielsetzung der einzelnen Teilplanungen festzulegen. Dies wird in der sogenannten Vorbereitungsphase ermittelt.⁷

Des Weiteren ist eine einheitliche Definition der in einer Fabrikplanung zu gestaltenden Objekte festzulegen, um die grundsätzliche Beziehung der Anforderungen zu identifizieren. Es gibt verschiedene Gestaltungsobjekte wie z.B. Lagermittel, Medienleitung, die Fassade eines Gebäudes oder Haustechnikanlagen. Es können nach Nyhuis und Reichardt 29 Gestaltungsobjekte einer Fabrik definiert werden. Siehe Abb. 2.⁸

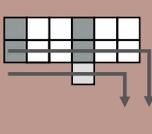
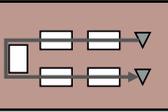
Gestaltungsfelder		Raum	Prozessmittel	Organisation
Detaillierungsebenen der Fabrik				
I Werk (lokaler Standort, Generalbebauung)		<ul style="list-style-type: none"> • Gesetze und Auflagen • Grundstück • Generalbebauung • Außenanlagen • Ver- und Entsorgung Gebäude 		<ul style="list-style-type: none"> • Aufbauorganisation
II Fabrik (Gebäude)		<ul style="list-style-type: none"> • Layout • Bauform • Tragwerk • Hülle • Ausbau • Anmutung • Netze • Zentralen 	<ul style="list-style-type: none"> • Informationstechnik 	<ul style="list-style-type: none"> • Produktionskonzept • Logistikkonzept • Struktur
III Bereich, System (Arbeitsbereich)		<ul style="list-style-type: none"> • Kommunikation • Brandschutz • Auslässe • Ver- und Entsorgung Prozess 	<ul style="list-style-type: none"> • Transportmittel • Lagermittel 	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsorganisation
IV Arbeitsstation (Arbeitsplatz)		<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsplatzgestaltung 	<ul style="list-style-type: none"> • Produktionsmittel • Sonstige Mittel 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitätssicherungs-konzept

Abb. 2. Gestaltungsobjekte der Fabrik

7. Vgl. I.Holz| S.21
8. Vgl. I.Holz| S.21

Die unterschiedlichen Gestaltungsobjekte lassen sich verschiedenen Ebenen der Fabrik zuweisen. So kann zum Beispiel das Tragwerk der Ebene „Fabrik/Gebäude“ zugeordnet werden, während ein Produktionsmittel der Ebene „Arbeitsstation/Arbeitsplatz“ zugewiesen wird. Zusätzlich können die zu gestaltenden Objekte spezifischen Gestaltungsfeldern zugewiesen werden, wodurch sie eine Zuordnung zu groben Verantwortungsbereichen erhalten. Die Gestaltungsfelder lassen sich in die drei Typen „Raum, Prozessmittel und Organisation“ definieren. Zu den „Prozessmittel“ gehören alle Mittel wie die Produktions-, Lager- oder Transportmittel sowie die Informationstechnik. Die „Organisation“ berücksichtigt die Aufbau- und Ablauforganisation, sowie auch Konzepte für die Logistik oder die Qualitätssicherung. Das letzte Gestaltungsfeld der „Raum“ steht in enger Verbindung mit der Architektur der Fabrik und lässt sich in die drei Unterbereiche „Standort, Gebäude und Medien“ unterteilen. Dabei werden unter anderem Aspekte wie Grundstück, Tragwerk und Ausbau sowie auch das Layout der Fabrik betrachtet.⁹

2.1.2 ALLGEMEINES VORGEHEN ZUR ANFORDERUNGSERMITTLUNG

Bei der Anforderungsermittlung ist zu bedenken, dass bestimmte Gestaltungsobjekte eines Gestaltungsfelds einen Einfluss auf andere Gestaltungsfelder ausüben können. So zum Beispiel bei den Gestaltungsobjekten des Gestaltungsfelds „Prozessmittel“, welche einen großen Einfluss auf die Auslegung der Gestaltungsobjekte des Raums ausüben. Als Beispiel hierfür können am Tragwerk montierte Fördersysteme, die dem Gestaltungsobjekt „Transportmittel“ zuzuordnen sind, angesehen werden. Dadurch wird wesentlich Einfluss auf die Stützen als auch auf das gesamte Tragwerk genommen. Ein weiteres Beispiel stellen die Anforderungen von Fertigungsmaschinen an die Spannweite eines Gebäudes dar. Nicht nur die Grundabmessung einer Produktionsmaschine, sondern auch ihre Bedien-, Wartungs- und Lagerflächen bestimmen so ein Mindestmaß für das Stützenraster eines Fertigungsbereichs.¹⁰

9. Vgl. I.HolzI S.21

10. Vgl. I.HolzI S.22

In der Abb. 3 werden diese direkten Anforderungen der Objekte des Gestaltungsfelds „Prozessmittel“ an die Gestaltungsobjekte des Raums als Basisanforderungen bezeichnet. Für die Objekte Transportmittel, Lagermittel und Produktionsmittel, welche im Anschluss näher beschrieben werden, lassen sich dabei Anforderungen näher erkennen. Ebenfalls zu berücksichtigende Beziehungen wie z.B. die Einrichtungen für die Qualitätssicherung werden unter „Sonstige Mittel“ zusammengefasst. Das Gestaltungsobjekt „Informationstechnik“ spielt zu Beginn eines Fabrikplanungsprojekts keine Rolle, da es keine entscheidenden Einflüsse auf die Gestaltung von Objekten des Raums ausübt und somit vernachlässigt werden kann.¹¹

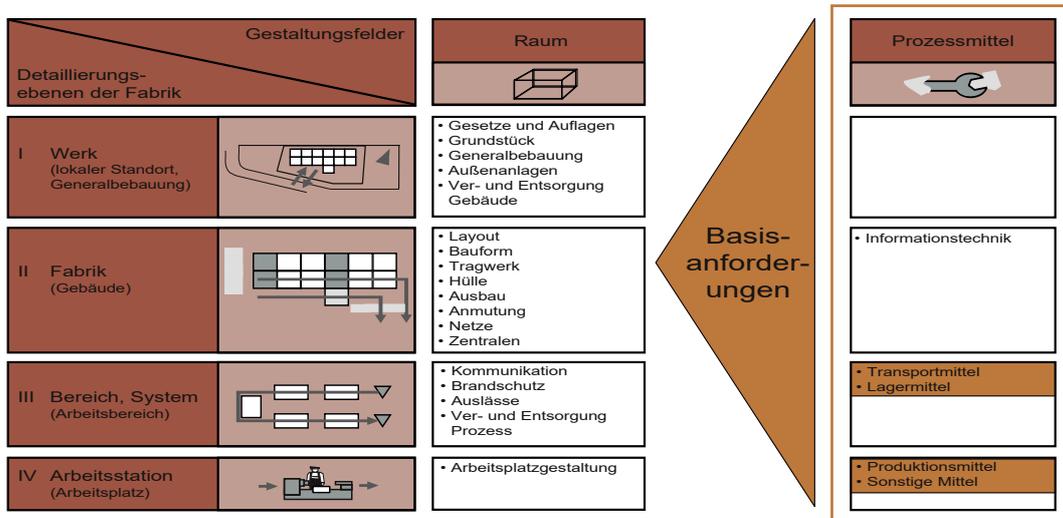


Abb. 3. Basisanforderungen

Für ein besseres Verständnis werden die einzelnen Gestaltungsobjekte kurz näher beschrieben.

¹¹ Vgl. I.Holzl S.23

Gestaltungsobjekt „Lagermittel“

Lagermittel sind Einrichtungen die zur Lagerung von zum Beispiel Roh- und Betriebsstoffen, Ersatzteilen sowie Zwischen- und Fertigerzeugnissen dienen. Die Lagerung von Gütern unterscheidet sich hauptsächlich in der Art der Lagerung (Bodenlagerung, Regallagerung) und bei Regallagerung im konstruktiven Aufbau (Verschieberegale, Umlaufregal). Wichtige Faktoren bei der Planung von Lagerflächen sind Raum- und Flächennutzungsgrad. Der Raumnutzungsgrad gibt an, in welchem Maße ein Gebäude/Raum wirklich genutzt wird. Hier ist vor allem die Höhe ein wesentlicher Parameter, der bei der Gebäudekonstruktion zu berücksichtigen ist. Der Flächennutzungsgrad bestimmt die Gestalt sowie die Grundfläche von Lagern.¹²

Gestaltungsobjekt „Transportmittel“

Transportmittel sind Einrichtungen für den innerbetrieblichen Transport, dies bedeutet auf dem Werksgelände. Die Transportmittel können in verschiedene Gruppen unterteilt werden, die je nach Gruppierung unterschiedliche Anforderungen an den Raum stellen. Faktoren wie beispielsweise Transportbereich, Transportrichtung, Beweglichkeit, Transportebenen und das Arbeitsprinzip fließen in die Betrachtung ein.¹³

Gestaltungsobjekt „Produktionsmittel“

Unter Produktionsmittel werden sowohl Einrichtungen zum Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und zur Änderung der Stoffeigenschaft verstanden. Ebenfalls dazu zählen Einrichtungen die zur Montage dienen sowie Handarbeitsplätze. Im Fokus der Produktionsmittel stehen die Arbeitsmaschinen, da sie die größten Anforderungen an den Raum und seine Gestalt stellen. Sie müssen so angeordnet sein, um einen reibungslosen Ablauf in der Produktion zu gewährleisten. Ebenfalls sollten auch mögliche Verschiebungen der Produktionsmaschinen in die Raumauslegung miteinfließen.¹⁴

12. Vgl. I.HolzI S.28

13. Vgl. I.HolzI S.28

14. Vgl. I.HolzI S.29

Gestaltungsobjekt „sonstige Mittel“

Unter den sonstigen Mitteln versteht man Einrichtungen die für Qualitätssicherung sowie zum Handhaben, Bereitstellen, Kommissionieren, Sortieren und Verpacken dienen.¹⁵

Um einen guten Überblick zu schaffen, wurde eine Vorgehensweise entwickelt, welche die Basisanforderungen erfasst und übersichtlich darstellt. Dies erfolgt über zwei Wege. Zum einen werden die betrachteten Prozessmittel in Systeme unterteilt, welche einheitliche Anforderungen an den Raum stellen (siehe Abb. 3). Zum anderen werden die Anforderungen in Kategorien unterteilt.¹⁶

Somit lassen sich in der Fabrikplanung alle zu planenden Prozessmittel einem spezifischen System zuordnen, aus dem wiederum die allgemeinen Basisanforderungen, welche in neun Kategorien unterteilt werden (siehe Abb. 4), abgeleitet werden.¹⁷

15. Vgl. I.Holz| S.29
16. Vgl. I.Holz| S.23
17. Vgl. I.Holz| S.23

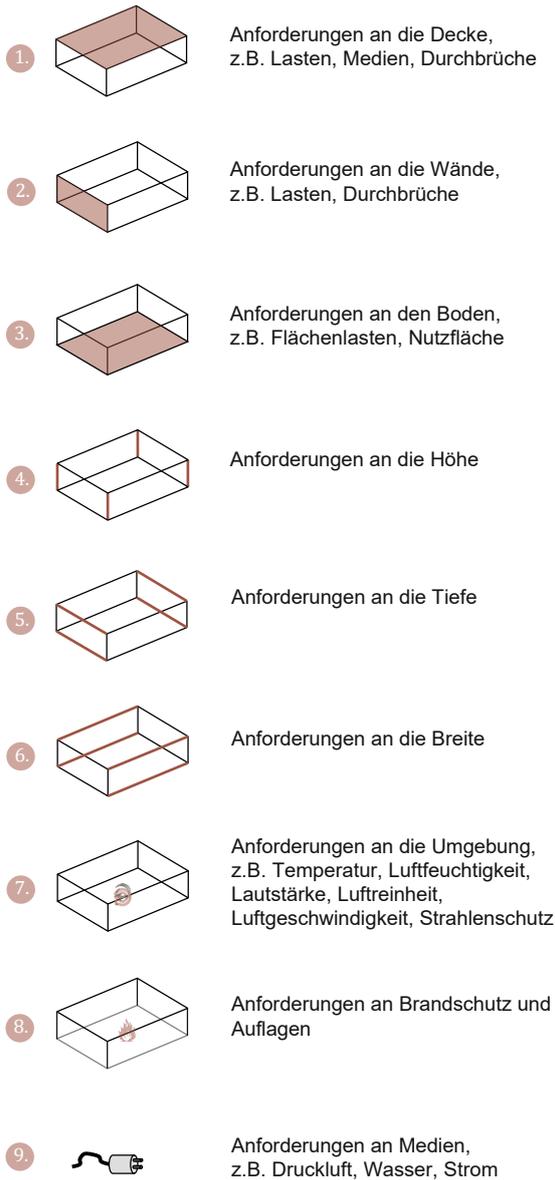


Abb. 4. Der Kubus als Raumeinheit

Die Kategorien eins bis drei stellen grundlegende Anforderungen, wie zum Beispiel die zu berücksichtigenden Lasten, an Wände, Decken und Boden dar.¹⁸

Die geometrischen Anforderungen, welche den Raum bestimmen, werden von den Kategorien vier bis sechs abgedeckt. Die Kategorien sieben und acht bestimmen zum einen die Anforderungen an die Umgebung, wie zum Beispiel Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftreinheit, sowie zum anderen an den Brandschutz.¹⁹

Als letztes gibt es noch die Kategorie neun. Diese befasst sich mit den Anforderungen bezüglich benötigter Medienanschlüsse.²⁰

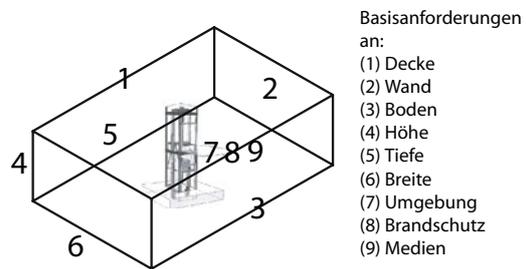


Abb. 5. Prozessmittelmodell

18. Vgl. [Holz] S.26
 19. Vgl. [Holz] S.26
 20. Vgl. [Holz] S.26

Anschließend können dadurch die Ergebnisse in einem dreidimensionalen Modell, dem Prozessmittelmodell, (siehe Abb. 5) dargestellt werden. Die Zusammenführung der einzelnen Basiskuben wird in der Fabrikplanung vor allem durch die Gestaltungsobjekte der Organisation definiert. Durch die Planung der Gestaltungsobjekte der Organisation entstehen wiederum Anforderungen an die Gestaltungsobjekte des Raums, (siehe Abb. 6). Diese treten vor allem indirekt über die Basisanforderungen der Prozessmittel auf.²¹

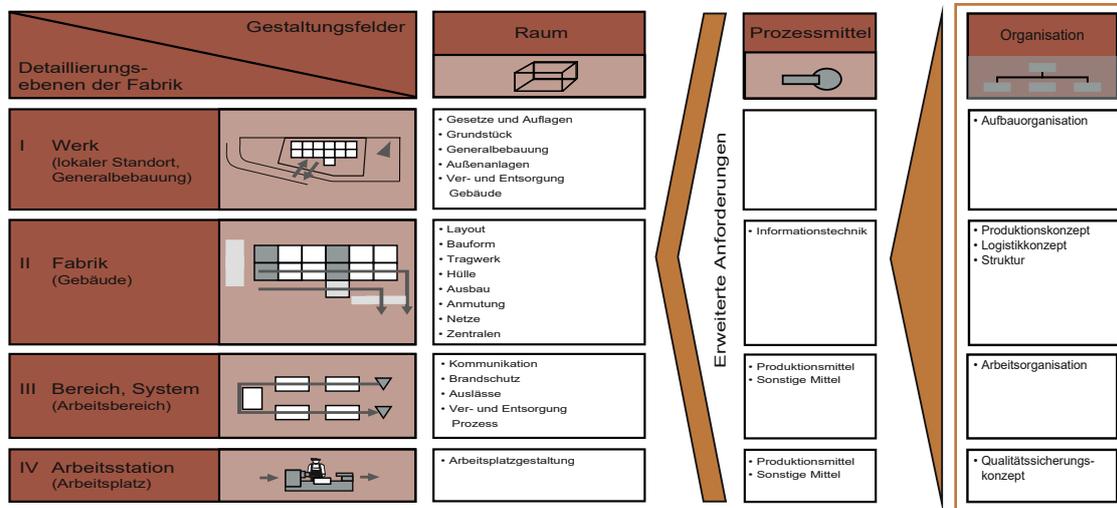


Abb. 6. Erweiterte Anforderungen

21. Vgl. I.Holz/S.26

Die Zusammenführung der einzelnen Kuben erfolgt über drei Schritte. Zuerst werden die Basiskuben zu Bereichskuben zusammengefasst, um somit die Struktur einer Fabrik zu generieren (siehe Abb. 7). Unter Bereichskubus versteht man die einzelnen Bereiche wie Fertigung, Montage oder Lager und fasst dessen Anforderungen zusammen. So werden zum Beispiel Anforderungen wie die maximale Spannweite der Basiskuben für einen bestimmten Bereich festgelegt. Zu den erweiterten Anforderungen eines Bereichskubus zählen unter anderem die Forderung nach Wandlungsfähigkeit, um mögliche Erweiterungen zukünftig nicht auszuschließen.²²

Im zweiten Schritt werden die einzelnen Bereichskuben in einem Layout grob angeordnet, (siehe Abb. 7) jedoch muss hier bedacht werden, dass diese Anordnung zumeist nicht zu einer geometrischen Gebäudeform führt, welche umhüllt werden kann.²³

Dadurch muss im dritten und letzten Schritt das entwickelte Groblayout mit den Raummodellen der Architektur zusammengeführt werden, um eine ganzheitliche und wirtschaftliche Gesamtlösung zu erreichen, siehe Abb. 8. Anschließend kann durch die Zusammenführung der Modelle die statische Ausarbeitung anhand der bevorzugten Materialien erfolgen.²⁴

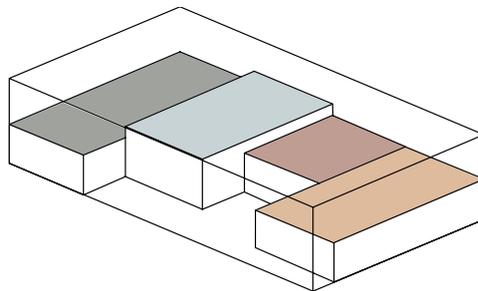


Abb. 7. *Der Kubus als Raumeinheit*

22. Vgl. [Holz] S.27

23. Vgl. [Holz] S.27

24. Vgl. [Holz] S.27

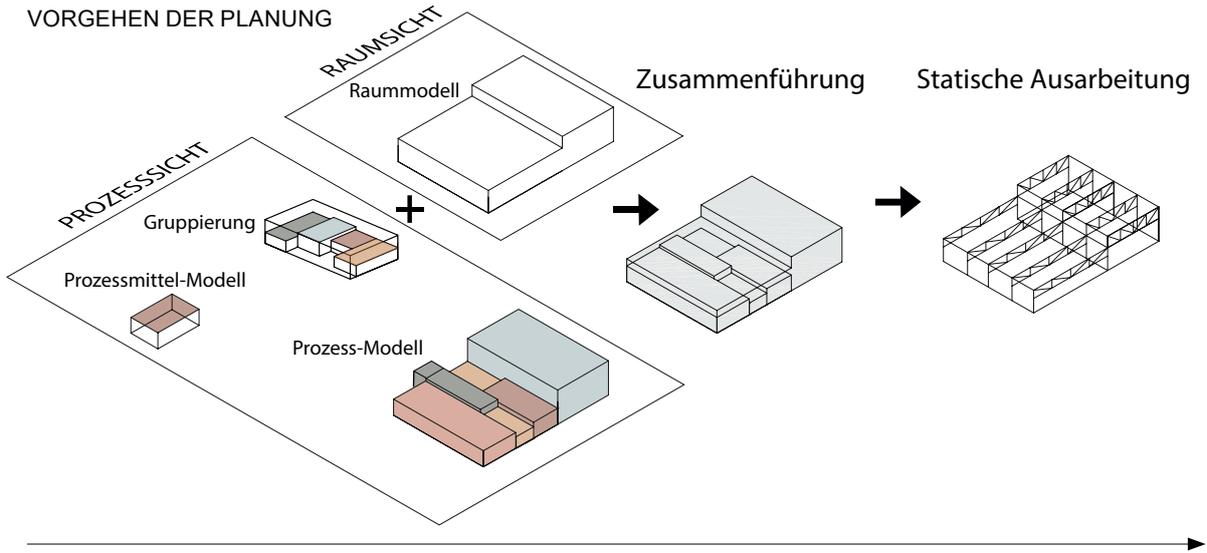


Abb. 8. Groblayout + Zusammenführung

2.2 TYPOLOGIEN

Grundsätzlich werden Industrie- und Gewerbebauten nach Gebäudetypen für die Grundfunktion, wie beispielsweise Produktion und Lagerung, sowie nach der Form des Gebäudeschnitts unterschieden.²⁵

Folgt die Unterteilung nach der Grundfunktion werden traditionell die Funktionsbereiche untersucht. Hier wird unterschieden zwischen Produktion und Fertigung, Lagerung, Verwaltung, Entwicklung, Sozialbereiche sowie Ausstellung und Verkauf. Bei dieser Typisierung der Gebäude ist jedoch die Fragestellung nach der Wandlungsfähigkeit von geringer Bedeutung, da grundsätzlich monofunktionale Strukturen Veränderungen ablehnen.²⁶

Eine Unterteilung nach der Form des Gebäudeschnitts ist gegenüber der Grundfunktion wesentlich aussagekräftiger. Durch den Gebäudeschnitt werden wichtige Faktoren wie Tragfähigkeit, lichte Höhen, natürliche Belichtung, Installationszonen sowie Erweiterungsoptionen festgelegt. Für eine langfristige Wandlungsfähigkeit sind neben dem Schnittprofil auch die gewählte Grundrissfigur sowie deren Verknüpfungsprinzipien maßgebend.²⁷

Industrie- und Gewerbebauten können in drei verschiedene Gebäudekategorien unterteilt werden:

- Typ Geschossbau
- Typ Flachbau
- Typ Hallenbau

25. Vgl. I.Holz) S.30

26. Vgl. I.Holz) S.30

27. Vgl. I.Holz) S.30

In der Industrie kommen oftmals Kombinationsformen aller drei Bautypen, insbesondere von Geschoss- und Flachbauten, vor. Schnittprofile (siehe Abb. 9) können dabei helfen eine möglichst geschickte Kombinationsform zu arrangieren, um daraus ein verknüpfendes Gesamtkonzept aller Werkbereiche zu schaffen. So bestehen niedrige Produktions- oder Montagehallen mit seitlicher Verwaltung eigentlich aus einem Flachbau mit angeschlossenem Geschossbau.²⁸

Im Folgenden werden die drei Bautypen näher erläutert und in weiterer Folge in der Tab. 4 gegenübergestellt. Anschließend wird im nächsten Abschnitt der Fokus auf den Hallenbau gelegt.

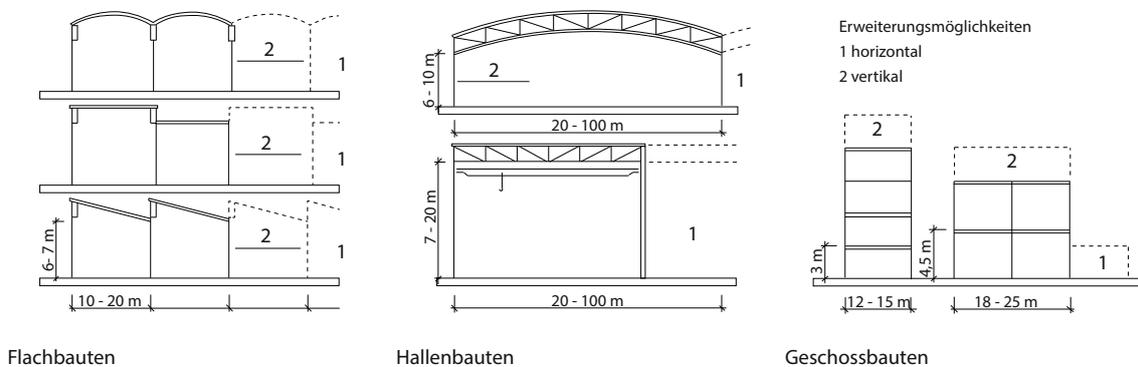


Abb. 9. Schnittprofile

28. Vgl. I.HolzI S.33

2.2.1 TYP GESCHOSSBAU

Der Geschossbau ist der eigentliche Urtyp des Fabrikgebäudes und wurde im 18. Jahrhundert für die englische Textilspinnerei sowie für die amerikanische Automobilfabrik, zu Beginn des 20. Jahrhunderts, verwendet.²⁹ Heute findet er vor allem Gebrauch in der:

- Feinmechanischen Industrie
- Optischen Industrie
- Elektronischen Industrie
- Lebensmittelindustrie
- Bekleidungsindustrie³⁰

Gewöhnlich werden Geschossbauten in Skelettbauweise aus Stahl oder Stahlbeton ausgeführt. In Zeiten der Klimadiskussion hat jedoch auch der Werkstoff Holz im Geschossbau enorm an Bedeutung gewonnen. Geschossbauten bestehen aus mehreren Etagen und besitzen meist eine geradlinige oder abgewinkelte, längliche Form. Die Querschnittsform ist abhängig von der Raumtiefe und dem natürlichen Lichteinfall, sowie den Abständen der Innenstützen und Spannweiten der Decken.³¹

Geschossbauten kommen dann zum Einsatz, wenn auf beschränktem Grundriss viele Arbeitsplätze untergebracht werden sollen, zudem erfolgt der vertikale Transport sowie die Erschließung innerhalb des Gebäudes über Treppen oder Aufzüge. Die auftretenden Verkehrslasten sollten aufgrund der Belastbarkeit der Decken nicht zu hoch sein. Geschossbauten eignen sich deshalb gut für die Produktion hochwertiger Güter mit niedriger Transportintensität, niedrigem Gewicht und langen Arbeitsprozessen.³²

In Tab. 1 werden die Vor- und Nachteile von Geschossbauten gegenübergestellt.

29. Vgl. IHotzI S.30

30. Vgl. ILaRui S.68

31. Vgl. ILaRui S.68

32. Vgl. ILaRui S.68

Tabelle: 01. Vor- und Nachteile von Geschossbauten

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - geringe Baufläche - gute Grundflächenausnutzung - wirtschaftliche Bauweise durch Skelettbau - geringe Kosten für Klimatisierung - einfache Dachkonstruktion - Neben- und Sanitärräume sind gut einzuodern 	<ul style="list-style-type: none"> - tragfähiger Grund muss vorhanden sein - natürliche Beleuchtung ist schwierig - schwingende Maschinen können Gebäudeschwingungen hervorrufen - geringe Übersichtlichkeit bei Fertigung in mehreren Etagen - viel unproduktiver Raum durch Aufzüge und Treppen - schwieriger Materialfluss über mehrere Ebenen - Bauhöhe ist oft durch örtliche Vorschriften begrenzt - Einschränkungen durch Unfallverhütungsvorschriften - Tragfähigkeit der Decken ist begrenzt - Erweiterungsmöglichkeiten sind begrenzt

2.2.2 TYP FLACHBAU

Aufgrund der sich ändernden Prozessvorgaben, Anfang des 20. Jahrhunderts, entstanden als Antwort darauf in großer Zahl Flachbauten, um möglichst große zusammenhängende ebenerdige Flächen zu generieren. Besonders für die amerikanische Autoindustrie, mit der Einführung der Fließbandproduktion, war das Konzept der einfachen Erweiterbarkeit auf einer Ebene ideal. Ebenfalls war die Möglichkeit der einfachen Montage von schweren Maschinen auf der Bodenplatte ein wichtiger Punkt. Auch heute bietet der Flachbau, insbesondere bei Vorhaltung ausreichender lichter Höhen, sehr gute Möglichkeiten der Wandlungsfähigkeit.³³

Flachbauten werden meist dann verwendet wenn große ebenerdige Arbeitsräume, die weder von den Erzeugnissen noch von den Produktionsrichtungen her eine große Gebäudehöhe erfordern, benötigt werden. Flachbauten sind universell nutzbare Gewerbebauten, deren Gebäudeform meist richtungslos ist. Die Querschnittsform ist abhängig vom Stützenraster sowie der Belichtungsfläche. Die Belichtung erfolgt zumeist über Oberlichtbänder (z. B. Firstoberlichter), jedoch sind auch andere Formen wie die Belichtung über Fensterbänder in der Gebäudehülle, möglich. Ebenfalls gibt es eine Vielzahl an Sonderformen für Flachbauten, welche keine natürliche Belichtung benötigen. Fensterlose Flachbauten findet man bei Kühlhäusern, Kaufhäusern, chemischer und keramischer Industrie sowie bei Lagerhallen.³⁴

Flachbauten werden verwendet zum Beispiel für:

- Produktionen, die große zusammenhängende Flächen benötigen (Textilfabrik)
- Druckereien, Kabelwerke
- Produktion mit starker Erschütterungswirkung (Maschinenbau, Gießerei)
- Produktion von sperrigen Gütern
- Handel (Supermärkte)³⁵

Tab. 2 gibt einen Überblick über die Vor- und Nachteile von Flachbauten.

33. Vgl. IHotzI S.30

34. Vgl. ILaRui S.70

35. Vgl. ILaRui S.70

Tabelle: 02. Vor- und Nachteile von Flachbauten

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - übersichtliche, zusammenhängende Fertigungsfläche - gute Gestaltungsmöglichkeiten des Materialflusses ohne Höhengsprünge - gute Erweiterungsmöglichkeiten - relativ niedrige Baukosten pro m² 	<ul style="list-style-type: none"> - größerer Platzbedarf als beim Geschossbau - höhere Heizungs- und Klimatisierungskosten als beim Geschossbau - lange Leitungswege - bei Shedbau relativ teuer in der Erstellung und Erhaltung

2.2.3 TYP HALLENBAU

Hallenbauten sind ein für Industrie- und Gewerbebau charakteristischer Gebäudetyp, der immer dann notwendig wird, wenn zusätzliche Anforderungen nach großer Spannweite, großer lichter Höhe oder schwerer Fördertechnik gefordert werden. Man unterscheidet zwischen leichten und schweren Hallen, die je nach Höhe und Auslegung des Tragwerks Anwendung finden. Im Gegensatz zu Flachbauten (richtungslos) sind Hallenbauten längsorientiert und dadurch meist nur in einer Achse sinnvoll erweiterbar. Ebenfalls ist bei der Erstellung von Tragwerk, Fördertechnik sowie technischem Ausbau ein höherer Aufwand zu veranschlagen als bei den Flachbauten.³⁶

Meist werden in Hallen Produkte produziert oder Maschinen eingesetzt, deren Abmessungen oder Gewicht so groß sind, dass sie nur in Hallenbauten untergebracht werden können. Dadurch besitzen viele Hallen eine Krananlage, um schwere Lasten heben beziehungsweise manipulieren zu können. Die erforderliche Hakenhöhe bestimmt die Höhenabmessungen der Hallen wesentlich mit. Ein typisches Merkmal für Hallenbauten sind die meist wenigen Arbeitsplätze, da die Aufstellung von großen, schweren Maschinen viel Platz benötigt.³⁷

Die Belichtung erfolgt über Lichtbänder in der Außenhülle oder über Dachoberlichter. Die Querschnittsform ist abhängig von der Spannweite, von der Belichtungsfläche sowie von der möglichen Krananlage.

Hallenbauten werden verwendet zum Beispiel für:

- Fahrzeugindustrie, Flugzeugindustrie
- Stahlindustrie (Walzstraßen)
- Dienstleister (Messehalle, Sporthalle)
- Produktionen
- Lagerhalle³⁸

Tab. 3 zeigt die Vor- und Nachteile von Hallenbauten.

36. Vgl. IHotzI S.30

37. Vgl. ILaRui S.69

38. Vgl. ILaRui S.69

Tabelle: 03. *Vor- und Nachteile von Hallenbauten*

<i>Vorteile</i>	<i>Nachteile</i>
<ul style="list-style-type: none"> - <i>übersichtliche, zusammenhängende Arbeitsfläche</i> - <i>gute Gestaltungsmöglichkeiten für den Fertigungsfluss, da freie Flächen ohne Stützen</i> - <i>komplexer, dreidimensionaler Materialfluss möglich</i> - <i>Gestaltungsmöglichkeiten mit Zwischendecken (Büros)</i> - <i>verschiedene Fördermittel einsetzbar</i> - <i>gute Fundamentierungsmöglichkeiten auf gewachsenem Boden</i> - <i>leichte Entlüftung</i> - <i>gute Erweiterungsmöglichkeiten</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>relativ große Baufläche erforderlich</i> - <i>aufwendige Dachkonstruktionen durch große Stützenweite</i> - <i>größere Leitungswege gegenüber Geschossbau</i> - <i>erhöhter Heizbedarf durch größere Abkühlfläche gegenüber Geschossbau</i> - <i>Sozial- und Nebenräume müssen gesondert gebaut werden (Anbau oder Unterkellerung)</i>

Tabelle: 04. Merkmale von Industriebautypen

	Geschossbauten	Flachbauten	Hallen
Grundrissanordnung in Abhängigkeit von:	Fluchtweglage zu Treppen max. 30m, Festpunktbildung mit Treppe , Aufzug, sanitären Räumen, Installationen, Festpunkten	zusammenhängenden Fertigungsflächen mit Kopfbau oder Randzonen für die Nebenräume	rechteckig, Kranführung, Gleiseinführung, Seitenschiff oder Anbau für Nebenräume
Querschnittsform in Abhängigkeit von:	Fenstergröße/Raumtiefe Spannweiten/Innenstützen	Belichtungsflächen, Oberlichtbändern, Einzeloberlichtern, Laufkatzen, Spannweiten/Stützenraster, Dachgefälle	Spannweite, Kran, Kranhakenhöhe, Belichtungsflächen, Seitenverglasung, Dachoberfläche, Entlüftung, Dachgefälle
Keller	normal	möglich	sehr selten
Versorgungsanschlüsse	von Fußboden oder Decke, Steigleitungen in Festpunkt	von Bodenkanälen oder Decke	von Umfassungswänden und Bodenkanälen
Betriebskosten	gute Wärmehaltung	große Abkühlung durch Dach	große Abkühlung durch Wände und Dach
Raumhöhen	3,50 m bis 4,00 m	4,50 m bis 5,50 m	über 5,00 m
Krannutzlast	bis 11 t	bis 3 t	bis 100 t
senkrechter Transport	Aufzug, Hebebühne	Kran, Galgen	Kran
waagrechter Transport	Stapler	Stapler, Band, Kran	Kran
Flexibilität der Nutzung	eingeschränkt	voll gewährleistet	gut möglich
Lastabgabe	auf Geschossdecken, schwere und schwingungsempfindliche Balken auf Kellerdecke	auf Baugrund oder steife Kelledecke, schwingungsempfindliche Balken auf Baugrund	auf Baugrund, selten Unterkellerung
Typisches	beschränkter Grundriss, viele Arbeitsplätze, Treppen und Aufzüge	zusammenhängende, ebenerdige Fläche	große Breiten- und Höhenabmessungen, Krananlagen, wenig Arbeitsplätze
Belastungen	leicht bis mittel	leicht bis schwer	schwer bis sehr schwer
Nutzflächenbedarf	klein bis mittel	groß	mittel bis groß
Baulandbedarf	gering	groß	mittel
Belichtungsbedarf	normal bis hoch	hoch	gering bis normal
Belichtungsflächen	seitliche Fenster	Oberlichtbänder, Oberlichtkuppeln	seitliche Fenster, Dachoberfläche
Heizung/Lüftung	örtliche Heizkörper, Fensterlüftung	Luftheizung oder Klimatisierung	Luftheizung, Dachentlüftung
Gebäudeform	längsorientiert	richtungslos	längsorientiert

2.3 HALLENBAU

Hallen sind typische Industriebauten, die in fast jedem Gewerbegebiet zahlreich zu finden sind. Ihre Qualität wird durch verschiedenste Faktoren, wie z. B. Nutzungsanforderung, Flexibilität oder Gestalt, beeinflusst beziehungsweise bestimmt. Eine wesentliche Rolle bei der Planung von Hallenbauten spielt das Tragwerk. Dies sollte vor allem wirtschaftlich gestaltet werden und mit zunehmender Spannweite wird der Anspruch durch eine optimierte Planung, Materialeinsatz, Herstellungskosten und Montageaufwand minimiert. In Zeiten der Klimadiskussion spielt auch im Hallenbau das Thema Nachhaltigkeit eine wichtige Rolle. Vermehrt werden Tragwerke so konzipiert, dass ein möglichst geringer ökologischer Fußabdruck hinterlassen wird.³⁹

Hallen können in den unterschiedlichen Bauweisen mit Holz, Stahl und Stahlbeton oder auch als Mischbauweise in Kombination mehrerer Materialien ausgeführt werden. Sie dienen dem Zweck möglichst große stützenfreie Räume zu schaffen, welche effizient und leicht instand zu halten sind und anpassungsfähig auf ändernde Ansprüche reagieren (wandlungsfähig). Hallen können als freistehende Baukörper oder auch in Kombination mit angrenzenden Bürobereichen, Nebenräumen oder Vordächern konzipiert werden.⁴⁰

Hallenbauten ermöglichen durch ihre großflächigen flexiblen Räume Platz für die unterschiedlichsten Nutzungen. Je nach Funktion der Halle, ob Lager- oder Produktionshalle, kann der Einsatz von Krananlagen, schweren Maschinen sowie zusätzlichen Büroflächen den Entwurf beeinflussen. In der Regel bestehen Hallenbauten aus einem rechteckigen Grundriss, der in Längsrichtung erweiterbar ist. Der Tragwerksentwurf muss so gewählt werden, um den funktionellen Anforderungen, einschließlich Belichtung, zu entsprechen. In weiterer Folge werden mögliche Hallensysteme vorgestellt, welche eine mögliche architektonische sowie konstruktive Lösung bieten. Bei diesen Hallenformen handelt es sich um einfache Standardhallen, welche für Produktionshallen Verwendung finden.⁴¹

39. Vgl. [Haller] S.01
40. Vgl. [Haller] S.01
41. Vgl. [Haller] S.02

Hallentragwerke werden auch für Messehallen, Bahnhöfe, Flughäfen sowie Sportstadien entwickelt. Jedoch sind diese meist projektabhängig und haben fast immer eine besondere Tragstruktur, welche extra dafür entwickelt wurde.

Nach der Vorstellung der Hallensysteme werden weitere entwurfsbestimmende Aspekte für den Hallenbau näher erläutert. Neben den Tragwerksstrukturen und der Gebäudehülle ist das Thema des Brandschutzes im Hallenbau ein wichtiger Faktor.

2.3.1 HALLENSYSTEME

Die einschiffige Halle (siehe Abb. 10) stellt den Standardfall dar und wird aufgrund der Dachentwässerung in der Regel mit Satteldachbinder, mit einem Dachgefälle von 2 bis 5 Prozent, verwendet. Günstige Spannweiten ergeben sich im Bereich von 15 m bis 30 m. Über 30 m steigen die Transportkosten der Binder stark an.⁴²

Die zweischiffige Halle (siehe Abb. 11) kommt erst bei größeren Grundflächen zum Einsatz. Hier kann das Dachgefälle mittels zwei Parallelbinder, durch eine Unterstützung in der Hallenmitte (Mittelstütze), erzeugt werden. Um größere Stützenabstände zu ermöglichen, z. B. nur jede zweite Achse, können anstelle einer Mittelunterstützung die Binder auf Abfangträger aufgelagert werden. Dieses Prinzip wird bei der Konstruktion von mehrschiffigen Hallen verwendet.⁴³

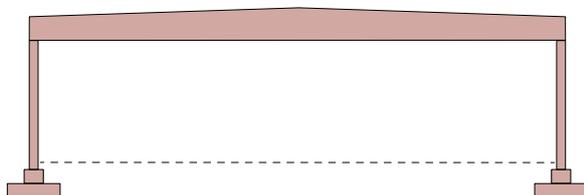


Abb. 10. Einschiffige Halle mit Satteldachbinder

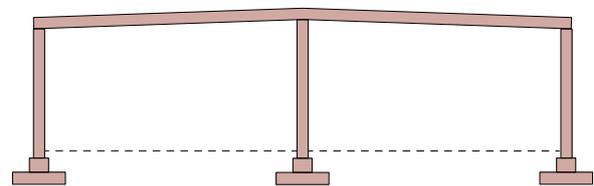


Abb. 11. Zweischiffige Halle mit Parallelbinder

Eine Halle mit Zwischendecke, siehe Abb. 12 wird zum Beispiel beim Einbau von Büroflächen verwendet. Hier liegt die Zwischendecke meist auf Unterzügen auf. Bei der Wahl des Deckensystems müssen die einwirkenden Belastungen berücksichtigt werden.⁴⁴

Eine Halle mit steilem Dach ist zum einen für die Dachentwässerung vorteilhaft und zum anderen ein gestalterisches Element im Hallenbau. Geknickte Dachbinder sind jedoch aufwendiger herzustellen als Dachbinder mit gerader Unterkante. Für den Transport ist darauf zu achten, dass der geknickte Binder die Höhe von 3,5 m nicht überschreitet.⁴⁵

42. Vgl. [Hierlein] S.30

43. Vgl. [Hierlein] S.30

44. Vgl. [Hierlein] S.30

45. Vgl. [Hierlein] S.30

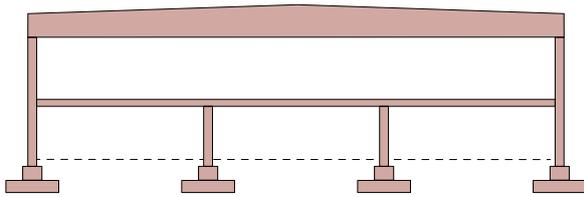


Abb: 12. Halle mit Zwischendecke

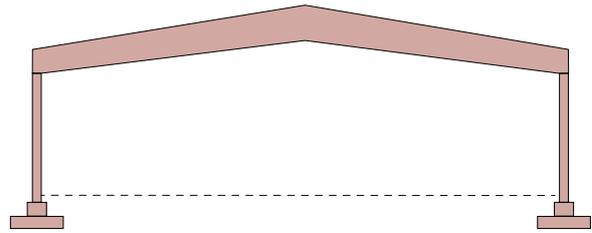


Abb: 13. Halle mit steilem Dach

Eine Halle mit Kranbahn (siehe Abb. 14) wird meist in Produktionshallen verwendet, um schwere Lasten transportieren zu können. Der Kran bewegt sich auf Kranbahnträgern, welche seitlich auf den Stützen aufgelagert sind. Die Stützen müssen deshalb so dimensioniert werden, um die vertikalen und horizontalen Lasten aus dem Kranbetrieb aufnehmen zu können. Aufgrund der außermittigen Stützenbeanspruchung werden die Fundamente auch exzentrisch angeordnet.⁴⁶

Hohe Hallen (siehe Abb. 15) ergeben sich ab einer Bauhöhe von über 10 m. Dabei ist mit relativ großen Verformungen am Stützenkopf zu rechnen. Hohe Hallen werden zumeist als Lagerhallen verwendet. Bei Hochregallagerhallen werden Bauhöhen von bis zu 20 m erreicht.⁴⁷

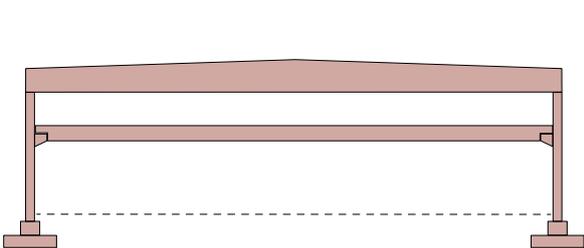
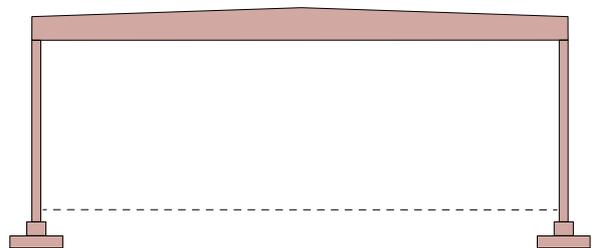


Abb: 14. Halle mit Kranbahn

Abb: 15. Hohe Halle ($h > 10$ m)

46. Vgl. [Hierlein] S.30

47. Vgl. [Hierlein] S.30

2.3.2 TRAGSTRUKTUREN

Grundsätzlich wird im Hallenbau zwischen gerichteten und ungerichteten sowie zentrierten Strukturformen unterschieden.⁴⁸

Tragstrukturen, deren Primärtragelemente aus Stützen und Bindern, aus Rahmen oder aus Bögen und deren Sekundärtragelemente aus Pfetten, Trapezblechen oder Platten bestehen, sind gerichtete Tragstrukturen. Deren Tragelemente werden in Längs- und Querrichtung unterschiedlich beansprucht. Die Haupttragelemente (Stützen) stehen in der Regel senkrecht zur Gebäudelängsachse.⁴⁹

Zu den räumlichen Tragwerken gehören Trägerroste und Raumfachwerke. Sie werden als ungerichtete Tragstrukturen bezeichnet. Bei räumlichen Tragwerken erfolgt die Lastabtragung in mindestens zwei Richtungen.⁵⁰

Zu den zentrierten Tragstrukturen gehören Rundhallen, deren Tragelemente werden wie Speichen auf ein Zentrum hin ausgerichtet.⁵¹

Zuletzt gibt es noch chaotische Tragstrukturen. Sie folgen keiner geometrischen Ordnung und sind nach dem „Mikadoprinzip“, quasi rein zufällig, angeordnet und denkbar ungeeignet für die Konstruktion einer Halle.⁵²

Bereits bei der Planung einer Halle ist es wichtig an spätere Erweiterungsmöglichkeiten zu denken. So müssen bei allen gerichteten Tragstrukturen die Giebelwandkonstruktionen bedacht werden. Sollte eine Erweiterung der Halle in Längsrichtung nicht möglich sein oder benötigt werden, kann auf einen Endbinder beziehungsweise Endrahmen verzichtet werden. Somit können die Lasten durch tragende Giebelwandstiele mit einem Randträger abgetragen werden, was eine kostengünstigere Lösung wäre. Ist dies nicht der Fall und eine Erweiterung in Hallenlängsrichtung zu erwarten, ist auch im Giebelwandbereich ein Vollbinder beziehungsweise ein Vollrahmen, an dem die Giebelwandstiele befestigt werden, auszuführen. Dadurch können bei einer

48. Vgl. IGrKol S.08

49. Vgl. IGrKol S.08

50. Vgl. IGrKol S.08

51. Vgl. IGrKol S.08

52. Vgl. IGrKol S.08

späteren Erweiterung schon vor Baubeginn unnötige Kosten vermieden werden.⁵³

Im Nachfolgenden werden die unterschiedlichen Tragwerksformen sowie deren Strukturen genauer vorgestellt:

a.) Binder- und Stütztragwerk

Das System aus Stützen, Binder und Pfetten (siehe Abb. 16) sowie zusätzlichen aussteifenden Verbänden ermöglicht eine Vielzahl an Variationsmöglichkeiten für große und kleine Spannweiten bei einer Hallenkonstruktion. Zudem ist das System an unterschiedliche Funktionen anpassbar.⁵⁴

Jedoch stellt das Tragsystem in Hinblick auf den Momentenverlauf den ungünstigsten Fall dar. Dies kann durch entsprechenden Materialeinsatz kompensiert werden. Pfetten werden meist als Durchlaufträger ausgeführt, da diese ein geringeres Feldmoment sowie eine günstigere Verteilung der Kräfte aufweisen. Sie liegen auf den Bindern auf. Die auftretenden Horizontalkräfte aus der Gebäudehülle (Wind) werden in die Riegel der Tragkonstruktionen eingeleitet. Horizontalverbände in der Dachebene und Vertikalverbände in der Wandebene dienen ebenfalls zur Ableitung der auftretenden Kräfte. Es ist nicht nötig, jedes Rasterfeld mit einem aussteifenden Verband zu versehen. Meist genügt jedoch für kleinere Hallen in Hallenmitte ein Verbandsfeld zur Ableitung der Längskräfte. Bei größeren Hallen sind dafür mindestens zwei Verbandsfelder nötig.⁵⁵

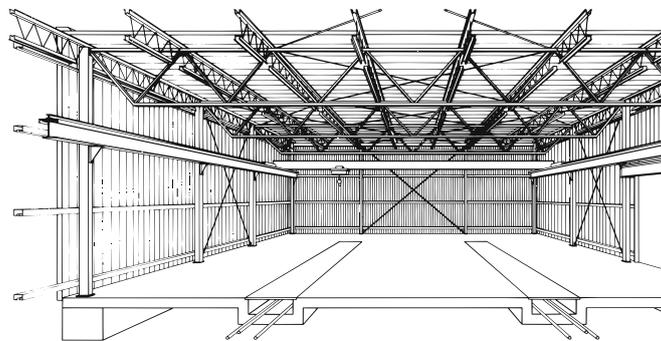


Abb. 16. Beispiel für Binder und Stützen

53. Vgl. [GrKo] S.08

54. Vgl. [GrKo] S.12

55. Vgl. [GrKo] S.12

b.) Rahmentragwerk

Im Unterschied zu Tragstrukturen aus Stützen und Bindern, welche gelenkig miteinander verbunden sind, werden Rahmentragwerke (siehe Abb. 17) durch biegesteife Verbindungen zwischen Rahmenstiel und Rahmenriegel versehen. Zugleich ist die Biegebeanspruchung in Rahmentragwerken auf Stiel und Riegel verteilt, anders als bei Stützen- und Bindertragwerken, wo nur der Binder biegebeansprucht wird. Dies führt zu einem vergleichsweise geringeren Materialeinsatz. Im Stahlhallenbau ist diese Art der Tragwerksausbildung die meist verbreitete Form.⁵⁶

Rahmentragwerke benötigen in ihrer Ebene keine zusätzliche Stabilisierung, dadurch können beispielsweise große Tore in der Giebelwand integriert werden. Aussteifende Maßnahmen sind nur in Hallenlängsrichtung erforderlich. Hier sind in mindestens einem Feld der Halle sowohl Horizontal- als auch Vertikalverbände vorzusehen.⁵⁷

Unabhängig von der Rahmenform, ob Zweigelenrahmen, Dreigelenrahmen oder eingespannte Rahmen, können die Tragwerke als einschiffige, zweischiffige und mehrschiffige Rahmentragwerke ausgeführt werden. Ebenfalls ist es möglich den Riegel oder auch Stiel und Riegel in eine Fachwerkstruktur aufzulösen. Dies ist jedoch erst bei extremen Spannweiten eine wirtschaftliche Lösung.⁵⁸

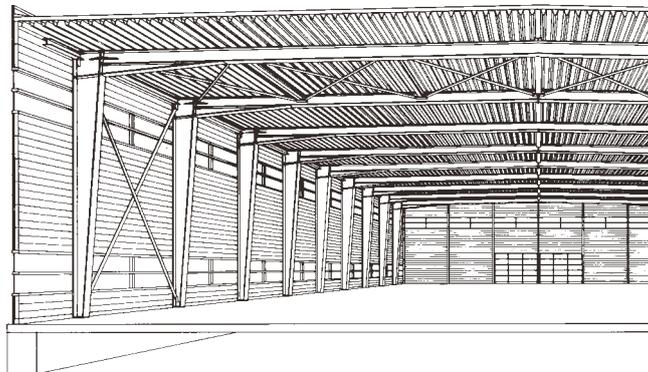


Abb: 17. Beispiel Rahmentragwerk

56. Vgl. IGrKoi S.16
57. Vgl. IGrKoi S.16
58. Vgl. IGrKoi S.16

c.) Bogentragwerk

Bogentragwerke (siehe Abb. 18) stellen aufgrund der Relation von Spannweite zu Materialverbrauch ein besonders leistungsfähiges Tragsystem dar. Dadurch können sogar bei extremer Spannweite wirtschaftliche Lösungen gefunden werden. Die Trageigenschaft eines Bogentragwerks ist die momentenfreie Ableitung der Vertikallasten. Im Idealfall erhält der Bogen dadurch die Form einer Parabel. Bei ungleichmäßiger Belastung, wie etwa durch Windlasten oder einseitige Schneelasten, treten zusätzliche Biegebeanspruchungen am Tragwerk auf.⁵⁹

Bögen können gelenkig gelagert oder am Auflager eingespannt werden. Bogentragwerke benötigen keine zusätzliche Querstabilisierung. Lasten in Hallenlängsrichtung sind von Querverbänden, die zwischen den Bögen angeordnet werden, abzuleiten.⁶⁰

Bogentragwerke können unterschiedliche Formen annehmen, so kann ein Bogen neben der Kreisform auch die Form einer Parabel, die Form einer Ellipse oder auch eine frei gekrümmte Form annehmen. Grundsätzlich wird zwischen vollwandigen und als Fachwerk aufgelösten Tragelementen unterschieden. Bei Tragwerken aus Vollwandprofilen wird die Grenze der Wirtschaftlichkeit bei etwa 100 m Spannweite erreicht.⁶¹

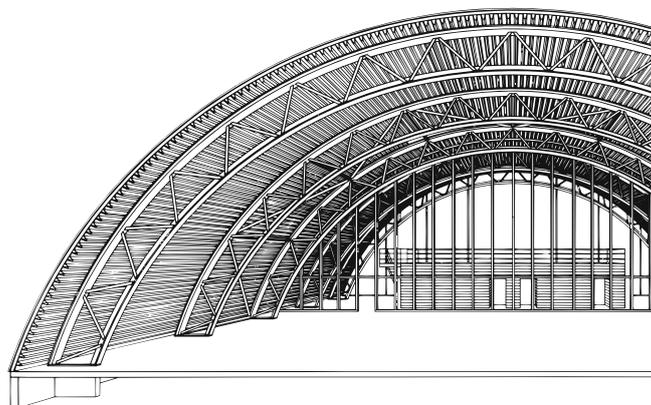


Abb: 18. Beispiel Bogentragwerk

59. Vgl. IGrKol S.20

60. Vgl. IGrKol S.20

61. Vgl. IGrKol S.20

d.) Räumliche Tragwerke

Der Begriff „Räumliche Tragwerke“ umfasst eine Vielzahl von unterschiedlichen Strukturformen. Ein wesentliches Merkmal der Raumtragwerke (siehe Abb. 19) ist die gleichmäßige Ableitung der Kräfte in mindestens zwei Richtungen. Raumtragwerke können in ebene und gekrümmte Formen unterteilt werden. Ebene Raumtragwerke sind in der Regel biegebeansprucht, während gekrümmte Tragwerke als biegebeanspruchte, druckbeanspruchte oder zugbeanspruchte Tragstrukturen ausgebildet werden können.⁶²

Räumliche Tragwerke sind nur dann optimal wirksam, wenn auch alle Tragrichtungen gleichmäßig beansprucht werden. Die ideale Lastabtragung eines zweiläufigen Trägerrosts erfolgt über einen quadratischen Stützenraster.⁶³

Was den benötigten Materialeinsatz pro Quadratmeter überdeckter Fläche betrifft, sind die Raumtragwerke die effizientesten Tragstrukturen, was jedoch nicht gleichzeitig heißt, dass dies wirtschaftlich ist. Durch die Mehrläufigkeit der Struktur ist eine aufwendigere, arbeitsintensivere Ausbildung der Knotenpunkte notwendig. Zudem ist ein erhöhter Aufwand für den Anschluss der Gebäudehülle an das Tragwerk nötig.⁶⁴

Für alle räumlichen Tragwerke gilt, je größer die Spannweite desto attraktiver wird die Tragwerksform.⁶⁵

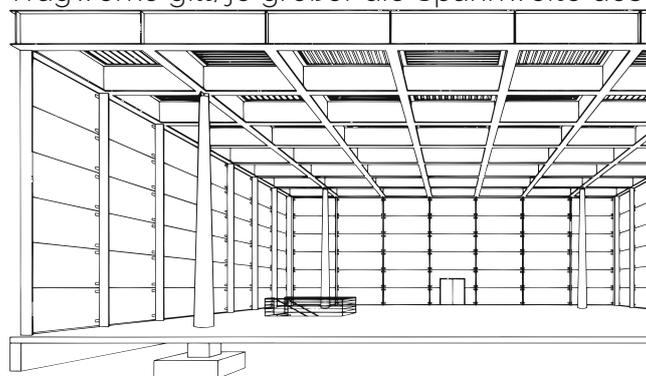


Abb: 19. Beispiel räumliches Tragwerk

62. Vgl. IGrKol S.24

63. Vgl. IGrKol S.24

64. Vgl. IGrKol S.25

65. Vgl. IGrKol S.25

e.) Aussteifung

Grundsätzlich müssen Hallenbauwerke in Längs- sowie in Querrichtung ausgesteift werden. Die dafür erforderlichen Maßnahmen sind von der jeweiligen Strukturform des Tragwerks abhängig. Rahmen- und Bogentragwerke erfordern zusätzliche Aussteifungsmaßnahmen in Längsrichtung (siehe Abb. 20 & Abb. 21), da sie in Querrichtung stabil sind. Bei Stützen und Bindertragwerken sowie räumlichen Tragwerken müssen beide Richtungen also Längs- und Querrichtung, ausgesteift werden.⁶⁶

Als Aussteifungselemente dienen schubsteife Scheiben, steife Kerne und die Einspannung von Stützen, Rahmenstielen oder Bögen. Schubsteife Scheiben können im Dach- und Wandbereich durch Massivbauteile oder durch aussteifende Verbände hergestellt werden. Ebenfalls kann eine aussteifende Wirkung mittels Dacheindeckung (Scheibenwirkung) erzielt werden.⁶⁷

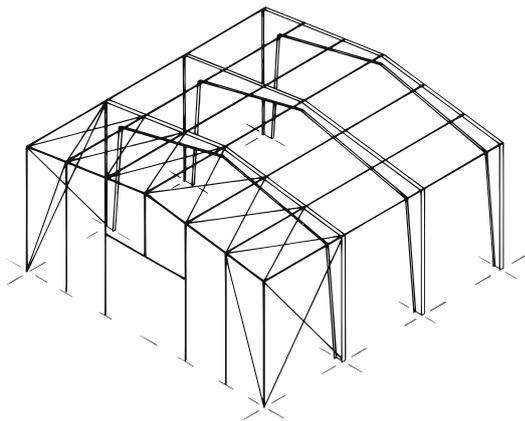


Abb. 20. Längsaussteifung einer Rahmenhalle mit Kreuzverbänden und tragender Giebelwand im Endfeld

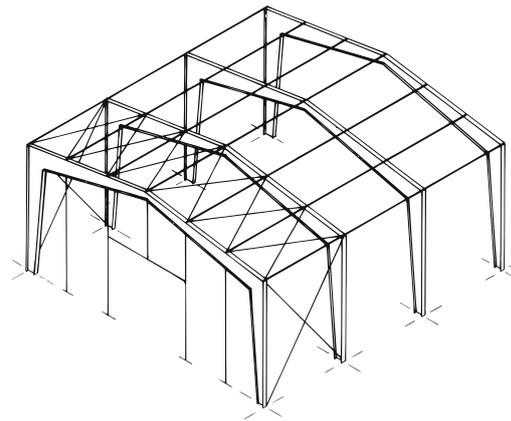


Abb. 21. Längsaussteifung einer Rahmenhalle mit Kreuzverbänden und Endrahmen für Erweiterung

66. Vgl. IGrKo S.09

67. Vgl. IGrKo S.09

f.) Pfetten

Pfetten werden eingesetzt, um die Dachlasten aus der Dachdeckung zu den Primärtragelementen (Binder, Rahmenriegel oder Bogen) zu leiten (siehe Abb. 22). Zudem können Pfetten als Druckriegel innerhalb aussteifender Verbände dienen. Pfetten werden erst ab einem Achsabstand von über 7 Meter sinnvoll, da die Trapezbleche ansonsten direkt auf die Binder gelegt werden können und dies meist wirtschaftlicher ist. Werden die Achsabstände jedoch größer, erfordert dies den Einsatz von Pfetten.⁶⁸

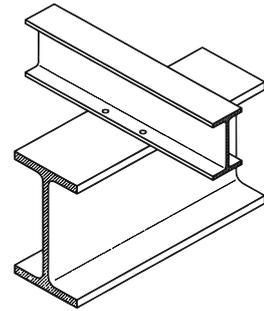


Abb: 22. Auflager Durchlaufpfette

g.) Krananlage

Grundsätzlich unterscheidet man bei Krananlagen, abhängig von der zu bewegenden Last, einfache Hängebahnen mit Elektroseilzügen und Brückenkrane. In der Regel werden sie vom Boden aus bedient (Steuerung). Je nach Krananlage werden die Lasten entweder in die Dachkonstruktion eingeleitet (Hängebahn) oder wenn größere Lasten auftreten, direkt in die Stützen (Brückenkran).⁶⁹

68. Vgl. IGrKoi S.10
69. Vgl. IGrKoi S.10

h.) Gründung

Das Fundament hat die Aufgabe, alle an einem Bauwerk auftretenden Belastungen in den Baugrund abzuleiten. Die Fundamentkörper werden aus Stahlbeton hergestellt. Die Dimensionierung der Fundamente hängt von mehreren Faktoren, wie den auftretende Lasten (z.B. Eigengewicht, Wind-, Schnee-, Kranlasten), von der Strukturform des Tragwerks sowie von der Tragfähigkeit des Baugrundes ab. Gelenkige Stützenfüße (siehe Abb. 23) tragen vertikale und horizontale Kräfte ab, während eingespannte Stützen (siehe Abb. 24) zusätzliche Momente in die Fundamente einleiten. Die Möglichkeit der Vorfertigung im Werk für die Einzelfundamente sollte immer überprüft werden.⁷⁰

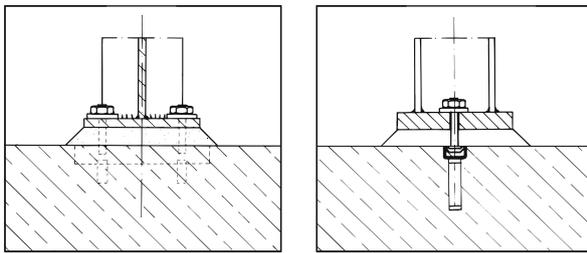


Abb: 23. Gelenkiger Stützenfuß

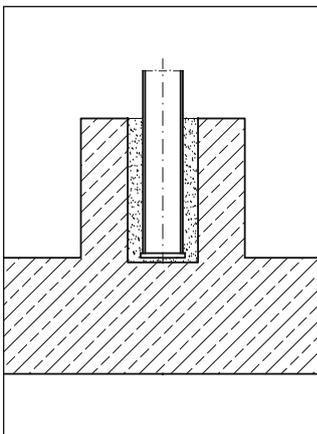


Abb: 24. Eingespannter Stützenfuß

70. Vgl. [GrKo] S.10

2.3.3 GEBÄUDEHÜLLE

Die Gebäudehülle legt die Grenze zwischen Innen- und Außenraum fest und bildet eine Barriere, die den Innenraum vor Wind, Regen und Schnee schützt, während sie den Einfall von Tageslicht, die Zirkulation der Raumluft sowie die Zugänglichkeit ermöglicht.⁷¹

a.) Wärmeschutz

Durch die geringe Fläche der Gebäudehülle die Hallen im Verhältnis zu ihrem Volumen aufweisen, ergeben sich vergleichsweise geringe Anforderungen bezüglich der Wärmedämmfähigkeit der Hüllkonstruktion. In der Winterzeit, wo das tägliche beheizen der Halle ein Muss ist, besteht die wichtigste Aufgabe der Gebäudehülle darin, den Wärmeverlust von innen nach außen so gering wie möglich zu halten. Dies erfolgt durch eine wirksame Dämmschicht sowie eine Dichtigkeit. Im Sommer hingegen erhält die Gebäudehülle die Funktion, die einstrahlende solare Energie vom Innenraum der Halle fernzuhalten. Dies ist durch einen sommerlichen Wärmeschutz, welcher abhängig von der Gesamtfläche und Orientierung der Fenster sowie von der Wirksamkeit temporärer Sonnenschutzmaßnahmen ist, möglich.⁷²

b.) Feuchteschutz

Um eine uneingeschränkte Funktionstüchtigkeit aller Außenbauteile gewährleisten zu können, ist ein entsprechender Feuchteschutz notwendig. Die Gebäudehülle, an der ein Temperaturgefälle entsteht, bildet die Grenzschicht zwischen Außen- und Innenraum. Außerdem kann warme Luft mehr Feuchtigkeit aufnehmen als kalte Luft und somit entsteht ein Gefälle im Feuchtegehalt der Luft. Dadurch kann bei einer Dampfdiffusion durch die Außenwand Kondensat entstehen.⁷³

71. Vgl. [GrKo] S.28
72. Vgl. [GrKo] S.28
73. Vgl. [GrKo] S.28

Infolge kann es bei mehrschaligen Wandkonstruktionen zu einer Durchfeuchtung der Wärmedämmung und damit zu einer Minderung der Dämmeigenschaft führen. Durch den Einbau einer Dampfsperre an der Innenseite der Außenwandkonstruktion kann eine Tauwasserbildung in der Wand verhindert werden. Bei hinterlüfteten Fassaden genügt eine Dampfbremse auf der Innenseite.⁷⁴

PUR-Sandwichelemente unterbinden die Dampfdiffusion durch eine beidseitig dampfdichte Außenwandkonstruktion. Dennoch muss in dampfdiffusionsdichten Räumen die Luftfeuchtigkeit durch raumluftechnische Maßnahmen kontrolliert und reguliert werden.⁷⁵

c.) Schallschutz

In Österreich, aber auch in allen anderen europäischen Ländern, bestehen Mindestanforderungen an den Schallschutz von Gebäuden. Im Industrie- und Gewerbebau sind zudem Grenzwerte für die Schallemission zu beachten. Die Maßnahmen des baulichen Schallschutzes liegen drei physikalischen Grundprinzipien zugrunde:

- Je höher die Masse eines Bauteils, desto geringer ist die Schallübertragung.
- In mehrschaligen Konstruktionen bewirkt das Prinzip der Trennung eine Unterbrechung der Schallübertragungswege.
- Durch Schallabsorption wird die Schallenergie in Wärme oder mechanische Energie umgewandelt.⁷⁶

So zum Beispiel kann die Körperschallübertragung einer Maschine durch ein schweres Fundament (Masse) oder durch die vollständige Ablösung des Fundamentes vom Bauwerk (Trennung) oder am wirksamsten durch eine weichfedernde Lagerung (Schallabsorption) eingedämmt werden. Zur Unterdrückung eines sehr hohen Geräuschpegels sind schallschluckende Bekleidungen wie gelochte Trapezbleche wirkungsvoll.⁷⁷

74. Vgl. [GrKo] S.28

75. Vgl. [GrKo] S.28

76. Vgl. [GrKo] S.29

77. Vgl. [GrKo] S.29

d.) Systeme für Wand und Dach

Für die Gebäudehülle werden in der Regel industriell vorgefertigte Bauteile verwendet. Hierbei handelt es sich zum Großteil um Stahlprofile, die sowohl für das Dach als auch für die Wand geeignet sind. Unterschieden wird zwischen Stahltrapezprofilen, Stahlkassettenprofilen, Stahlsonderprofilen und Sandwichelementen.⁷⁸

Als Dachsysteme kommen vorwiegend einschalige Aufbauten (siehe Abb. 26) zum Einsatz. Weiters gibt es noch zweischalige Aufbauten sowie Dachsysteme mittels Sandwichelementen. Wandsysteme kommen ähnlich wie Dachsysteme als zweischaliger Wandaufbau (siehe Abb. 25) oder als Sandwichelemente zum Einsatz.⁷⁹

Sandwichelemente bestehen meist aus einem Polyurethanschaumkern, der eine schubsteife Verbindung zwischen Innen- und Außenschale herstellt, sodass Wärmedämmfunktion und Tragfunktion in einem Bauteil integriert sind. Sie können daher als tragende Elemente im Dach- und Wandbereich verwendet werden.⁸⁰

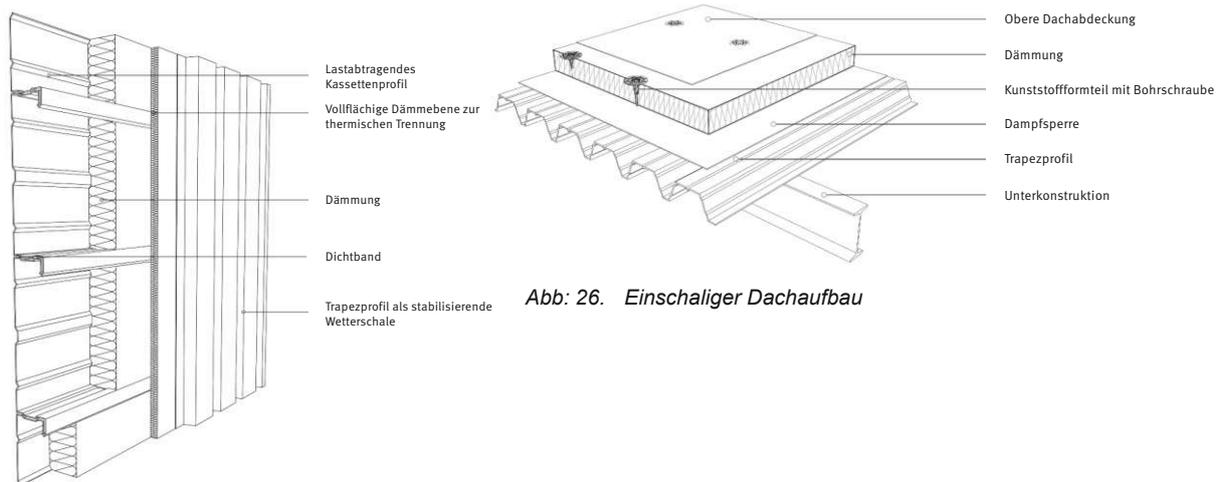


Abb: 25. Zweischaliger Wandaufbau

Abb: 26. Einschaliger Dachaufbau

78. Vgl. IGrKol S.29

79. Vgl. IGrKol S.29

80. Vgl. IGrKol S.29

e.) Belichtung

Die natürliche Belichtung erfolgt bei Hallenbauten über Lichtbänder in den Wandflächen oder durch Oberlichter in den Dachflächen. Die Abb. 27 zeigt Möglichkeiten zur natürlichen Belichtung einer Halle. Die schematischen Darstellungen zeigen, wie die Beleuchtungsstärke bei seitlich einfallendem Tageslicht mit zunehmendem Abstand von der Außenwand abnimmt und eine gleichmäßige Ausleuchtung der Halle nur durch Oberlichter im Dach sichergestellt werden kann. Bei einschiffigen Hallen mit einer Spannweite von bis zu 20 m sind in der Regel beidseitig angeordnete Fensterbänder ausreichend. Bei Hallen mit größerer Spannweite sind Oberlichter im Dach zwingend notwendig.⁸¹

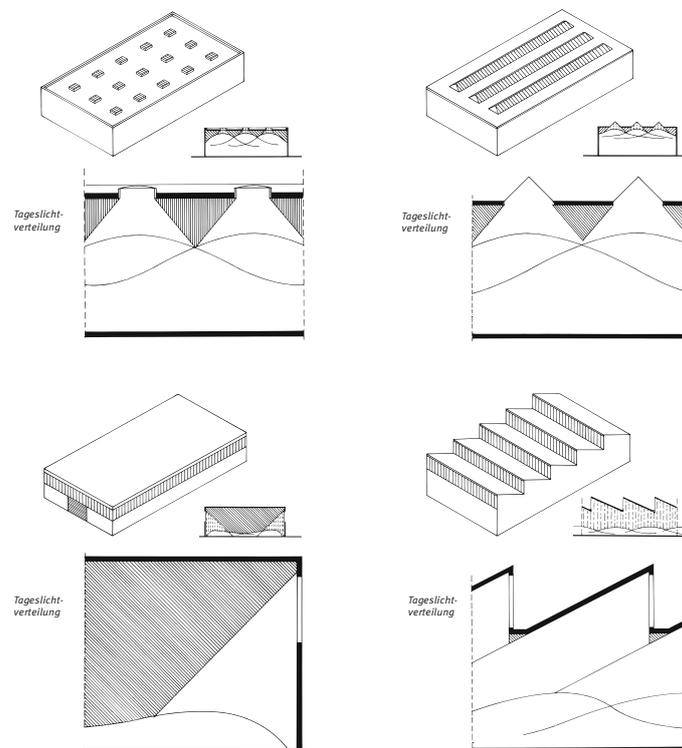


Abb. 27. Belichtungsvarianten

81. Vgl. [GrKo] S.30

f.) Belüftung

Bei der Belüftung von Industriehallen wird grundsätzlich zwischen einer natürlichen sowie mechanischen Belüftung unterschieden. In der Regel reicht eine natürliche Belüftung aus, um den erforderlichen Luftaustausch für Hallen zu gewährleisten. Abhängig ist dies vor allem von der Hallenbreite, da mit zunehmender Hallengröße auch die Möglichkeiten der Lüfterneuerung und der Wärmeabführung aus der Halle an gewisse Grenzen stoßen. Eine gut durchdachte Anordnung der Fenster- und Dachentlüftungsöffnungen ermöglicht es, auch in den großen Hallen für den nötigen Luftwechsel zu sorgen. Ausschlaggebende Faktoren wie Windrichtung, Höhe des Gebäudes, Art der umliegenden Bebauung sowie Luftzirkulation innerhalb des Gebäudes haben wesentlichen Einfluss darauf, ob eine natürliche Be- und Entlüftung wirksam ist.⁸²

Eine mechanische Lüftungsanlage ist dann nötig, wenn die erforderliche Luftwechselrate für die Atemluft durch die natürliche Lüftung nicht mehr möglich ist. Der Einbau einer raumluftechnischen Anlage (RLT) hat folgende Vorteile:

- Keine Lärm-, Schadstoff- und Geruchsbelästigung von außen
- Nachtabkühlung im Sommer besser nutzbar
- Einbau Wärmerückgewinnungsanlage möglich (Winter)
- Mögliche Wärme-, Geruchs- und Schadstoffentwicklungen durch Produktionsprozesse können über Filteranlagen abgeführt werden⁸³

Sollte eine raumluftechnische Anlage nötig sein, ist es wichtig, bereits zu Beginn des Entwurfsprozesses mit den Fachplanern eng zusammenzuarbeiten. Oftmals ist dann der Planungsaufwand für die Haustechnik größer als für das Tragwerk, da die Einbindung der Haustechnikelemente wesentlichen Einfluss auf die strukturelle Ordnung des Gebäudes hat.⁸⁴

82. Vgl. [GrKoi] S.32

83. Vgl. [GrKoi] S.31

84. Vgl. [GrKoi] S.31

2.3.4 BRANDSCHUTZ

Unter Brandschutz versteht man alle Maßnahmen, die der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorbeugen und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten ermöglichen. Als wichtigste Komponente gilt dabei der Personenschutz. Dieser umfasst bestimmte Maßnahmen:⁸⁵

Rauch- und Wärmeabzug

Im Brandfall fordert die Raumentwicklung und nicht das Feuer selbst die meisten Todesopfer und darf deshalb nicht unterschätzt werden. Weiters verursacht dies oft erhebliche Sach- und Betriebsschäden. Deshalb muss für den Personenschutz eine rasche Abführung der Rauchgase gewährleistet sein. Als Maßnahmen sind im Dach oder Wandbereich der Halle Rauchabzugsvorrichtungen vorzusehen, welche sich im Brandfall selbständig öffnen. Diese werden je nach Größe der Hallenfläche ermittelt und müssen über die gesamte Hallenfläche verteilt sein.⁸⁶

Fluchtwege und Rettungswege

Fluchtwege dienen im Brandfall dem sicheren Verlassen der Halle oder Austritt in einen gesicherten Bereich. Dies muss von jedem Punkt in der Halle aus gewährleistet sein und richtet sich nach behördlichen Vorschriften (Anzahl, Anordnung, Form und Bemessung). Laut Bauordnungsrecht sind Fluchtwege zugleich Rettungswege, sofern diese selbstständig begangen werden können.⁸⁷

Zugänglichkeit

Zum Personenschutz gehören auch diejenigen Maßnahmen, die das Eindringen von Rettungspersonal in das Gebäude betreffen. Dazu gehören neben Zufahrtswegen für Rettung und Feuerwehr auch die Fluchtwege als Einstiege sowie zusätzliche Öffnungen, die den Einstieg in das Gebäude ermöglichen.⁸⁸

85. Vgl. IGrKoi S.32

86. Vgl. IGrKoi S.32

87. Vgl. IGrKoi S.32

88. Vgl. IGrKoi S.32

Standsicherheit

Die tragende sowie aussteifende Konstruktion des Gebäudes muss auch während eines Brandes für die Zeitdauer der Lösch- und Rettungsmaßnahmen ihre Standsicherheit behalten und die Rettungskräfte schützen um das Verletzungsrisiko so gering wie möglich zu halten. Zu ihnen zählen im Hallenbau Binder, Fachwerke, Wände und Stützen.⁸⁹

Brandabschnitte und Feuerlöscheinrichtungen

Brandabschnitte dienen zur Eingrenzung des durch einen Brand entstehenden Schadens. Die Brandabschnittsgröße ist behördlich geregelt und kann durch Sondermaßnahmen, wie durch den Einbau einer Sprinkleranlage, vergrößert werden. Brandmeldeanlagen dienen dazu, einen möglichst raschen und zugleich effizienten Feuerwehreinsatz zu gewährleisten. Hydranten und Sickerbecken bilden die Voraussetzung einer effektiven Brandbekämpfung. Zu den automatischen Feuerlöscheinrichtungen zählen unter anderem Sprinkleranlagen.⁹⁰

^{89.} Vgl. IGrKoi S.32
^{90.} Vgl. IGrKoi S.32

2.4 RICHTLINIEN UND NORMEN

Der Industrie- und Gewerbebau ist durch zahlreiche Baurichtlinien und Konstruktionsnormen geprägt, welche mehr oder weniger Einfluss auf den Planungsprozess nehmen. Für Planer und Planerinnen ist es deshalb umso wichtiger, sich schon zu Beginn des Prozesses damit auseinander zu setzen. In Österreich wie auch in Deutschland hat jedes Bundesland seine eigenen Bauordnungen, da das Bauwesen der Landesgesetzgebung unterliegt. Bei den Konstruktionsnormen hingegen handelt es sich um ein europäisches Regelwerk den EUROCODES. Diese wurden zur Vereinheitlichung der unterschiedlichen nationalen Baunormen eingeführt.

2.4.1 BAURICHTLINIEN

Die OIB-Richtlinien, siehe Tab. 5, fassen die bautechnischen Vorschriften der einzelnen Bundesländer in Österreich zusammen und werden vom Österreichischen Institut für Bautechnik veröffentlicht. Die Bundesländer haben die Möglichkeit die Richtlinien in deren Bauordnungen als verbindlich zu erklären, was bereits in acht Bundesländern der Fall ist, wobei Abweichungen auftreten können, wenn die Anforderungen ein gleichwertiges Niveau erfüllen. Dies ermöglicht eine gewisse Flexibilität für innovative architektonische und technische Lösungen.⁹¹

Die Gliederung der OIB-Richtlinien erfolgt entsprechend der Grundanforderungen für Bauwerke. Einzig für die Grundanforderung „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“ gibt es keine OIB-Richtlinie. Folgende OIB-Richtlinien sind anzuwenden:

⁹²

⁹¹ Vgl. <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien>, abgerufen am 08.05.2022

⁹² Vgl. <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien>, abgerufen am 08.05.2022

Tabelle: 05. OIB-Richtlinien

OIB-Richtlinien	Bezeichnung
<i>OIB.Richtlinie 1</i>	<i>Mechanische Festigkeit und Standsicherheit</i>
<i>OIB.Richtlinie 2</i>	<i>Brandschutz</i>
<i>OIB.Richtlinie 2.1</i>	<i>Brandschutz bei Betriebsbauten</i>
<i>OIB.Richtlinie 2.2</i>	<i>Brandschutz bei Garagen, überdachten Stellplätzen und Parkdecks</i>
<i>OIB.Richtlinie 2.3</i>	<i>Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m</i>
<i>OIB.Richtlinie 3</i>	<i>Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz</i>
<i>OIB.Richtlinie 4</i>	<i>Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit</i>
<i>OIB.Richtlinie 5</i>	<i>Schallschutz</i>
<i>OIB.Richtlinie 6</i>	<i>Energieeinsparung und Wärmeschutz</i>

Da der Fokus dieser Arbeit auf den tragenden Bauteilen liegt, wird auch nur näher auf die OIB- Richtlinien eingegangen welche diese auch maßgeblich beeinflussen. Nähere Informationen zu den einzelnen Richtliniensind auf der Internetseite des österreichischen Institut für Bautechnik einsehbar.

OIB Richtlinie 1 – Tragwerk und Einwirkungen

Bei der Planung von Tragwerken ist eine ausreichende Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit sicherzustellen. Die auftretenden Einwirkungen müssen vom Gebäude aufgenommen und in den Boden abgetragen werden können. Hier wird zwischen ständigen, veränderlichen, seismischen und außergewöhnlichen Einwirkungen unterschieden.⁹³

OIB Richtlinie 2 – Brandschutz

Die Anforderungen des Brandschutzes beziehen sich hauptsächlich auf den tragenden Teil der Konstruktion. Bauteile welche für die Lastabtragung, sowie für die Aussteifung zuständig sind, müssen über deren gesamte Feuerwiderstandsdauer hindurch wirksam sein.⁹⁴

93. Vgl. [oib 1] S.2

94. Vgl. [oib 2] S.2

Folgende brandschutztechnische Anforderungen werden an Bauwerke gestellt:

- Tragfähigkeit des Bauwerkes während eines bestimmten Zeitraumes
- Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb eines Bauwerkes
- Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauwerke
- Rettung der Bewohner des Gebäudes
- Sicherheit der Rettungsmannschaften

Für den Industrie- und Gewerbebau gibt es zusätzlich die OIB Richtlinie 2.1 Brandschutz für Betriebsbauten. Der Begriff der Betriebsbauten umfasst alle Bauwerke oder Teile eines Bauwerkes, die der Produktion bzw. Lagerung von Produkten und Gütern dienen. Unmittelbar zugehörige Verwaltungs- und Sozialräume sowie sonstige, betrieblich notwendige Räume werden miteinbezogen. Unter Betriebsbauten werden insbesondere solche verstanden, in denen eine Fertigung von Produkten und Gütern stattfindet und in denen kein erhöhter Kundenverkehr gegeben ist. Zu Betriebsbauten zählen auch Lager ohne regelmäßigen Kundenverkehr. Als Betriebsbauten können auch Bauhöfe, Autobahnmeistereien und Bauwerke mit ähnlicher Nutzung betrachtet werden. Nicht als Betriebsbauten zu betrachten sind jedenfalls Verkaufsstätten, Gastgewerbebetriebe und Bürogebäude.⁹⁵

Die OIB 2.1. gilt also vorwiegend für jene Bauten, die zur Produktion bzw. Lagerung von Produkten und Gütern dienen. Sie regelt Themen wie zulässige Netto-Grundflächen, Lagerguthöhen, Schutzabstände, Fluchtwege bis hin zu kompletten Brandschutzkonzepten. Vertiefte Informationen sind in der OIB 2.1 Brandschutz für Betriebsbauten nachzulesen.

95. Vgl. [oib 2.1.1] S.3

2.4.2 KONSTRUKTIONSNORMEN

Bei den so genannten EUROCODES (siehe Tab. 6) handelt es sich um eine Serie von Europäischen Normen (ENs), die die Berechnungs- und Bemessungsregeln für unterschiedliche Arten von Bauwerken definieren. Die vier wesentlichen Ziele der EUROCODES sind:

- Europaweit einheitliche Entwurfskriterien
- Die Harmonisierung national unterschiedlicher Regelungen
- Eine einheitliche Basis für Forschung und Entwicklung sowie
- Vereinfachter Austausch von Dienstleistungen und Produkten im Bausektor⁹⁶

1990 wurde das Europäische Komitee für Normungen CEN mit der Erstellung der EUROCODES beauftragt. Diese sind in zehn Teilbereiche unterteilt. Die erste Fassung der EUROCODES wurde als Vornorm veröffentlicht, um somit Erfahrungen mit den neuen Inhalten zu sammeln. Im Jahr 2003 wurden die ersten Dokumente als ÖNORMEN veröffentlicht. Weitere 4 Jahre dauerte es bis das komplette Eurocode-Normenwerk – EN 1990 bis EN 1999 – vorlag. Nach der Veröffentlichung gab es eine mehrjährige Übergangsfrist, welche am 31.03.2010 endete.⁹⁷

Tabelle: 06. Gliederung der Eurocodes

EN 1990 Eurocode	Grundlagen der Tragwerksplanung
<i>EN 1991 Eurocode 1</i>	<i>Einwirkungen der Tragwerke</i>
<i>EN 1992 Eurocode 2</i>	<i>Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbetonbauten</i>
<i>EN 1993 Eurocode 3</i>	<i>Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbauten</i>
<i>EN 1994 Eurocode 4</i>	<i>Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahl-Beton-Verbundbauten</i>
<i>EN 1995 Eurocode 5</i>	<i>Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten</i>
<i>EN 1996 Eurocode 6</i>	<i>Entwurf, Berechnung und Bemessung von Mauerwerksbauten</i>
<i>EN 1997 Eurocode 7</i>	<i>Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik</i>
<i>EN 1998 Eurocode 8</i>	<i>Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben</i>
<i>EN 1999 Eurocode 9</i>	<i>Entwurf, Berechnung und Bemessung von Aluminiumkonstruktionen</i>

^{96.} Vgl. IPechl S.18
^{97.} Vgl. IPechl S.19

2.5 ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG

Klimawandel, Ressourcenschonung und neue Formen der Energiegewinnung stellen Unternehmen bei der Planung von Betriebsbauten vor neue Probleme. Zum einen sollen die betriebswirtschaftlichen Abläufe, Strukturen und Produkte innovativ gestaltet werden und dabei sowohl Umwelt als auch Ressourcen geschont werden. Zum anderen soll ein zukunftsfähiges wirtschaftliches Wachstum erreicht werden. Zusätzlich werden durch den globalen Wettbewerb und immer kürzere Produktionszyklen vor allem Industriebetriebe und kleinere Unternehmen vor weitere Aufgaben und Herausforderungen gestellt.

Um zukünftigen Anforderungen an Industrie- und Gewerbebauten gerecht zu werden, wird es nicht mehr ausreichen nur seine Investitionskosten zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme zu betrachten. Viel wichtiger ist die Entwicklung des Gebäudes über seinen gesamten Lebenszyklus und die daraus resultierenden Kosten. Der Zyklus beschränkt sich hier nicht nur auf den des Gebäudes, sondern es muss auch der Produktionszyklus der darin hergestellten Produkte berücksichtigt werden. Durch diese Anforderungen wird vor allem der Planungsprozess von Industrie- und Gewerbebauten immer komplexer und intensiver. Für Architekten und Architektinnen bedeutet das, dass die Zusammenarbeit zwischen Bauherrn und Planer von Beginn an funktionieren muss, da alle Themenfelder auch auf deren zukünftige Entwicklung genauestens betrachtet werden müssen, was eine integrale Planung voraussetzt.

2.5.1 INTEGRALE PLANUNG

Zukunftsfähiges sowie nachhaltiges Bauen setzt eine ganzheitliche und integrale Planung voraus. Die Weichen für die spätere Qualität eines Bauwerks in Bezug auf dessen Nachhaltigkeit müssen bereits in den frühen Planungsphasen gestellt werden, ansonsten können etwaige Versäumnisse nicht mehr aufgeholt werden. Darum müssen die Aspekte der Nachhaltigkeit in allen Planungs-, Bau- und Bewirtschaftungsprozessen entsprechend berücksichtigt werden, um die Qualität des Gebäudes herzustellen, aufrechtzuerhalten und zu verbessern. Das Gebäude muss hierbei über seinen

gesamten Lebenszyklus hinweg, vom Anfang bis zum Ende, betrachtet werden. Bereits heutzutage sind eine Menge Aspekte der ganzheitlichen Planung Gegenstand der herkömmlichen Planung, jedoch beschränken sich diese meist auf Einzelaspekte der jeweiligen Lebenszyklusphase, ohne dabei etwaige Abhängigkeiten oder Wechselwirkungen zueinander zu berücksichtigen. Bei der ganzheitlichen Planung werden diese Einzelaspekte im Hinblick auf ihre Wechselwirkungen miteinander verknüpft, sinnvoll ergänzt, optimiert und daraus zukunftsfähige Gesamtlösungen abgeleitet.⁹⁸

98. Vgl. [Bmi] S.18

3 NACHHALTIGKEIT

3.1 NACHHALTIGKEIT IM BAUWESEN

Laut einem Bericht der EUROSTAT (Statistisches Amt der Europäischen Union) ist die produzierende Industrie unter den Top drei in Europa, wenn es um den Energiebedarf geht und somit hinter Transport und Haushalt einer der größten Verbraucher der EU. Ständig steigende Energiekosten und ein wachsendes Umweltbewusstsein der Konsumenten drängen Unternehmen, ihre Produktionsstandorte nachhaltig zu planen. Zudem gibt es gesetzliche Vorgaben, wie die EU-Richtlinie 2012/27/EU, die eine nachhaltige Verbesserung von Industriebetrieben fordert. Um zukünftige Anforderungen bestmöglich erfüllen zu können, steigen die Ansprüche an Bauherren, Errichter, Betreiber und natürlich auch Planer. Für die Umsetzung eines zukunftsweisenden Bauprojektes, benötigt es neben der Erkennung der Wichtigkeit der frühen Projektphasen auch einen lebenszyklisch denkenden Bauherrn, denn diese beiden Faktoren können die Energie- und Kosteneffizienz des Gebäudes hierbei wesentlich steigern.⁹⁹

3.1.1 WAS BEDEUTET NACHHALTIGKEIT?

Unter Nachhaltigkeit versteht man eine Vorgehensweise, bei der Ressourcen nur in solcher Art und Menge verwendet werden, dass auch zukünftige Generationen auf den Bestand zurückgreifen können. Nachhaltigkeit bedeutet also, die Bedürfnisse der Gegenwart zu befriedigen, ohne dabei zu riskieren, dass künftige Generationen ihre Bedürfnisse nicht mehr befriedigen können. Dies gilt sowohl auf sozialer, ökonomischer und ökologischer Ebene, welche als die drei Säulen der Nachhaltigkeit bezeichnet werden. Wichtig dabei ist es, die verschiedenen Ebenen nicht voneinander zu betrachten, sondern immer als gemeinsames Ganzes. Jedoch können sich auch Aspekte dieser drei Ebenen im Konflikt zueinander befinden, wenn beispielsweise die soziale und ökonomische nachhaltige Entwicklung zu Lasten der Umwelt geht. Nachhaltigkeit darf also nicht nur eine Modeerscheinung sein, sondern muss ein elementarer Bestandteil der Zukunft sein.¹⁰⁰

99. Vgl. I.Hauge! S.50

100. Vgl. I.Hauge! S.50

3.1.2 NACHHALTIGES BAUEN

Durch die nachhaltige Entwicklung hat sich auch der Blickwinkel in der Bau- und Immobilienbranche erweitert. Aufgrund der Erkenntnis, dass Gebäude und Immobilien einen wesentlichen Einfluss auf den weltweiten Ressourcenbedarf sowie Umwelteinwirkungen ausüben, ist es notwendig, die Auswirkungen in einem ganzheitlichen Kontext und somit über deren gesamten Lebenszyklus hinweg zu betrachten und zu bewerten. Gebäude sind komplexe Systeme, welche bestimmte Aufgaben erfüllen müssen. Zudem sind sie Lebensraum und Arbeitsumgebung, haben Einfluss auf Komfort, Gesundheit und Zufriedenheit der Nutzer. Betrachtet man die betriebs- und volkswirtschaftliche Seite, so stellen sie einen gewissen ökonomischen Wert dar, der zur Gesellschaft beiträgt. Andererseits jedoch verursachen sie durch Abgabe von Energie- und Stoffströmen entsprechende Umwelteinwirkungen, welche sich lokal sowie global auswirken.¹⁰¹

Laut dem Leitfaden für Nachhaltiges Bauen des Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) seien die Ziele des nachhaltigen Bauens, Gebäude zu entwickeln, welche energiesparende sowie ressourcenschonende Qualitäten aufweisen. Dabei müssen alle Nachhaltigkeitsaspekte im Lebenszyklus eines Gebäudes gleichermaßen berücksichtigt werden. Nachhaltiges Bauen bedeutet ebenfalls, die zur Verfügung stehenden natürlichen Ressourcen bestmöglich, unter effizientem Einsatz und Vermeidung von Umweltbelastungen, zu verwenden.¹⁰²

Die Grundlage für ein nachhaltiges (siehe Abb. 28) Bauen bilden gemäß BMI (Bmil) die drei Dimensionen/Ebenen der Nachhaltigkeit. Bestehend aus Ökologie, Ökonomie und Soziokultur bilden Sie den Ausgangspunkt für die Entwicklung der Prinzipien und stellen Bewertungsgrundlagen für ein nachhaltiges Bauen dar. Dabei sind alle drei Ebenen gleichermaßen sowie gleichgewichtig zu betrachten und zukünftige Generationen miteinzubeziehen.¹⁰³

Diese Arbeit befasst sich vor allem mit der Säule der Ökologie, da diese heutzutage bei der Planung von neuen Gebäuden noch eher eine untergeordnete Rolle spielt.

^{101.} Vgl. (Bmil) S.7
^{102.} Vgl. (Bmil) S.7
^{103.} Vgl. (Bmil) S.15

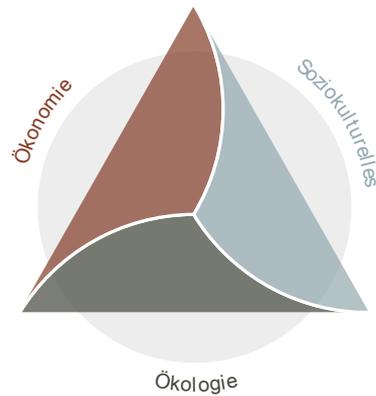


Abb: 28. Klassische Dimensionen der Nachhaltigkeit

3.1.3 ÖKOLOGISCHE SÄULE

Das Ziel der ökologischen Dimension der Nachhaltigkeit besteht gemäß dem BMI in der Schonung der natürlichen Ressourcen durch einen optimierten Einsatz von Baumaterialien und Bauprodukten sowie dem Schutz der lokalen und globalen Umwelt durch die Minimierung der Umwelteinwirkungen.¹⁰⁴

Im Laufe eines Lebenszyklus verursachen Gebäude durch den hohen Energie- und Rohstoffbedarf erhebliche Eingriffe in das bestehende Ökosystem. Dies hat zur Folge, dass sich die gebäudebezogenen Umweltbelastungen sowohl auf die lokale als auch globale Umwelt auswirken.¹⁰⁵

Durch den Einsatz neuer umweltverträglicherer Baumaterialien und Bauteile sowie optimierter Energiequellen wird sowohl der Energieverbrauch als auch der Ressourcenbedarf reduziert, was zur Folge hat, dass die Umweltbelastungen reduziert werden.¹⁰⁶ Dies ist vor allem durch eine Betrachtung des gesamten Lebenszyklus von Materialien, Bauteilen und Gebäuden während der Errichtungs-, Nutzungs- und Entsorgungs-/Recyclingphase möglich.¹⁰⁷

Um die ökologische Durchschlagskraft eines Gebäudes beschreiben und deren Umsetzung bemessen zu können, wurde die Methode der Ökobilanzierung entwickelt.

104. Vgl. [Bmil] S.29

105. Vgl. [Bmil] S.29

106. Vgl. [Bmil] S.29

107. Vgl. [Bmil] S.29

Mit deren Hilfe lassen sich sowohl Bauteile als auch Gebäude objektiv und global bewerten und deren Umwelteinwirkung darstellen.¹⁰⁸

Bevor näher auf die Bilanzierungsmethodik der Ökobilanz eingegangen wird, werden noch allgemeine Themen für nachhaltiges Bauen sowie eine Darstellung der Zertifizierungssysteme zur Bewertung behandelt. Zuvor jedoch wird noch die ökonomische Säule angerissen.

3.1.4 ÖKONOMISCHE SÄULE

Das Ziel der ökonomischen Dimension der Nachhaltigkeit liegt in der Betrachtung und Minimierung der Lebenszykluskosten, der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit, sowie dem Erhalt von Kapital und Werten.¹⁰⁹

Schon während der Planungsphase ist es von Vorteil eine umfangreiche Lebenszykluskostenanalyse durchzuführen. Dadurch können zum Teil erhebliche Einsparungspotenziale schon im frühen Planungsstadium identifiziert werden. Bei den Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Costs-LCC) werden die Herstellungskosten, die Bau- und Nutzungskosten für den Betrieb, Reinigungs- und Instandhaltungskosten, sowie die Abrisskosten und die Entsorgungskosten des Gebäudes betrachtet.¹¹⁰

3.1.5 NACHHALTIGE PLANUNG

Nach El khouli, John und Zeumer schrieb Peter Sloterdijk über das nachhaltige Bauen wie folgt: "Die nächste Architektur wird eine Architektur des atmosphärischen Respekts und der ökologischen Zurückhaltung sein müssen".¹¹¹

Ausgehend von den drei Wegen zur Nachhaltigkeit (Konsistenz, Suffizienz & Effizienz) lassen sich verschiedene Schwerpunkte für eine nachhaltige Planung setzen. Die Konsistenz gilt dabei als planerische Grundlage. Dieser Ansatz beschäftigt sich mit dem vermehrten Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen sowie auf gebäudebezogener Ebene mit der Reduzierung der Umwelteinwirkungen. Die Strategie der Suffizienz beschäftigt sich mit der grundlegenden Frage des Bedarfs. Hier wird neben der Frage

¹⁰⁸. Vgl. [Bmil] S.29

¹⁰⁹. Vgl. [Bmil] S.29

¹¹⁰. Vgl. [Bmil] S.33

¹¹¹. [E|jo] S.14

nach dem Flächen- und Raumbedarf auch der Materialbedarf angesprochen. Dies soll dazu führen, dass schon in einer frühen Phase der Planung durch mögliche Optimierungen der Ressourcen- und Energieverbrauch reduziert werden. Als letzter Ansatz gilt mit der Effizienz die funktionale Leistungssteigerung. Neben der Konstruktions-effizienz auf Bauteilebene gilt es auch die Flächeneffizienz auf Gebäudeebene zu steigern.¹¹²

Für eine nachhaltige Planung ist es also entscheidend, so früh als möglich die Weichen Richtung ökologischer Planung zu stellen. Je später diese Entscheidung getroffen wird, desto mehr ist diese mit erhöhten Kosten verbunden. Als Hilfsmittel für eine nachhaltige Planung dienen die sogenannten Zertifizierungskriterien beziehungsweise Gebäudebewertungssysteme. Sie bilden neben den generellen Bewertungshilfen (Normen, Merkblätter und Leitfäden) die Basis der Kommunikation nachhaltiger Strategien. Bevor das nächste Kapitel einen Überblick über die verschiedenen Bewertungssysteme liefert wird ein weiterer Ansatz für die nachhaltige Planung vorgestellt.

3.1.6 RÜCKBAUBARKEIT UND RECYCLING

Bereits während der Planungsphase ist darauf zu achten, recyclingfähige Materialien oder Materialien, die aus bereits recycelten Komponenten bestehen, für spätere Bau-maßnahmen vorzusehen. Je leichter sich ein Gebäude wieder in seine Bestandteile zerlegen lässt, desto besser ist auch seine Rückführbarkeit zu bewerten.¹¹³

Bei der Auswahl von recyclingfähigen Materialien sind folgende Faktoren zu beachten:

- Homogenität : Je weniger unterschiedliche Materialien, desto weniger unterschiedliche Entsorgungswege.¹¹⁴
- Trennbarkeit: Materialien die leicht trennbar sind, erhöhen die Rückführung in den Stoffkreislauf.¹¹⁵
- Schadstofffreiheit: Vermeidung beziehungsweise Reduzierung der Baustoffe welche sich schädlich auf die Umwelt und die Menschen auswirken.¹¹⁶

¹¹². Vgl. [EUo] S.14

¹¹³. Vgl. [ScPf] S.8

¹¹⁴. Vgl. [ScPf] S.8

¹¹⁵. Vgl. [ScPf] S.8

¹¹⁶. Vgl. [ScPf] S.8

3.2 ÖKOLOGISCHE BEWERTUNGSMÖGLICHKEITEN

3.2.1 UMWELTPRODUKTDEKLARATIONEN

Bei der Auswahl von gesundheitlich unbedenklichen Baustoffen stehen dem Planer eine Vielzahl an Hilfsmittel für die Bewertung zur Verfügung. So gibt es zahlreiche Label und Gütesiegel, sogenannte Typ I Umweltproduktdeklarationen, welche die Unbedenklichkeit von Baustoffen signalisieren. Sie sind durch spezifische Produkttests gekennzeichnet und sind innerhalb einer bestimmten Produktgruppe umweltfreundlicher als andere Baustoffe. Dabei werden die Prüfkriterien sehr ausführlich beschrieben und zertifizierte Produkte als Orientierungshilfe genannt.¹¹⁷

Desweiterem gibt es noch sogenannte Typ II & Typ III Umweltproduktdeklarationen, diese geben Auskunft über bereits bekannte Gefährdungspotenziale, jedoch wurden diese noch nicht wissenschaftlich belegt. Hilfreich für die Überprüfung von möglichen Problemstoffen ist hierfür beispielsweise die Datenbank WECOBIS.¹¹⁸ In dieser werden für die einzelnen Baustoffgruppen ökologische Aspekte beschrieben. Die enthaltenen Schadstoffe in einem Baustoff lassen sich mittels technischer Produkt- und Sicherheitsdatenblätter der Hersteller ermitteln. Sie beschreiben den Umgang mit den Produkten sowie die Ausweisung der Inhalts- und Gefahrenstoffe und die möglichen Auswirkungen bei der Verarbeitung, im eingebauten Zustand und bei der Entsorgung. Vor allem besorgniserregende Schadstoffe, welche schwere Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit beziehungsweise auf die Umwelt verursachen, sollten grundsätzlich vermieden werden, sogenannte SVHCs (Substances of Very High Concern). Eine aktuelle Liste solcher Stoffe findet sich bei der ECHA¹¹⁹ (European Chemicals Agency) mit zugeordneten CAS- und EC-Nummer¹²⁰ oder bei der GISBAU (Gefahrstoff-Informationssystem der BG BAU) über den sogenannten GISCODE^{121, 122}

117. Vgl. [EUo] S.21

118. www.wecobis.de, abgerufen am 15.01.2022

119. www.echa.europa.eu/de, abgerufen am 15.01.2022

120. www.echa.europa.eu/de, abgerufen am 15.01.2022

121. www.bgbau.de/gisbau/giscodes, abgerufen am 15.01.2022

122. Vgl. [EUo] S.21

3.2.2 BEWERTUNGSHILFEN

Die Basis für die ökologische Bewertung eines Gebäudes bilden in der Regel Normen, Merkblätter und Leitfäden, zudem definieren sie die Rahmenbedingungen beziehungsweise die Herangehensweise für eine ökologische Bilanzierung. Darauf aufbauende Gebäudestandards und Gebäudezertifizierungssysteme ermöglichen eine Bestimmung der Gebäudequalität. Für die Berechnung dieser Qualitäten, gibt es zahlreiche Datensammlungen und Datenbanken sowie unterstützende Softwaretools. Eine ausführliche Information zu Hilfsmitteln für eine ökologische Bilanzierung liefert die Website des Joint Research Centre¹²³ (JRC) der Europäischen Kommission.¹²⁴

NORMEN

Den Grundstein zur Durchführung einer Ökobilanz legen die europäischen Normen DIN EN ISO 14040 und 14044. Sie geben einen Überblick über die begrifflichen Definitionen und Rahmenbedingungen sowie über die einzelnen Schritte, jedoch sind diese beiden Normen nicht speziell auf das Bauwesen ausgerichtet und ermöglichen individuellen Interpretationsspielraum. Mit der im Jahre 2011 veröffentlichten europäischen Norm DIN EN 15978 wurde diesem Problem entgegengewirkt, indem sie speziell die Ökobilanz für Gebäude genauer definiert. Die Norm schafft einheitliche Voraussetzungen und erleichtert die Kommunikation der gewählten Systemgrenzen für eine Ökobilanz. Weiters unterteilt sie den Lebenszyklus eines Gebäudes in mehrere Module um die einzelnen Produkte zu beschreiben.¹²⁵

- Module A1 – A3: Herstellung
- Module A4 – A5: Bau/Errichtung
- Module B1 – B7: Nutzung
- Module C1 – C4: Entsorgung
- Modul D: Wiederverwendung/Rückgewinnung/Recycling

123. https://ec.europa.eu/info/departments/joint-research-centre_de, aufgerufen am 16.01.2022

124. Vgl. IEUol S.36

125. Vgl. IEUol S.36

Für die einzelnen Module legt die Norm die wichtigsten Einflussfaktoren fest und erläutert wie Baustoffdaten aus EPDs (Umweltproduktdeklarationen) zur Erstellung einer Ökobilanz anzuwenden sind. Grundlegendes zu den EPDs sowie dessen Verwendung und Einsatz umfasst die europäische Norm EN 15804. Um eine Schnittstelle zwischen Gebäude- und Baustoffebene zu schaffen, werden bei der Erstellung der EPDs die gleichen modularen Ordnungen angewendet wie in der Gebäudenorm DIN EN 15978.¹²⁶

MERKBLÄTTER UND LEITFÄDEN

Im deutschsprachigen Raum gilt der „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ des deutschen Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) als wichtiges Hilfsinstrument für die Planung nachhaltiger Gebäude. Neben Empfehlungen und Vorschlägen für den Entwurf, werden auch Bewertungen zu den einzelnen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes verfasst.¹²⁷

In Deutschland gib es noch das Informationsportal Nachhaltiges Bauen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)¹²⁸. Dort sind zahlreiche Unterlagen zum Thema der Lebenszyklusbetrachtung von Gebäuden zu finden.¹²⁹

Weiters gibt es noch die Hilfsportale WECOBIS, eine Datenbank die ökologische Informationen über Bauproduktgruppen liefert und WINGIS¹³⁰, ein Gefahrenstoff- Informationssystem.¹³¹

126. Vgl. [EUo] S.36

127. Vgl. [EUo] S.36

128. www.nachhaltiges-bauen.de, aufgerufen am 16.01.2022

129. Vgl. [EUo] S.37

130. www.wingisonline.de, aufgerufen am 16.01.2022

131. Vgl. [EUo] S.37

Das Österreichische Institut für Baubiologie und Bauökologie (IBO)¹³² hat mit dem Online-Tool *baubook*¹³³ und der Online Software *Eco2Soft*¹³⁴ zwei hilfreiche Programme für die ökologische Bilanzierung entwickelt. *Baubook* bietet einen Bauteilkatalog mit Standardaufbauten sowie deren Ökobilanzergebnissen und *Eco2Soft* hilft bei der Bestimmung ökologischer Eigenschaften von Neubauten, Sanierungen und Entsorgungsprozessen.¹³⁵

GEBÄUDEZERTIFIZIERUNGSSYSTEME

Die heutigen Zertifizierungssysteme für nachhaltige Gebäude verlangen oft Informationen aus zuvor durchgeführten ökologischen Bilanzierungen und mit der Norm DIN EN 15978 wird sich dieses Verfahren zukünftig festsetzen. Die verschiedenen Zertifizierungssysteme unterscheiden sich bezüglich des Umfangs und Detaillierungsgrads von Ökobilanzen, da sie teils andere Ansprüche und Schwerpunkte besitzen. Durch die verschiedenen Ansätze der unterschiedlichen Systeme ist auch ein direkter Vergleich schwierig.¹³⁶

Im Nachfolgenden werden die wichtigsten Zertifizierungssysteme im deutschsprachigen Raum vorgestellt:

BREEAM und LEED

Seinen Ursprung nahm die Entwicklung nachhaltiger Gebäudezertifizierungssysteme Ende des 20. Jahrhunderts in Großbritannien und den USA. Das in Großbritannien entwickelte BREEAM¹³⁷ (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) und das aus Amerika stammende LEED¹³⁸ (Leadership in Energy and Environmental Design) legten den Fokus hauptsächlich auf ökologische Aspekte mit dem Schwerpunkt auf der energetischen Gebäudequalität mittels quantitativer Berechnungen. Die Ökobilanzierung mittels BREEAM erfordert basierend auf den Normen EN ISO 14040 und 14044 die Phasen Herstellung, Nutzung und Entsorgung (mithilfe des nationalen Ökobilanzsystems). Hierbei wird von einer technischen Gebäudelebensdauer

132. <https://www.ibo.at/>, aufgerufen am 18.01.2022

133. <https://www.baubook.info/>, aufgerufen am 18.01.2022

134. <https://www.baubook.info/eco2soft/>, aufgerufen am 18.01.2022

135. Vgl. [EUoI] S.37

136. Vgl. [EUoI] S.38

137. www.breeam.com, aufgerufen am 18.01.2022

138. <https://www.usgbc.org/leed>, aufgerufen am 18.01.2022

von 60 Jahren ausgegangen. Bei LEED hingegen ist die Ökobilanzierung nur testweise als Kriterium eingeführt worden. Betrachtet werden die Phasen Herstellung, Transport, Instandhaltung, Rückbau und Entsorgung. BREEAM findet mit den Labels BREEAM (Europe) und BREEAM DE immer mehr Zuspruch im europäischen- sowie deutschen Raum. Die meisten Gebäude mit LEED-Zertifizierung befinden sich nach wie vor in den USA, jedoch wird dieses auch weltweit angewendet.¹³⁹

Minergie und Standard Nachhaltiges Bauen der Schweiz (CH)

Minergie¹⁴⁰ legten den Fokus ebenfalls lange Zeit nur auf die Energieeffizienz von Gebäuden. Mit den Labels Minergie-P und Minergie- A entstanden Konzepte die vergleichbar waren mit dem Passivhausstandard und dem Nullenergie-Gebäude. Durch die Einführung des Minergie-ECO- Standards werden neben dem Energiebedarf auch ökologische Aspekte bewertet. Für den Zusatz der ECO-Zertifizierung ist die Beantwortung von Fragen nötig, welche Kriterien wie beispielsweise Umweltbelastung bewertet. Seit 2013 ist für die ECO-Zertifizierung eine vereinfachte Ökobilanz (Berechnung graue Energie) erforderlich. Berechnet wird diese für eine technische Gebäudelebensdauer von 60 Jahren.¹⁴¹

Der Standard Nachhaltiges Bauen der Schweiz (SNBS)¹⁴² würde vom Netzwerk für Nachhaltiges Bauen Schweiz (NNBS)¹⁴³ zur umfassenden und phasengerechten Berücksichtigung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt eingeführt. Eine vereinfachte Ökobilanz, welche die Themen Gebäudeerstellung, den Gebäudebetrieb und die Mobilität umfasst, ist für die Zertifizierung erforderlich. Auch hier werden 60 Jahre für die technische Gebäudelebensdauer angenommen.¹⁴⁴

139. Vgl. [EUo] S.38

140. <https://www.minergie.ch/>, aufgerufen am 18.01.2022

141. Vgl. [EUo] S.39

142. <https://www.snbs-cert.ch/>, aufgerufen am 18.01.2022

143. <https://www.nnbs.ch/>, aufgerufen am 18.01.2022

144. Vgl. [EUo] S.39

BNB, DGNB (D)

Die deutschen Labels BNB¹⁴⁵ (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen) und DGNB¹⁴⁶ (Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen) wurden zu Beginn des 21. Jahrhunderts entwickelt und verfolgen einen neueren Ansatz, der alle drei Nachhaltigkeitssäulen (Ökologie, Sozial und Ökonomie) betrachtet. Für öffentliche Bauten ist die BNB-Zertifizierung gesetzlich vorgeschrieben, während das DGNB-Label auf freiwilliger Basis basiert. DGNB wird ebenfalls in Österreich angewendet. Für die Zertifizierung der beiden Labels ist eine Ökobilanzierung gemäß EN ISO 14040 und 14044 für die Phasen Herstellung, Instandhaltung, Rückbau und Entsorgung erforderlich. Bei einer technischen Gebäudelebensdauer von 50 Jahren werden insgesamt sieben Kategorien (Treibhauspotential GWP, Ozonschichtabbaupotential ODP, Ozonbildungspotential POCP, Versauerungspotential AP, Überdüngungspotential EP, Primärenergiebedarf nicht erneuerbar PEne, Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie PEe) zur Beurteilung herangezogen.¹⁴⁷

TQB (A)

In Österreich gibt es seit 2002 das Bewertungssystem TQB¹⁴⁸ (Total Quality Building) der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (ÖGNB), das ebenfalls den ganzheitlichen Ansatz zur ökologischen Bilanzierung verwendet. Dort werden drei Umweltindikatoren (nicht erneuerbarer Primärenergieinhalt PERNT, Treibhauspotential GWP und Versauerungspotential AP) im Ökoindex 3¹⁴⁹ zusammengeführt und bewertet. Für die Berechnung des Indikators müssen die IBO-Ökokennzahlen verwendet werden. Betrachtet werden dabei nur die Herstellungsphase und Instandsetzungsphase, während die Entsorgungsphase mittels eines speziellen Entsorgungsindikators dargestellt wird. Bei der Bilanzierung werden zunächst die Umweltwirkungen aller einzelnen Baustoffe aufsummiert, anschließend mittels einer linearen Funktion auf 1 m² der Konstruktionsfläche bezogen und zum Schluss auf einer Punkteskala von 0 bis 100 umgerechnet. Dieses Verfahren muss für alle 3 Ökoindikatoren gleichermaßen angewendet werden.¹⁵⁰

145. <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/>, aufgerufen am 18.01.2022

146. <https://www.dgnb.de/de/>, aufgerufen am 18.01.2022

147. Vgl. [EUo] S.41

148. <https://www.oegnb.net/>, aufgerufen am 18.01.2022

149. https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/materialoekologie/OI3_Berechnungsleitfaden_V4_0_20181025.pdf, aufgerufen am 18.01.2022

150. Vgl. [EUo] S.41

3.2.3 GEBÄUDELEBENSZYKLUS

Die geschätzte Lebensdauer eines Gebäudes beruht auf einer hypothetischen Annahme, welche auf Prognose und vergleichbaren Erfahrungswerten beruht. Grundsätzlich ist neben der Ausführung der Konstruktion auch die Wartung ein Entscheidungsträger für das Überlebenspotenzial eines Gebäudes. Ebenfalls spielt die Wahl des Materials, je nach Funktion eine tragende Rolle. Berechnungsverfahren zur Lebenszyklusdauer stützen sich auf Gebäudemodelle, welche die Lebensdauer für das Tragwerk gleichsetzen mit der Lebensdauer für das gesamte Gebäude. Hierbei kann angenommen werden:

20 - 30 Jahre Teilerneuerung

40 -60 Jahre Gesamterneuerung¹⁵¹

Unter der Berücksichtigung des ressourceneffizienten Materialeinsatzes muss vor Beginn der Planung entschieden werden, ob es sich um ein temporäres oder ein langfristig bestehendes Gebäude handeln soll.¹⁵²

temporär < 50 Jahre

langfristig > 100 Jahre

Die Gebäudelebensdauer kann nach ISO 10686 in verschiedene Kategorien unterteilt werden:¹⁵³

- technische Lebensdauer (tragende Baustruktur)
- wirtschaftliche Nutzungsdauer (effektiv nutzbare Zeitraum)
- geplante Nutzungsdauer (bestimmt der Bauherr = Grundlage Entwurf)
- Restnutzungsdauer (ab bestimmtem Zeitpunkt bis vorraussichtliches Ende)

¹⁵¹ Vgl. IKITel S.93

¹⁵² Vgl. IKITel S.93

¹⁵³ Vgl. IKITel S.93

Die technische Lebensdauer wird unter Annahme von Randbedingungen als Ausgangspunkt für die Abschätzung der erwartenden Lebensdauer in der Lebenszyklusanalyse verwendet.¹⁵⁴

Lebenszyklusphasen

Im Laufe seiner Lebensdauer durchläuft ein Bauwerk unterschiedliche Phasen welche verschiedene Prozesse aufweisen. Jede dieser Phasen weist die Entstehung von Stoff- sowie Energieflüsse auf, welche sich aus der Baustoffherstellung, der Transporte, der Montagen, der Nutzung, sowie der Entsorgung ergeben.¹⁵⁵

Neubauphase

Die Neubauphase beinhaltet die gesamte Planung, Herstellung und Errichtung und endet mit dem Beginn der Nutzungsphase.

Nutzungsphase

Die Nutzungsphase beginnt mit der Inbetriebnahme des Gebäudes und dauert über den gesamten Nutzungszeitraum bis eine Erneuerung am Bauwerk beschlossen wird.

Erneuerungsphase

Diese Phase umfasst den Baubetrieb während der Teil- oder Gesamterneuerung des Bauwerks. Je nach Bedarf kann ein Gebäude mehrere Nutzungs- und Erneuerungsphasen durchlaufen.

Rückbau- und Entsorgungsphase

Ab dem Beschluss das Bauwerk nicht mehr zu nutzen bzw. zu betreiben beginnt die Phase des Rückbaus beziehungsweise der Entsorgung.¹⁵⁶

^{154.} Vgl. IKITel S.94

^{155.} Vgl. IKITel S.94

^{156.} Vgl. IKITel S.94

3.3 ÖKOBILANZIERUNG | LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

Die Ökobilanz stellt heutzutage eine der effektivsten Methoden zur Bewertung von ökologischen Gebäuden dar. Wie bereits zuvor erwähnt, erfolgt die grundsätzliche Herangehensweise einer Ökobilanz nach den ISO-Normen 14040 und 10044. Speziell für Gebäude liefert die Din EN 15978 eine umfassendere Beschreibung. Bei der Bilanzierung (LCA) werden Baustoffe und Bauteile über deren Lebenszyklus betrachtet und mögliche Umweltwirkungen während des gesamten Bauprozesses berechnet. Mithilfe dieser berechneten Daten können Optimierungen vorgenommen beziehungsweise Empfehlungen ausgesprochen werden. Ökobilanzen sollten deshalb möglichst früh in der Planungsphase erstellt werden, um etwaige Änderungen im Entwurfsprozess, vor allem bei der Materialwahl, nochmals überdenken zu können.¹⁵⁷

Jedoch ist anzumerken, dass bei der Berechnung von Ökobilanzen eine gewisse Ungenauigkeit aufgrund verschiedener Methoden und Betrachtungen unvermeidbar ist. Aufgrund dieser sollten die Ergebnisse im Nachhinein nochmals überprüft und mittels Sensitivitätsbetrachtung evaluiert werden. Trotzdem eignen sich Ökobilanzen von Gebäuden sehr gut, verschiedenste Material- und Bauteilvarianten miteinander zu vergleichen und somit Rückschlüsse auf mögliche Optimierungsprozesse zu ziehen. Auch der direkte Vergleich mehrerer Ökobilanzen kann dem Planer im Entwurfsprozess behilflich sein. Dabei lassen sich verschiedene Detaillierungsebenen unterscheiden. Bei der Materialebene steht die Herstellung- sowie Entsorgungsphase eines Baustoffs im Mittelpunkt. Auf der Bauteilebene rücken sinnvolle Kombinationen verschiedener Materialien in den Fokus. Und auf Gebäudeebene wird das Zusammenspiel von Bauteilen und Gebäudetechnik in Bezug auf den Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes betrachtet.¹⁵⁸

^{157.} Vgl. IEUoI S.23
^{158.} Vgl. IEUoI S.24

Der Ablauf einer Ökobilanz erfolgt, nach ISO 14040, einem aufeinander abgestimmten 4-Phasen-Plan:

Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens	Phase 1
Sachbilanz	Phase 2
Wirkungsabschätzung	Phase 3
Auswertung	Phase 4

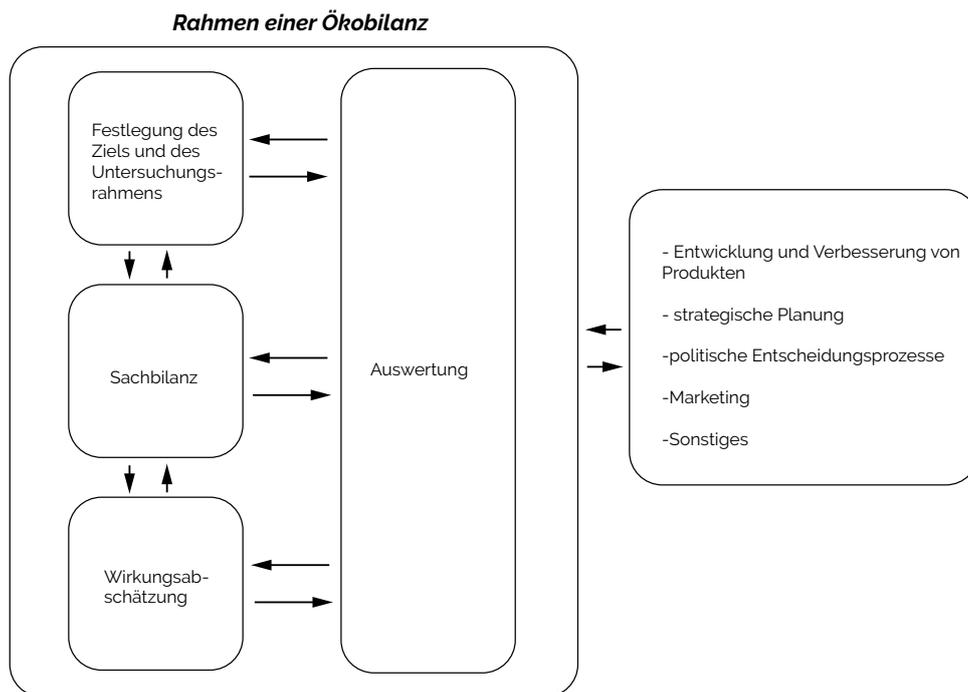


Abb: 29. Phasen einer Ökobilanz

3.3.1 FESTLEGUNG DES ZIELS UND UNTERSUCHUNGSRAHMENS

Zu Beginn einer jeden Ökobilanz wird laut El khouli, John und Zeumer das Ziel sowie der Untersuchungsrahmen der Studie festgelegt. Hier geht es in erster Linie darum, welche Fragestellungen mit der Ökobilanz beantwortet werden sollen.¹⁵⁹

Die Frage nach dem geeigneten Baustoff für einen Gebäudeentwurf, welcher möglichst wenig Umweltwirkungen aufweist, könnte eine mögliche Aufgabenstellung darstellen.¹⁶⁰

Nachdem die Zielsetzung sowie die Fragestellung geklärt ist, folgt die Festlegung des Ablaufs. Hier muss eine Strategie entwickelt werden, welche die Systemgrenzen festlegt, eine geeignete Allokationsmethode sowie die funktionelle Einheit des Projekts bestimmt, passende Datenquellen und Qualitätsstandards definiert, Annahmen für die Ökobilanzmodellierung trifft und zuletzt geeignete Wirkungskategorien und Wirkungsindikatoren festlegt. Darum sind die Aspekte besonders sorgfältig anzuwenden, da sie alle die Ergebnisse der Ökobilanz beeinflussen.¹⁶¹

^{159.} Vgl. [EUo] S.24
^{160.} Vgl. [EUo] S.24
^{161.} Vgl. [EUo] S.24

Die Systemgrenze legt fest, welche Prozesse in die Ökobilanz einfließen beziehungsweise welche eventuell vernachlässigt werden können. Dadurch wird der Detaillierungsgrad einer Studie definiert. Wichtig dabei ist die sorgfältige Dokumentation, um mögliche Ergebnisse von Ökobilanzen nicht zu beeinflussen. So ist eine detaillierte Ökobilanz erst mit zunehmender Planungsdauer und Informationsdichte sinnvoll.¹⁶²

Eine Allokationsmethode ist dann sinnvoll, wenn aus einem Herstellungsprozess mehrere zusätzliche Produkte, zum eigentlich betrachteten Produkt (Koppelprodukt), hervorgehen. Hierbei müssen die Input- und Outputflüsse der einzelnen Produkte analysiert und die daraus resultierenden Umweltwirkungen wieder anteilig zugeordnet werden. Allokationsmethoden können nicht nur bei der Herstellungsphase sondern auch bei der Entsorgungs-/Recyclingphase angewendet werden. Einen genauen Überblick über die verschiedenen Allokationsmethoden liefert die ISO-Norm 14044.¹⁶³

Die funktionelle Einheit bestimmt, welche spezifische(n) Funktion(en) das zu vergleichende Produkt bzw. System während seiner Lebensdauer zu erfüllen hat (z.B. 1 m² Decke; einachsig gespannt, Spannweite 6,0 m). Dabei ist wichtig nicht quantitative Vergleiche zu ziehen, also 1 kg Beton mit 1 kg Ziegel zu vergleichen, sondern qualitative Vergleiche. Diese können erst im Zusammenspiel von Baustoff mit einem konkreten Bauteil hergestellt werden. So führen Vergleiche von 1 m² Beton-Außenwand mit 1 m² Ziegel-Außenwand zu zweckmäßigen Ergebnissen. Qualitative Analysen beeinflussen das Ergebnis einer Ökobilanz mehr als quantitative. Bei der Analyse sollten bestimmte qualitative Aspekte miteinbezogen werden: Nutzungsflexibilität, Brandschutz, Schallschutz, Spannweite, Möglichkeiten von Ausgleichsmaßnahmen und Abhängigkeiten von Bauteilen. Es ist sinnvoll, bereits zu Beginn der Planungsphase mögliche Verknüpfungen und Abhängigkeiten zwischen den zu analysierenden Bauteilen herzustellen, um darauf aufbauend eine sinnvolle Systemgrenze sowie funktionelle Einheit zu definieren.¹⁶⁴

¹⁶² Vgl. [EUo] S.24

¹⁶³ Vgl. [EUo] S.24

¹⁶⁴ Vgl. [EUo] S.27

Alle In- und Outputs der Sachbilanzphase sowie die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung beziehen sich auf die funktionelle Einheit. Die funktionelle Einheit kann somit zur Beeinflussung einer Studie beitragen.¹⁶⁵

Weiters werden in Phase 1 Datenquellen und Qualitätsstandards bestimmt. Je nach Qualität der Datenanalyse wird auch die gesamte Ökobilanz in ihrer Detailschärfe beeinflusst. Geeignete Daten können aus professionellen Sachbilanzdatenbanken oder aus frei zugänglichen Informationsquellen und Umweltproduktdeklarationen bezogen werden. Empfohlen wird jedoch, die Daten aus einer Datenquelle mit hohem Transparenzgrad zu verwenden. Dies gilt vor allem dann, wenn die Ökobilanzergebnisse publiziert werden sollen und es wichtig ist, die Hintergründe der erstellten Daten nachvollziehen zu können.¹⁶⁶

Normalerweise sind während einer Ökobilanzierung eine Reihe von Annahmen zu treffen, wenn sich gewisse Faktoren nur überschlägig ermitteln lassen z.B. Materialmengen oder Transportdistanzen. Sollte dies der Fall sein, ist es wichtig diese Annahmen sorgfältig zu dokumentieren und zu beschreiben. Zudem sollten diese Annahmen später mittels einer Sensitivitätsanalyse überprüft werden, um deren Richtigkeit festzustellen.¹⁶⁷

Bei einer Ökobilanzierung müssen Wirkungskategorien und -indikatoren zur Bestimmung der Umweltauswirkungen der untersuchten Produkte und Prozesse definiert werden. Diese sind in den technischen Datenblättern der Hersteller oder den EPDs verzeichnet. In der Regel werden sie nach der Zielsetzung der Ökobilanz ausgewählt. Die wichtigsten Parameter werden im Folgenden dargestellt:¹⁶⁸

¹⁶⁵ Vgl. [EUo] S.28

¹⁶⁶ Vgl. [EUo] S.28

¹⁶⁷ Vgl. [EUo] S.29

¹⁶⁸ Vgl. [EUo] S.29

Primärenergieinhalt PERT, PERNT [MJ]

Der Primärenergieinhalt beschreibt den Aufwand an Primärenergieträgern, der zur Herstellung eines Produkts nötig ist. Unterschieden wird zwischen der Verwendung von erneuerbarer PERT (Sonnenenergie, Windenergie) und nicht erneuerbarer PERNT (Rohöl, Kohle) Energieträger.

Treibhauspotenzial GWP [kg CO₂ – Äq]

Das Treibhauspotential beschreibt die Auswirkung anthropogener Emissionen von Treibhausgasen (z.B. CO₂, CH₄, FCKW) auf die Erdatmosphäre. CO₂ hat im Vergleich zu anderen Treibhausgasen den geringsten Effekt und dient somit als Referenzeinheit.

Ozonabbaupotenzial ODP [kg CFC-11-Äq]

Das Ozonabbaupotential beschreibt die Zerstörung der Ozonschicht in der Stratosphäre. Als ozonschichtschädliche Stoffe gelten insbesondere chlorierte Substanzen wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW).

Photochemisches Ozonbildungspotenzial POCP [kg C₂H₄-Äq]

Das photochemische Ozonbildungspotential bezieht sich auf die photooxidantienbildende Wirkung von 1 kg Ethan. Photooxidantien bestehen aus aggressiven Schadstoffen, die unter Einfluss von Sonnenlicht in der unteren Atmosphäre Kohlenwasserstoffe bilden.

Versauerungspotenzial AP [kg SO₂-Äq]

Das Versauerungspotenzial beschreibt die Schädigung des Ökosystems durch eine Versauerung von Böden und Gewässern. Dieser Effekt entsteht durch die Umwandlung bestimmter Schadstoffe in der Luft zu Säuren.

Eutrophierungspotenzial EP [kg PO₄⁻³ Äq]

Das Eutrophierungspotenzial beschreibt die Überdüngung von Böden und Gewässern mittels Schadstoffen aus der Luft, im Abwasser und landwirtschaftlichen Düngemitteln.

3.3.2 SACHBILANZ

In der zweiten Phase (Sachbilanzphase) wird der Lebenszyklus des zu untersuchenden Produkts modelliert. Die definierten Rahmenbedingungen aus Phase eins sind auch hier geltend. Sämtliche Input und Output Flüsse werden zusammengestellt und auf die vorher definierte funktionelle Einheit bezogen. Als Datenquelle dienen die zuvor festgelegten Sachbilanzdatenbanken (z.B. ÖKOBAUDAT). Sie sollten über eine möglichst hohe Datentransparenz verfügen. Mithilfe einer Ökobilanzsoftware oder einer einfachen Tabellenkalkulation kann die eigentliche Modellierung des Lebenszyklus eines Gebäudes erstellt werden. Das Ergebnis der Sachbilanzphase liefert einen Überblick über den Lebenszyklus der zu untersuchenden Produkte.¹⁶⁹

3.3.3 WIRKUNGSABSCHÄTZUNG

In der dritten Phase werden die Ergebnisse aus der Sachbilanzphase klassifiziert. Das heißt sie werden bestimmten Wirkungskategorien zugeordnet, welche die Umweltauswirkungen repräsentieren (Ressourcenverbrauch, menschliche Gesundheit, ökologische Auswirkungen, Klimawandel, etc.). Die Zuordnung der Sachbilanzergebnisse zu Wirkungskategorien wird als Klassifizierung bezeichnet. Nach der Klassifizierung wird eine sogenannte Charakterisierung durchgeführt. Hier werden mithilfe von Charakterisierungsfaktoren, welche die Wirkung eines Stoffes in Bezug zu einer Referenzeinheit setzen (z.B. Methan in Bezug auf CO₂ als Referenzeinheit für Treibhausgase), die Wirkungsfaktoren berechnet. Die Summe aller Sachbilanzergebnisse der einzelnen Treibhausgase, welche zuvor mit dem jeweiligen Charakterisierungsfaktor multipliziert wurden, legt das Ergebnis fest. Zusätzlich gibt es Wirkungsindikatoren die jeweils mehrere Wirkungskategorien zusammenfassen um einen einzigen Indikatorwert zu generieren. Die Wahl des Indikators hat einen Einfluss auf das Ergebnis der Ökobilanz. Eine Ökobilanz-Software kann diesen aufwändigen Prozess vereinfachen (z.B. Gabi). Wichtig ist hierbei die Daten sorgfältig einzutragen und die Betrachtung der Prozesse auf den gesamten Lebenszyklus.¹⁷⁰

¹⁶⁹. Vgl. IEUoI S.33

¹⁷⁰. Vgl. IEUoI S.34

3.3.4 AUSWERTUNG

In der vierten und zugleich letzten Phase werden die Ergebnisse aus Phase 2 und 3 analysiert und zur Beantwortung der ursprünglichen Fragestellung verwendet. Beihilflich dabei ist eine Sensitivitätsanalyse, die versucht das Ergebnis der Ökobilanz zu relativieren und zugleich die Abhängigkeit von bestimmten Faktoren oder getroffenen Annahmen aufzeigt. Eine Ökobilanz dient immer nur zu Beantwortung einer sehr spezifischen Fragestellung und daher ist das Ergebnis auch nur für die vorher festgelegten Systemgrenzen sowie Annahmen und Rahmenbedingungen gültig. Das Ganze ist ein iterativer Prozess, bei dem sogar während der Bilanzierung noch Änderungen vorgenommen werden können.¹⁷¹

3.3.5 UNSICHERHEITEN BEI DER ÖKOBILANZIERUNG

Die Erstellung einer Ökobilanz ist stets mit Unsicherheiten behaftet, da zum Zeitpunkt der Ökobilanzierung noch nicht vorsehbar ist, welches End-of-Life-Kriterium eintritt. Die Unsicherheiten, ergeben sich aus der Modellierung und den getroffenen Annahmen, jedoch hilft die Erstellung einer Ökobilanz bei der Abschätzung und dem Vergleich von Umweltauswirkungen verschiedener Rohstoffe und Produkte. Die Unsicherheiten in der Modellierungsebene ergeben sich zum Beispiel aus den unterschiedlichen Möglichkeiten bei der Definition der Systemgrenzen oder verwendeten Datenbanken. Zudem werden für das betrachtete Produkt Annahmen bezüglich der potenziellen zukünftigen Umwelteinwirkung getroffen, welche zum Zeitpunkt der Ökobilanz nicht vorhersehbar sind. Trotz aller Unsicherheiten können die Ergebnisse der Ökobilanzierung sehr hilfreich bei der Entscheidungsfindung in der Planungsphase sein, auch wenn diese keine präzisen Aussagen über die ökologische Wahrheit treffen.

¹⁷¹ Vgl. [EUoL] S.36

3.4 STRATEGIEN ZUR RESSOURCENSCHONUNG

Nach El khouli, John und Zeumer gibt es zwei verschiedene Ansätze die zur Optimierung des Ressourcenverbrauchs und damit zum Schutz vor negativen Umweltauswirkungen im Bauwesen beitragen. Zum einen ist es die Optimierung des Materiallebenszyklus, welche vor allem auf die Verwendung von ressourcen- und umweltschonenden Materialien abzielt und zum anderen die Optimierung des Gebäudelebenszyklus. Diese Strategie verfolgt die Miteinbeziehung der Nutzung beziehungsweise mögliche Nutzungsänderung, welche zur Verbesserung des Gebäudelebenszyklus beitragen können. Im Nachfolgenden werden beide Strategien zur Optimierung des Ressourcenverbrauchs näher erläutert.¹⁷²

3.4.1 OPTIMIERUNG DES MATERIALLEBENSZYKLUS

Der Materiallebenszyklus gilt als wichtiger Parameter zum Bewerten von nachhaltigen Gebäuden. Um den Lebenszyklus auf Materialebene optimieren zu können, muss man diesen in den Stadien Rohstoffgewinnung, Produktion, Weiterverarbeitung, Transport, Nutzung und Entsorgung unterteilen und die einzelnen Prozessschritte gesondert betrachten. Sowohl eine effiziente Herstellung der Produkte als auch die erneute Verwendung von recycelten Baustoffen kann zu einer deutlichen Optimierung des Lebenszyklus und somit zu einer besseren Ökobilanz führen.¹⁷³

Folgende Punkte können eine Verbesserung des Materialkreislaufes erreichen:¹⁷⁴

- Optimierung der Rohstoffgewinnung und Effizienzsteigerung der Produkte
- Einsatz ressourcenschonender Baustoffe (z.B. Holz)
- Modul-/Systembau (Vorfertigung, Bautoleranzen, Dimensionierung)

¹⁷² Vgl. [EUo] S.44

¹⁷³ Vgl. [EUo] S.45

¹⁷⁴ Vgl. [EUo] S.45

- Verwendung gesundheitlich unbedenklicher Materialien/Baustoffe
- Rückführung in den Materialkreislauf (Recycling/Wiederverwendung)

3.4.2 OPTIMIERUNG DES GEBÄUDELEBENSZYKLUS

Die Optimierung des Gebäudelebenszyklus befasst sich mit den grundlegenden Fragen nach der Gebäudenutzung, mögliche Umnutzungen sowie der geplanten Nutzungsdauer. Je mehr Energiebedarf während der Nutzungsphase benötigt wird, desto stärker sollte die Konstruktions- und Materialwahl zu einer energetischen Optimierung beitragen. Zu den wichtigsten Aspekten in der Optimierung des Gebäudelebenszyklus zählen:¹⁷⁵

- Materialfokussierung und konstruktive Reduktion (wiederkehrende Detaillösungen)
- Funktionsüberlagerung (Bauteil erfüllt mehrere Funktionen)
- reduzierter Betriebsaufwand (pflegeleichte Oberflächen)
- reduzierter Instandhaltungsaufwand (Dauerhaftigkeit)
- Optimierung von Austausch- und Instandhaltungsprozessen (einfacher Austausch von Bauteilen am Ende ihres Lebenszyklus)
- recyclinggerechtes Konstruieren (Rückführung aller Bauteile in den Materialkreislauf)

¹⁷⁵. Vgl. [EUo] S.58

4 SYSTEMENTWURF

4.1 REFERENZBEISPIELE

In diesem Kapitel werden verschiedene Referenzobjekte untersucht, welche die Grundlage für den Systementwurf bilden. Die einzelnen Objekte werden vor allem auf deren Tragwerksstruktur sowie deren Nachhaltigkeit untersucht, da diese ausschlaggebend für den Systementwurf sind. Bei den vorgestellten Referenzbeispielen handelt es sich um typische Industrie- und Gewerbebauobjekte, mit dem Fokus auf den Hallenbau. Bei der Untersuchung der Tragwerke handelt es sich um für den Hallenbau gängige Standardlösungen und nicht um Sonderkonstruktionen. Die Nachhaltigkeitsuntersuchung erfolgt anhand der Ansätze von El khouli, John und Zeumer zur Ressourcenschonung. Für eine besser Vergleichbarkeit werden zum Schluss nochmals alle Referenzobjekte, inklusive deren Tragwerkspläne, gegenübergestellt. Siehe Tab. 7 sowie Abb. 59 - 64.

4.1.1 ÜBERSICHT

1.) Produktionshalle, Toni Behr Maschinen- und Apparatebau GmbH, Gilching, Deutschland

Planer: Brüninghoff GmbH & Co. KG, Heiden

Tragwerksplaner: Brüninghoff GmbH & Co. KG, Heiden

Tragwerk: Stahlbeton (Stützen + Binder)

2.) Produktionshalle, Smar-Tech GmbH, Schwäbisch Hall, Deutschland

Planer: Mahl + Zoller Architekten, Schwäbisch Hall

Tragwerksplaner: Schlaffitzel Holzindustrie, Schwäbisch Hall

Tragwerk: Holz (BSH Stützen + BSH Binder)

3.) Produktionshalle mit Büro, Lienen, Deutschland

Planer: FH Finnholz, Lienen

Tragwerksplaner: FH Finnholz, Lienen

Tragwerk: Mischbauweise (STB Stützen + BSH Binder)

4.) Produktionshalle mit Büro, elobau sensor technology, Thüringen, Deutschland

Planer: F64 Architekten, Kempten

Tragwerksplaner: Merz Kley Partner, Dornbirn

Tragwerk: Holz (FSH Stützen + FSH Fachwerk)

5.) Produktionshalle mit Büro, Zimmerei, Feldkirch, Österreich

Planer: Walter Unterrainer, Feldkirch

Tragwerksplaner: Merz Kley Partner, Dornbirn

Tragwerk: Holz (BSH Stützen + BSH Binder)

6.) Produktionshalle, KSB AG, Frankenthal/Pfalz, Deutschland

Planer: HEENE + PROBST GMBH , Ludwigshafen/Rhein

Tragwerksplaner: Walter & Reinhardt Ingenieur GmbH, Herbolzheim

Tragwerk: Stahlskelettbau (Stahlprofile + Stahlfachwerk)

1.) Produktionshalle, Toni Behr Maschinen- und Apparatebau GmbH, Gilching, Deutschland



Abb: 30. Toni Behr „Fassade“



Abb: 31. Gebäudekomplex

Der innerhalb eines Jahres errichtete Gebäudekomplex der Toni Behr Maschinen- und Apparatebau GmbH in Gilching wurde von Brüninghoff geplant und ausgeführt. Auf dem rund 5000 m² großen Areal wurden eine Produktionshalle in Beton-Skelett-Bauweise sowie ein angeschlossenes Verwaltungsgebäude errichtet. Die 2700 m² große Produktionshalle, welche zur Fertigung der Präzisionsteile dient, wurde als Beton-Skelett Konstruktion ausgeführt. Zusätzlich wurden in der Halle mehrere massive Einbauten vom Werkzeug- und Mess- bis hin zum Schweißerei- und Kompressorraum integriert. Das Verwaltungsgebäude bildet die nordwestliche Ecke des Gebäudes und wurde als zweigeschossiger Kubus in die Halle eingeschoben. Die beiden Zonen sind durch eine massive Trennwand, welche sowohl schallschutztechnische als auch brandschutztechnische Maßnahmen erfüllt, voneinander abgeschottet.¹⁷⁶

176. Vgl. <https://allgemeinebauzeitung.de/abz/23-meter-lange-und-bis-zu-40-tonnen-schwere-binder-montiert-produktionshalle-in-beton-skelett-bauweise-errichtet-35374>.

html, abgerufen am 20.02.2022

Tragwerk

Das Tragwerk der Produktionshalle besteht aus 23 m langen Spannbeton-Satteldachbindern sowie Betonfertigteilstützen. Die Stützen weisen einen Querschnitt von 50 cm mal 50 cm beziehungsweise 40 cm mal 50 cm auf und eine Länge von jeweils 8,5 m inklusive der Einspanntiefe. Durch die Vorspannung der Stahleinlage in den Bindern kann eine höhere Stützweite als bei klassischen Stahlbetonbindern erzielt werden. Aufgrund der lichten Raumhöhe von 6 m, die unterhalb der Binder einzuhalten ist, wurden sämtliche Lüftungsinstallationen in der Ebene der Binder ausgeführt. Die technische Gebäudeausrüstung musste somit frühzeitig geplant werden.¹⁷⁷



Abb: 32. Tragwerk



Abb: 33. Produktionshalle

Nachhaltigkeit

Tabelle: 07. Übersicht Nachhaltigkeitsbewertung

Materiallebenszyklus	Gebäudelebenszyklus
Optimierung der Rohstoffgewinnung	Materialfokussierung und konstruktive Reduktion
Einsatz ressourcenschonender Baustoffe	Funktionsüberlagerung
Modul-/Systembau	reduzierter Betriebsaufwand
Verwendung gesundheitlich unbedenklicher Baustoffe	reduzierter Instandhaltungsaufwand
Rückführung in den Materialkreislauf	Optimierung von Austausch- und Instandhaltungsprozessen
	recyclinggerechtes Konstruieren

177. Vgl. <https://www.brueuninghoff.de/unternehmen/newsroom/aktuelles/news/ideale-rahmenbedingungen-fuer-die-praezisionsfertigung/>, abgerufen am 20.02.2022

2.) Produktionshalle, Smar-Tech GmbH, Schwäbisch Hall, Deutschland



Abb: 34. Smar-Tech

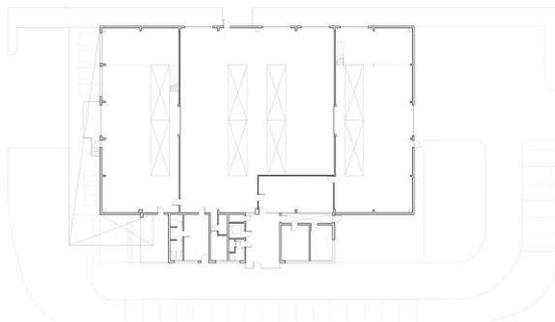


Abb: 35. Grundriss



Abb: 36. Ansicht

Die rund 1500 m² große Produktionshalle wurde vom ortsansässigen Architektenduo Mahl + Zoller geplant und gemeinsam mit dem Holzbauer Schaffitzel Holzindustrie errichtet. Zu Beginn der Planung wurde die Halle als Stahlkonstruktion geplant und ausgeschrieben, jedoch konnten sowohl die Bauherren als auch die Architekten vom Material Brettschichtholz, durch seine wirtschaftlichen, technischen und ökologischen Vorteile, überzeugt werden.¹⁷⁸ Kurze Bauzeiten und eine schnelle Montage des Tragwerks, durch einen hohen Vorfertigungsgrad im Werk, sind weitere Pluspunkte eines Bauens mit Holz. Ebenfalls überzeugen konnte sie der Holzbau beim Thema Brandschutz. Alleine durch die Holzquerschnitte konnte eine Feuerwiderstandsklasse R30 erreicht werden. Für ausreichend Tageslicht sowie für ein angenehmes Arbeitsklima sorgen die vier großzügigen Oberlichter mit 3 m x 18 m.¹⁷⁹

178. Vgl. [https://www.schaffitzel.de/hallenbau/produktionshallen/330-hms.abgerufen am 20.02.2022](https://www.schaffitzel.de/hallenbau/produktionshallen/330-hms.abgerufen%20am%2020.02.2022)

179. Vgl. [https://allgemeinebauzeitung.de/abz/gegen-stahl-durchgesetzt-produktionshalle-in-holzbauweise-errichtet-25000.htmlabgerufen am 20.02.2022](https://allgemeinebauzeitung.de/abz/gegen-stahl-durchgesetzt-produktionshalle-in-holzbauweise-errichtet-25000.htmlabgerufen%20am%2020.02.2022)

Tragwerk

Das Haupttragwerk der 50 m x 30 m großen Produktionshalle besteht aus 30 m langen BSH-Satteldachbindern mit geradem Untergurt mit 2° Dachneigung sowie einer vollflächigen Brettschichtholz-Dachscheibe. Als Auflager dienen Pendelstützen aus Brettschichtholz sowie eingespannte Stahl-Beton-Fertigteilstützen. Zudem sind die Stützen mit einer Kranbahnkonsole ausgestattet und somit für eine Krananlage mit 3,2 t Hublast ausgelegt.¹⁸⁰

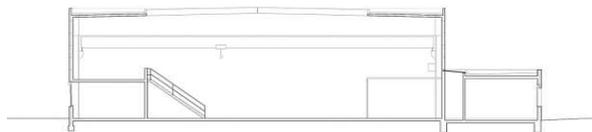


Abb: 39. Schnitt



Abb: 37. Produktionshalle



Abb: 38. Tragwerk

Nachhaltigkeit

Tabelle: 08. Übersicht Nachhaltigkeitsbewertung

Materiallebenszyklus	Gebäudelebenszyklus
Optimierung der Rohstoffgewinnung	Materialfokussierung und konstruktive Reduktion
Einsatz ressourcenschonender Baustoffe	Funktionsüberlagerung
Modul-/Systembau	reduzierter Betriebsaufwand
Verwendung gesundheitlich unbedenklicher Baustoffe	reduzierter Instandhaltungsaufwand
Rückführung in den Materialkreislauf	Optimierung von Austausch- und Instandhaltungsprozessen
	recyclinggerechtes Konstruieren

¹⁸⁰. Vgl. <https://allgemeinebauzeitung.de/abz/gegen-stahl-durchgesetzt-produktionshalle-in-holzbauweise-errichtet-25000.html> abgerufen am 20.02.2022

3.) Produktionshalle mit Büro, Lienen, Deutschland



Abb: 40. Produktionshalle mit Büro



Abb: 41. Produktionshalle



Abb: 42. Produktionshalle Innenraum

Die 1000 m² große Flachdachhalle, bestehend aus zweigeschossigem Büro- und eingeschossigem Produktionstrakt, wurde von FH FINNHOLZ in einem Gewerbegebiet errichtet. Aufgrund der unterschiedlichen Brandschutzanforderungen mussten die beiden Trakte durch eine F90-Brandschutzwand aus Stahlbeton getrennt werden. Um eine Verbindung zwischen Produktionshalle und Büro zu schaffen, wurden die Fenster und Türen als F30 ausgeführt. Die Hauptanforderung an die Produktionshalle war ein stützenfreier Innenraum, um ausreichend Platz für große Maschinen zu bieten. Die Belichtung der Halle übernimmt ein 28 m langes Firstlichtband und sorgt für ein angenehmes Arbeitsklima. Um Bürotrakt und Produktionshalle optisch voneinander zu trennen, wurde ein 8 m hoher Portalrahmen mit roter Fassadenverkleidung gestaltet. Sowohl das Flachdach, mit 2° Dachneigung, als auch die Außenwandverkleidung der Halle wurden mit 120 mm starken Sandwichpaneelen beplankt.¹⁸¹

¹⁸¹. Vgl. <https://allgemeinebauzeitung.de/abz/kombination-von-stahlbeton-und-holz-produktionshalle-mit-zweigeschossigem-buerotrakt-gestaltet-22692.html>. Abgerufen am

Tragwerk

Die knapp 50 m lange und 20 m breite Halle besteht aus einer Kombination aus Stahlbetonstützen im Produktionsbereich und Holzstützen im Bürotrakt. Aufgrund einer geforderten 10 t-Krananlage wurden, als wirtschaftlichste Lösung, Betonfertigteilstützen verwendet. An allen 14 Stützen befinden sich Konsolen, auf welchen die Schienen für die Kranbahn aufliegen. Als Dachtragwerk fungieren fünf Brettschichtholz Satteldachbinder mit geradem Untergurt, die jeweils die komplette Breite der Halle von 20 m überspannen. Der Binderabstand beträgt kontinuierlich 7 m. Das gesamte Holztragwerk entspricht der Brandschutzanforderung F 30 B.¹⁸²

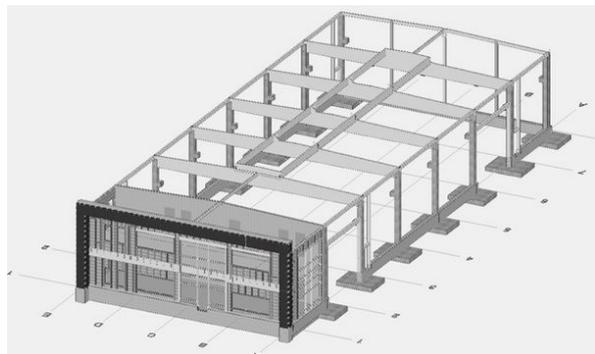


Abb: 43. Tragwerk 3D Perspektive



Abb: 44. Tragwerk Ausführung

Nachhaltigkeit

Tabelle: 09. Übersicht Nachhaltigkeitsbewertung

Materiallebenszyklus	Gebäudelebenszyklus
Optimierung der Rohstoffgewinnung	Materialfokussierung und konstruktive Reduktion
Einsatz ressourcenschonender Baustoffe	Funktionsüberlagerung
Modul-/Systembau	reduzierter Betriebsaufwand
Verwendung gesundheitlich unbedenklicher Baustoffe	reduzierter Instandhaltungsaufwand
Rückführung in den Materialkreislauf	Optimierung von Austausch- und Instandhaltungsprozessen
	recyclinggerechtes Konstruieren

¹⁸²: Vgl. <https://allgemeinebauzeitung.de/abz/kombination-von-stahlbeton-und-holz-produktionshalle-mit-zweigeschossigem-buerotrakt-gestaltet-22692.html>.abgeru-

4.) Produktionshalle mit Büro, elobau sensor technology, Thüringen, Deutschland



Abb: 45. Produktionshalle

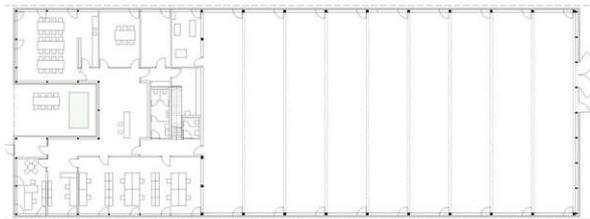


Abb: 46. Grundriss



Abb: 47. Produktionshalle

Der Neubau im Thüringer Schiefergebirge ersetzt einen älteren in der Nähe befindlichen Betriebsstandort. Wie auch schon beim Bestandsbau, war dem Bauherrn vor allem wichtig ein Gebäude zu entwickeln, welches sowohl im Bau als auch im Betrieb Ressourcen schont. Durch diesen Anspruch an Nachhaltigkeit kam als Konstruktionsmaterial nur Holz infrage. Der Baukomplex besteht aus einem flachen Kopfbau mit Büros, einem teilweise darüber liegenden Trakt aus Neben- und Technikräumen sowie einer direkt an den Büros angrenzenden Produktionshalle mit ca. 1.150 m² Fläche. Bei Bedarf kann die Halle, in gleicher Bauweise, zu einem späteren Zeitpunkt um mehrere Achsen erweitert werden.¹⁸³

Der Eingangsbereich nimmt durch seine Orientierung Bezug zum einzigen Bestandsgebäude im näheren Umfeld. Durch die durchgehend verglaste Sockelzone wird eine Verbindung zwischen den Büros und der Produktionshalle geschaffen, welche unterschiedslos stattfindet.¹⁸⁴

183. Vgl. <https://www.f64architekten.de/projekte/sortiert/chronologisch/detail/betriebsgebäude-fa-elobau-in-probstzella/>, abgerufen am 20.02.2022
184. Vgl. <https://www.f64architekten.de/projekte/sortiert/chronologisch/detail/betriebsgebäude-fa-elobau-in-probstzella/>, abgerufen am 20.02.2022

Tragwerk

Das Tragwerk der Halle wurde so konzipiert, um 25 Meter frei zu überspannen. Auf Wunsch der Architekten entwickelten die Tragwerksplaner eine möglichst filigrane Tragstruktur aus Streben-Fachwerkträgern und Holzstützen. Aufgrund der hohen Zug- und Druckfestigkeit wurde für die Träger Buchen-Furnierschichtholz gewählt. Dadurch ließen sich Fachwerkträger mit geringer Bauhöhe und gleichzeitig schlanken Bauteilen realisieren. Im Vergleich zu herkömmlichen BSH-Trägern beträgt die Materialersparnis aufgrund der schlanken Dimensionierung der Bauteile rund 42 Prozent.¹⁸⁵



Abb: 48. Tragwerk Produktionshalle

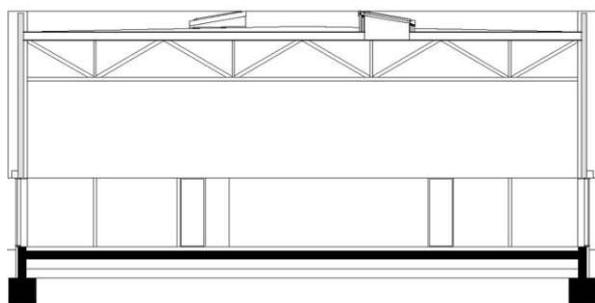


Abb: 49. Querschnitt

Nachhaltigkeit

Tabelle: 10. Übersicht Nachhaltigkeitsbewertung

Materiallebenszyklus	Gebäudelebenszyklus
Optimierung der Rohstoffgewinnung	Materialfokussierung und konstruktive Reduktion
Einsatz ressourcenschonender Baustoffe	Funktionsüberlagerung
Modul-/Systembau	reduzierter Betriebsaufwand
Verwendung gesundheitlich unbedenklicher Baustoffe	reduzierter Instandhaltungsaufwand
Rückführung in den Materialkreislauf	Optimierung von Austausch- und Instandhaltungsprozessen
	recyclinggerechtes Konstruieren

¹⁸⁵ Vgl. [https://www.proholz.at/zuschnitt/64/hallen-und-dachtragwerke.abgerufen am 20.02.2022](https://www.proholz.at/zuschnitt/64/hallen-und-dachtragwerke.abgerufen%20am%2020.02.2022)

5.) Produktionshalle mit Büro, Zimmerei, Feldkirch, Österreich



Abb: 50. Produktionshalle, Verwaltung und Silo



Abb: 51. Baukörper Zimmerei kompakt

Der Neubau des Betriebsgebäudes mit einer Produktionshalle sowie angebauten Büro sollte vor allem die ökologische Arbeitsweise des Unternehmens widerspiegeln. Die Baukörper sind aufgrund von zuvor festgelegten Entwurfsparametern kompakt gehalten und können nach Bedarf in Richtung Süden erweitert werden. Sowohl die Produktionshalle als auch der nach Norden vordringende Verwaltungsriegel bilden einen gemeinsamen Zugangsraum. Nochmals hervorgehoben wird dieser Punkt durch den angebauten Rundsilo. Durch die transparent gestaltete Nordfassade wird ein ständiger Blickkontakt zum Außenraum hergestellt. Außerdem sorgt diese für eine blendfreie Belichtung der Produktionshalle.¹⁸⁶

Um die Baukosten für das gesamte Betriebsgebäude zu senken, wurde eine minimierte Tragwerkskonstruktion entwickelt.¹⁸⁷

186. Vgl. I.Holz! S.184

187. Vgl. I.Holz! S.185

Tragwerk

Das Tragwerk der Fertigungshalle wurde mit einem Achsraster von 2 Meter konstruiert. Sowohl die Stützen als auch die Dachträger wurden aus Brettschichtholz gefertigt. Die Stützen weisen einen Querschnitt von 12/43 Zentimeter und die Träger von 12/98 Zentimeter auf. Ebenfalls übernehmen die Stützen die Lasten der Kranbahn, zudem wurden aufwändige Auflagerkonsolen für die Kranbahn vermieden. Um einen eleganteren Übergang zwischen Stützen und Dachträgern zu ermöglichen, wurden diese am Auflager ausgeklinkt. Für die Aussteifung der Horizontalkräfte sorgen die geschlossenen Fassadenelemente der Ost- und Westwand.¹⁸⁸

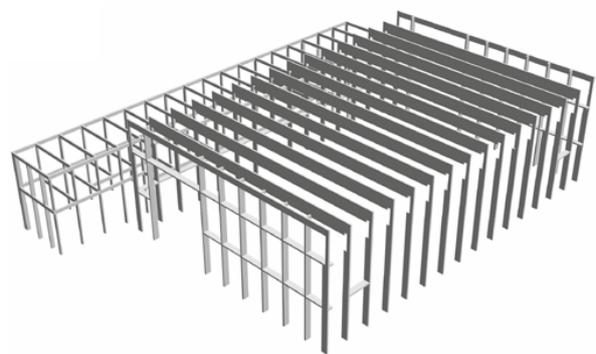


Abb: 52. Isometrie Tragwerk



Abb: 53. Tragwerk Produktionshalle

Nachhaltigkeit

Tabelle: 11. Übersicht Nachhaltigkeitsbewertung

Materiallebenszyklus	Gebäudelebenszyklus
Optimierung der Rohstoffgewinnung	Materialfokussierung und konstruktive Reduktion
Einsatz ressourcenschonender Baustoffe	Funktionsüberlagerung
Modul-/Systembau	reduzierter Betriebsaufwand
Verwendung gesundheitlich unbedenklicher Baustoffe	reduzierter Instandhaltungsaufwand
Rückführung in den Materialkreislauf	Optimierung von Austausch- und Instandhaltungsprozessen
	recyclinggerechtes Konstruieren

¹⁸⁸. Vgl. I.Holz! S.185

6.) Produktionshalle, Frankenthal/Pfalz, Deutschland



Abb: 54. Produktionshalle



Abb: 55. Ansicht Giebelwand

Den Neubau einer Prüf- und Montagehalle realisierte der Pumpenhersteller KSB AG im Jahr 2009, in seinem Stammwerk in der Pfalz. Die Industriehalle wurde als zweiseiffige Shedhalle in Stahlskelettbauweise konstruiert. Die Abmessungen der beiden Schiffe betragen jeweils 30 m in der Breite und 168 m in der Länge. Aufgrund der gut durchdachten Konstruktionslösung, konnte eine äußerst wirtschaftliche Stahlkonstruktion ausgeführt werden (ca. 1200 t). Das Hallendach wurde klassisch als Warmdach mit gleichbleibender Wärmedämmung und aufgesetzten Sheds konstruiert.¹⁸⁹

Der Sockel der Fassadenkonstruktion besteht aus einem massiven Frostriegel. Darüber befindet sich eine großflächige Pfosten-Riegelverglasung, sowie C-Kassetten mit eingelegter Wärmedämmung und vertikal strukturiertem Trapezblech als Fassade.¹⁹⁰

189. Vgl. [GrKo] S.38
190. Vgl. [GrKo] S.38

Tragwerk

Das Dachtragwerk besteht aus 30 m freigespannten Fachwerbindern. Dazwischen liegen im Abstand von 12 m Stahlpfetten sowie ein Stahlleichtdach. Aufgrund der Anforderung eines 80 t Brückenkrans bei einer Hakenhöhe von rund 10 m sowie gleichzeitiger Integration der technischen Ausrüstung ergab sich eine Traufenhöhe von 15 m und eine Höhe von 17,5 m am Shedoberlicht ¹⁹¹



Abb: 56. Isometrie Tragwerk

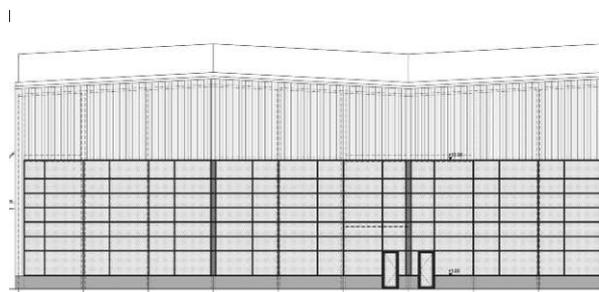


Abb: 57. Ansicht Nord

Nachhaltigkeit

Tabelle: 12. Übersicht Nachhaltigkeitsbewertung

Materiallebenszyklus	Gebäudelebenszyklus
Optimierung der Rohstoffgewinnung	Materialfokussierung und konstruktive Reduktion
Einsatz ressourcenschonender Baustoffe	Funktionsüberlagerung
Modul-/Systembau	reduzierter Betriebsaufwand
Verwendung gesundheitlich unbedenklicher Baustoffe	reduzierter Instandhaltungsaufwand
Rückführung in den Materialkreislauf	Optimierung von Austausch- und Instandhaltungsprozessen
	recyclinggerechtes konstruieren

¹⁹¹ Vgl. IGrKo S.38

Tabelle: 13. Übersicht Referenzbeispiele

ÜBERSICHT		
POSITION	TYP	FLÄCHE
1.) 	Produktionshalle	2700 m²
2.) 	Produktionshalle	1500 m²
3.) 	Produktionshalle	1000 m²
4.) 	Produktionshalle	1150 m²
5.) 	Produktionshalle	472 m²
6.) 	Produktionshalle	5040 m²

ÜBERSICHT			
TRAGWERK	SPANNWEITE	Materialzyklus	Gebäudezyklus
Stahlbeton	23 m	~	~
Mischbau	30 m	+	~
Mischbau	20 m	+	~
Holz	25 m	+	+
Holz	15 m	+	+
Stahl	30 m	~	+

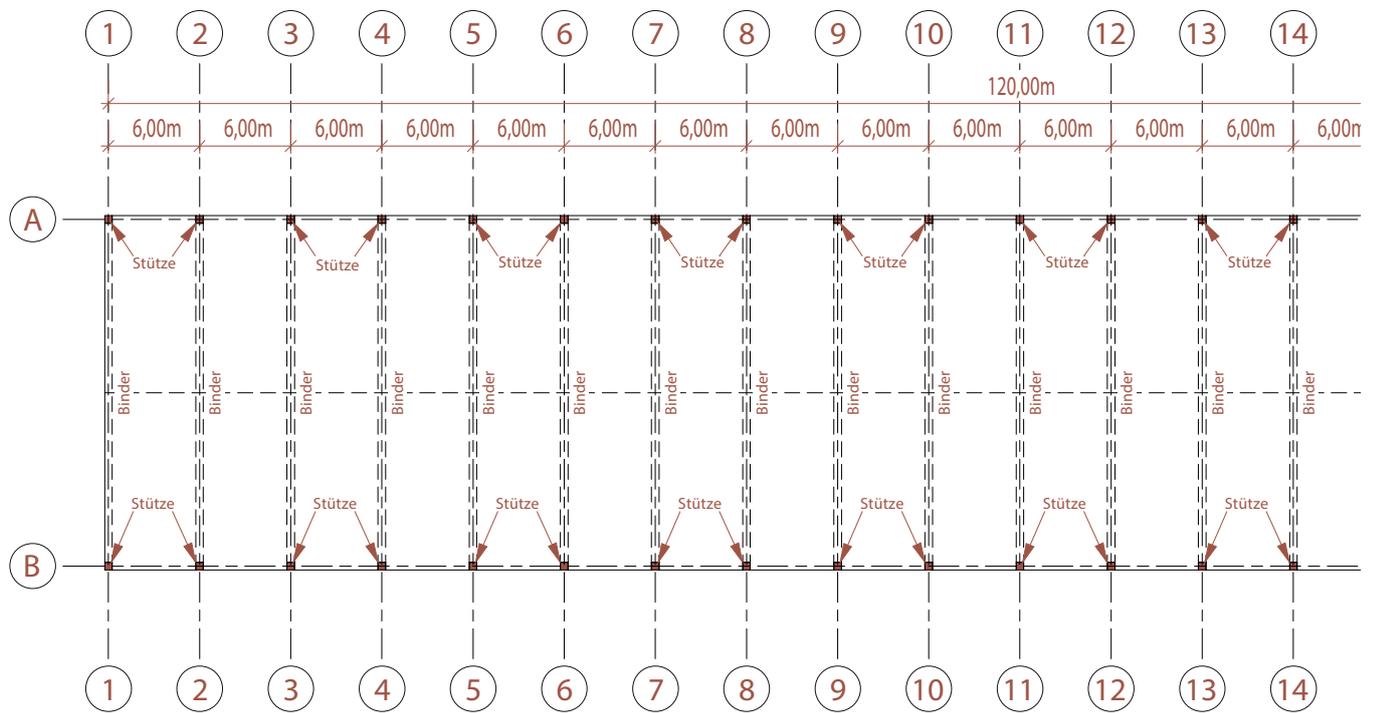


Abb: 58. Grundriss Tragwerksplan - Referenzobjekt 1

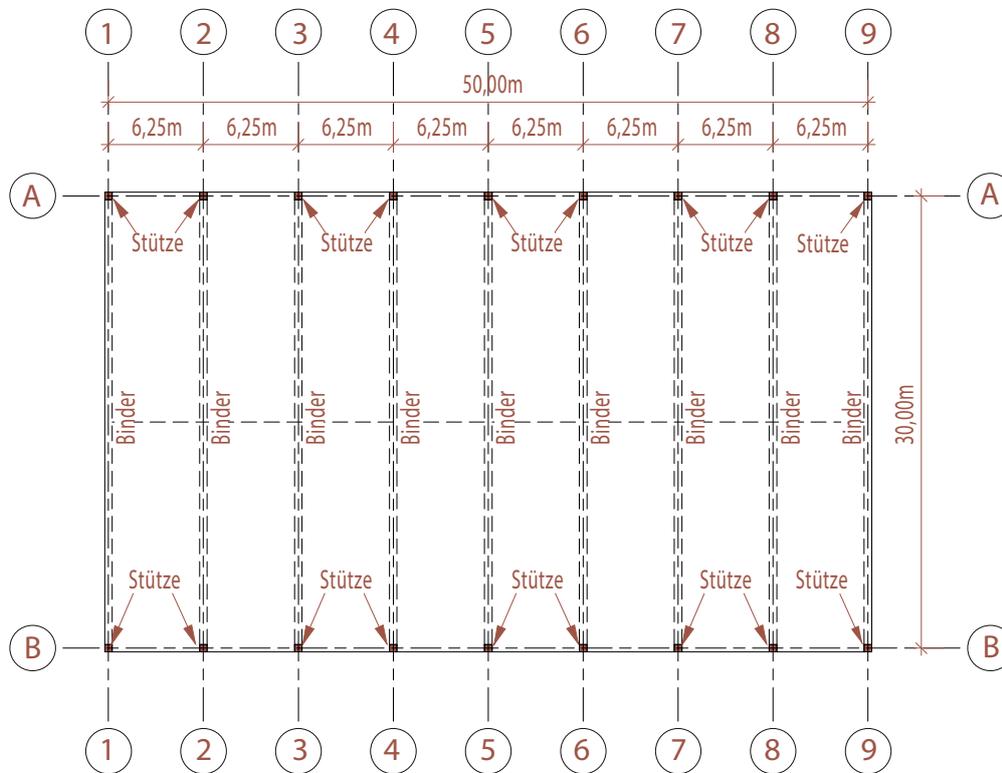


Abb: 59. Grundriss Tragwerksplan - Referenzobjekt 2

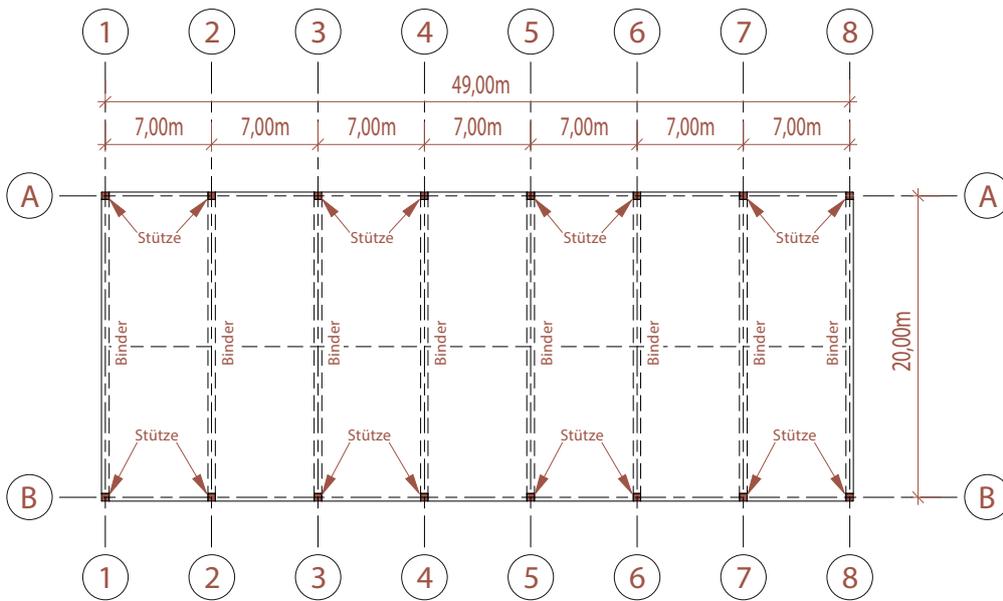
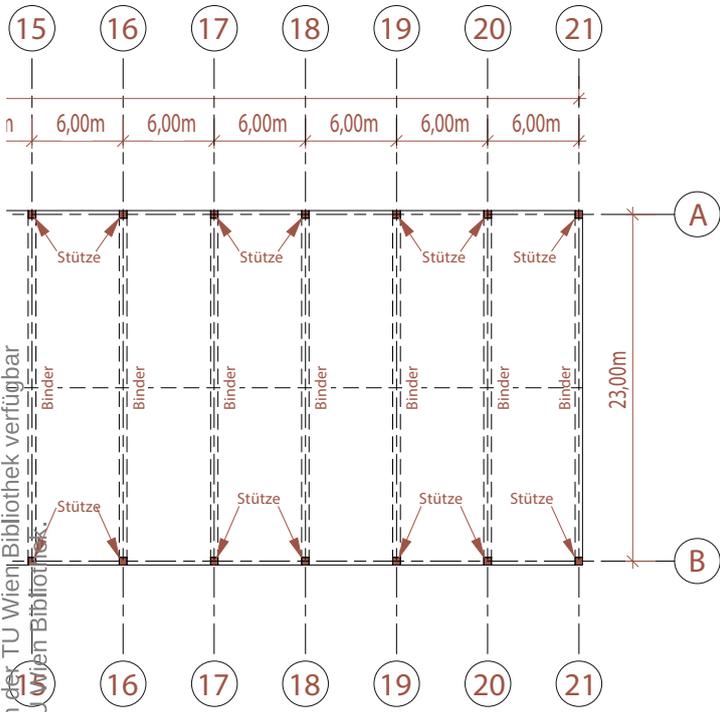


Abb: 60. Grundriss Tragwerksplan - Referenzobjekt 3

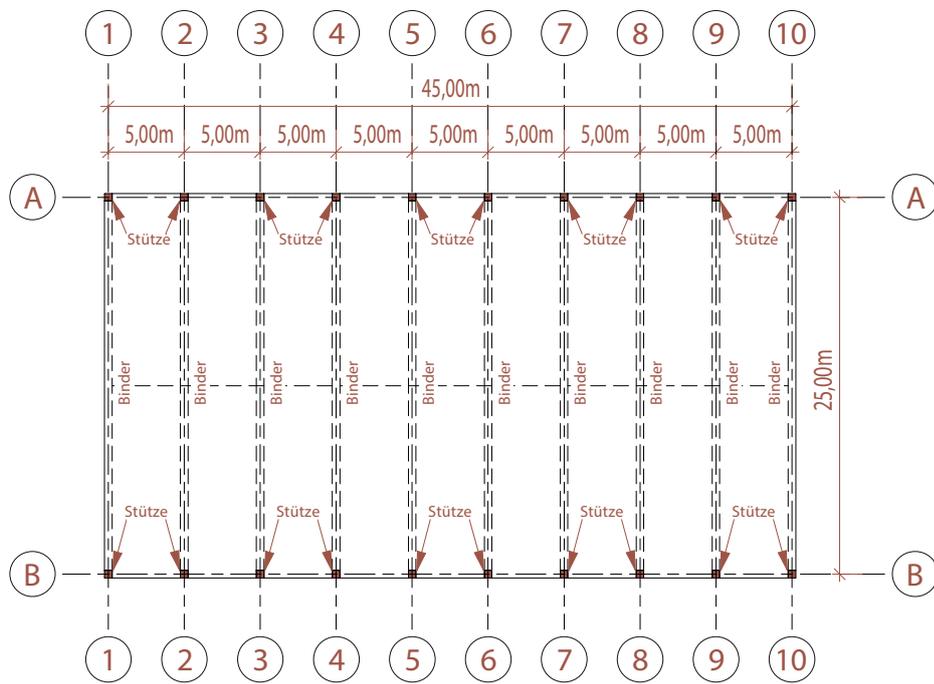


Abb: 61. Grundriss Tragwerksplan - Referenzobjekt 4

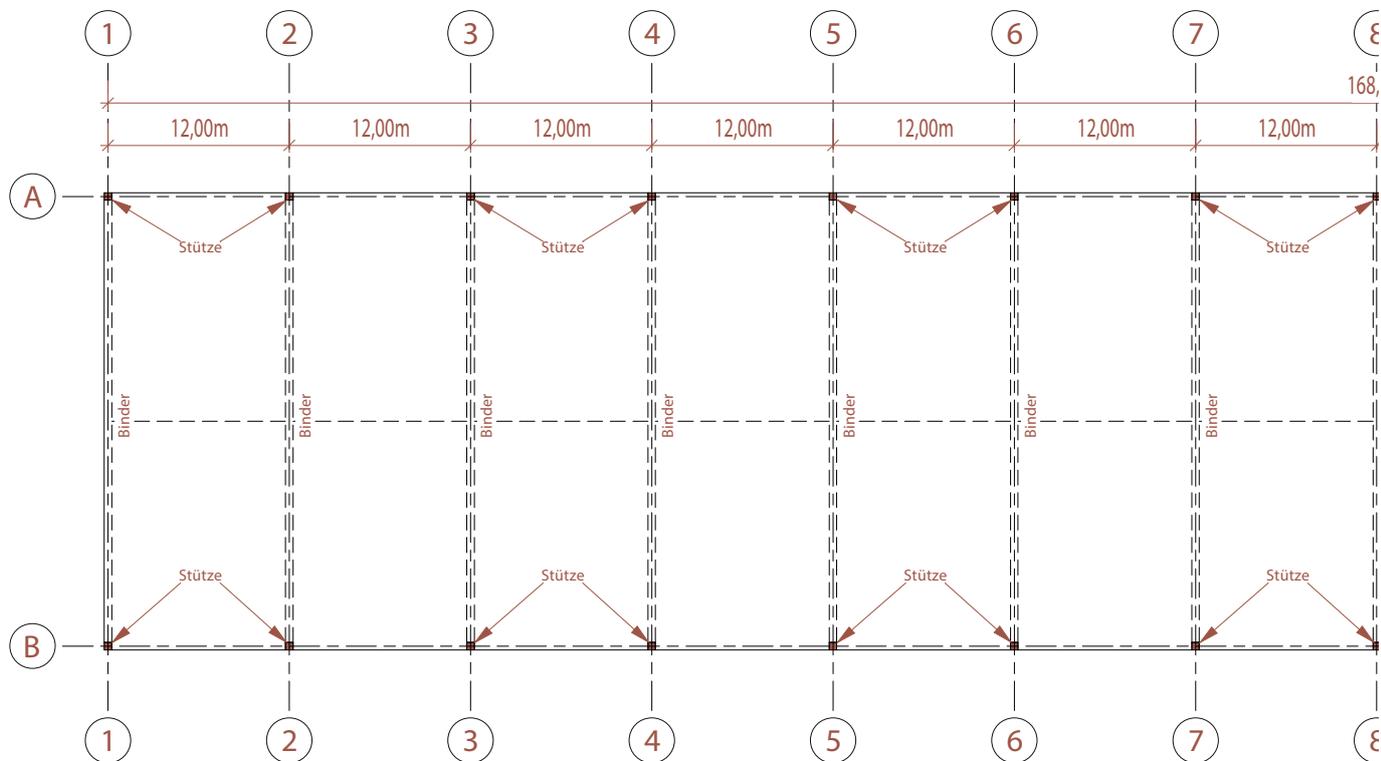


Abb: 62. Grundriss Tragwerksplan - Referenzobjekt 6

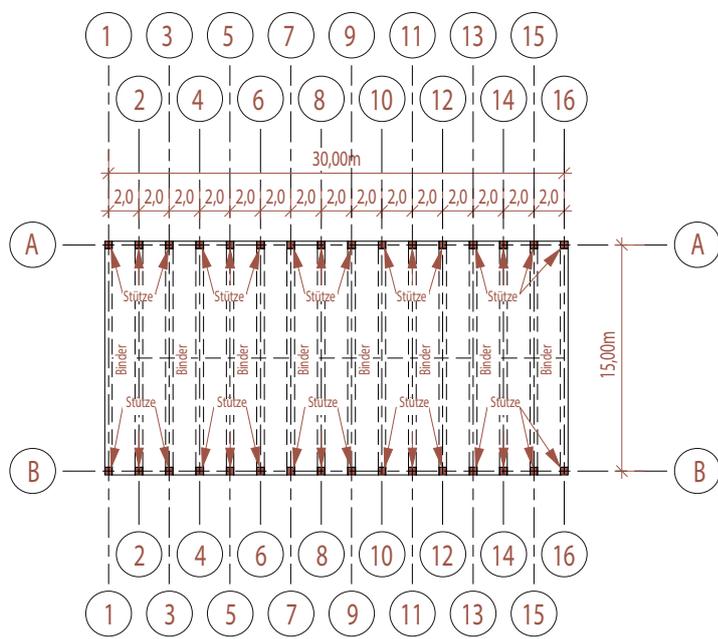
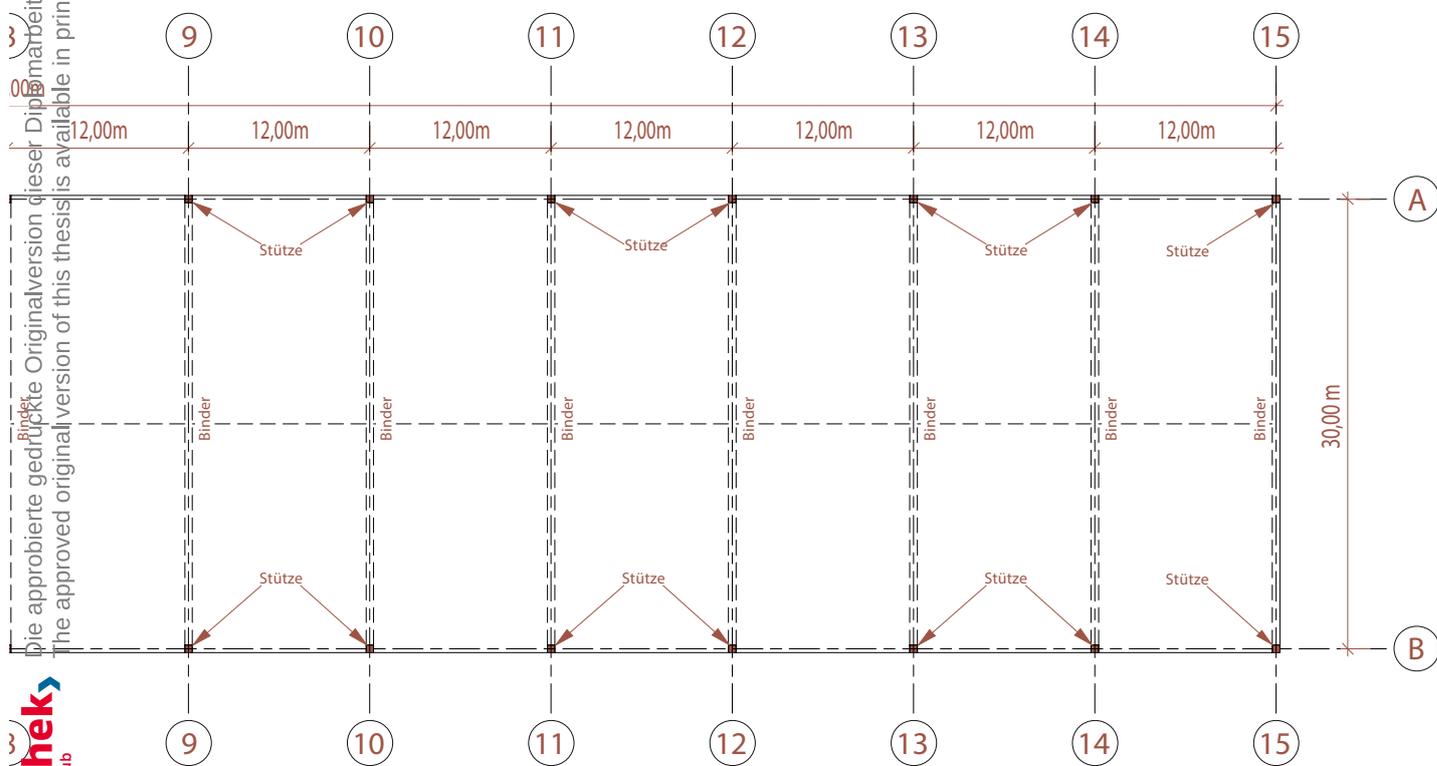


Abb. 63. Grundriss Tragwerksplan - Referenzobjekt 5



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.

4.2 ENTWURF

Damit ein nachhaltiger Vergleich unterschiedlicher Bauweisen auch sinnvoll ist, ist es notwendig, Gebäude/Objekte zu entwerfen, die gegenübergestellt werden können. Wichtig dabei ist, eine gleiche Ausgangsbasis für all die zu vergleichenden Objekte zu schaffen. Als Grundlage für den Systementwurf dient zum einen die Analyse der Referenzobjekte und die daraus gesammelten Eindrücke sowie die aus dem Kapitel 2.0 Grundlagen geschaffene Basis.

Als Vergleichsobjekt wird eine Produktionshalle mit angebauten Bürotrakt entworfen, jedoch wird für den nachhaltigen Vergleich nur die Produktionshalle näher betrachtet. Die tragende Struktur der Halle wird materialspezifisch in Holzbauweise, Stahlbauweise, Stahlbetonbauweise und in Mischbauweise (Holz + Stahlbeton) ausgeführt. Für die einzelnen Konstruktionsweisen gelten die gleichen Anforderungen sowie die gleichen Gebäudemaße. Ebenfalls werden im Vorfeld Ausgangsbedingungen und Entwurfparameter definiert, um für alle Bauweisen die gleiche Ausgangsbasis zu schaffen. Zudem ist es notwendig, die zu vergleichenden Elemente nach denselben Kriterien zu definieren. Hierfür werden die Bauteile gemäß den OIB-Richtlinien dimensioniert.

Für den Vergleich wird eine Liegenschaft in einem Industriegebiet ausgewählt, um zum einen gleiche Umwelteinflüsse sowie ortsspezifische Bedingungen für die unterschiedlichen Varianten zu schaffen und zum anderen den Bezug zur Realität herzustellen.

Entwurf

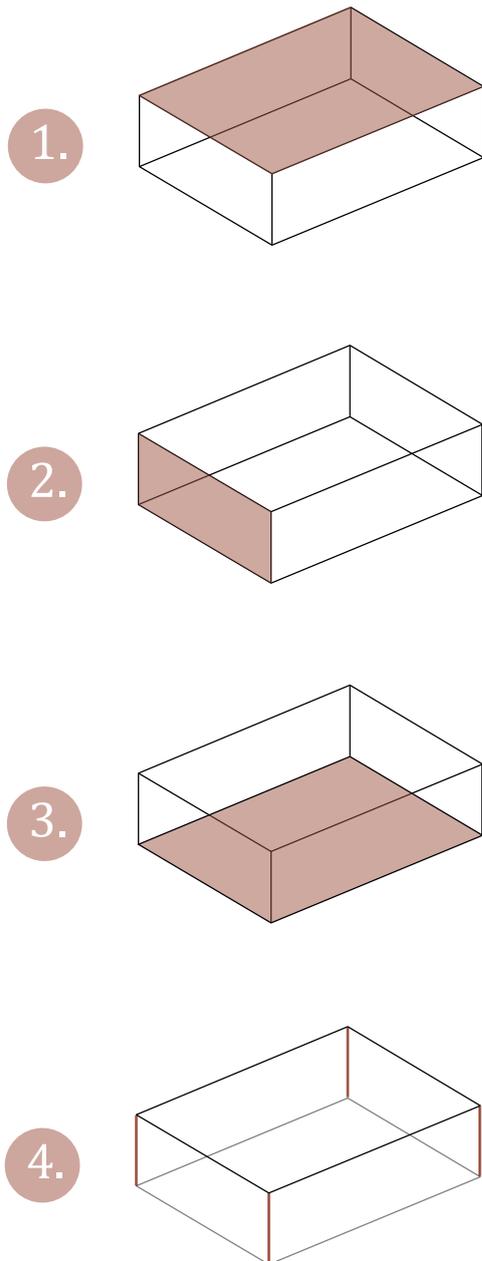
Das ca. 17.000 m² große Baugrundstück befindet sich in einem relativ neu aufgeschlossenen Industriegebiet. Durch die gute Verkehrsanbindung und die Nähe zur Autobahn schafft dieses Grundstück ideale Ausgangsbedingungen für kleine und mittelgroße Unternehmen. Ebenfalls wurde bei der Wahl des Grundstücks an spätere Erweiterungsmöglichkeiten gedacht. Diese können bei der Größe des Grundstücks entweder als Erweiterung der bestehenden Produktionshalle oder als eigenständige Halle erfolgen.

Im vorderen Teil des Grundstücks befindet sich der Bürotrakt, welcher auf zwei Ebenen sowohl Büroräume als auch Aufenthaltsräume beinhaltet. Angedockt an dem Bürogebäude befindet sich die Produktionshalle, welche für den nachhaltigen Vergleich betrachtet wird. Die Produktionshalle wird als einschiffige Halle, also ohne Mittelstützen mit den Maßen 90 m x 30 m ausgeführt.

4.2.1 ANFORDERUNGEN AN DIE PRODUKTIONSHALLE

Wie in Kapitel 2.0 bereits erwähnt, müssen vor Beginn der Planung die Anforderungen ermittelt werden, um die Zielsetzung definieren zu können. Diese Anforderungsermittlung wird mithilfe des Prozessmittelmodells nach Nyhuis und Reichardt durchgeführt und betrachtet nur die Produktionshalle.

Das Modell folgt allgemeinen Basisanforderungen, die sich in neun Kategorien unterteilen lassen. Die Kategorien eins bis drei stellen grundlegende Anforderungen, wie zum Beispiel die zu berücksichtigenden Lasten an Wände, Decken und Boden dar. Die geometrischen Anforderungen, welche den Raum bestimmen, werden von den Kategorien vier bis sechs abgedeckt. Die Kategorien sieben und acht bestimmen zum einen die Anforderungen an die Umgebung, wie zum Beispiel Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftreinheit sowie zum anderen an den Brandschutz. Außerdem gibt es noch die Kategorie neun. Diese befasst sich mit den Anforderungen bezüglich benötigter Medienanschlüsse. Diese Kategorie wird jedoch nicht näher betrachtet, da Sie für den Systementwurf nicht relevant ist.



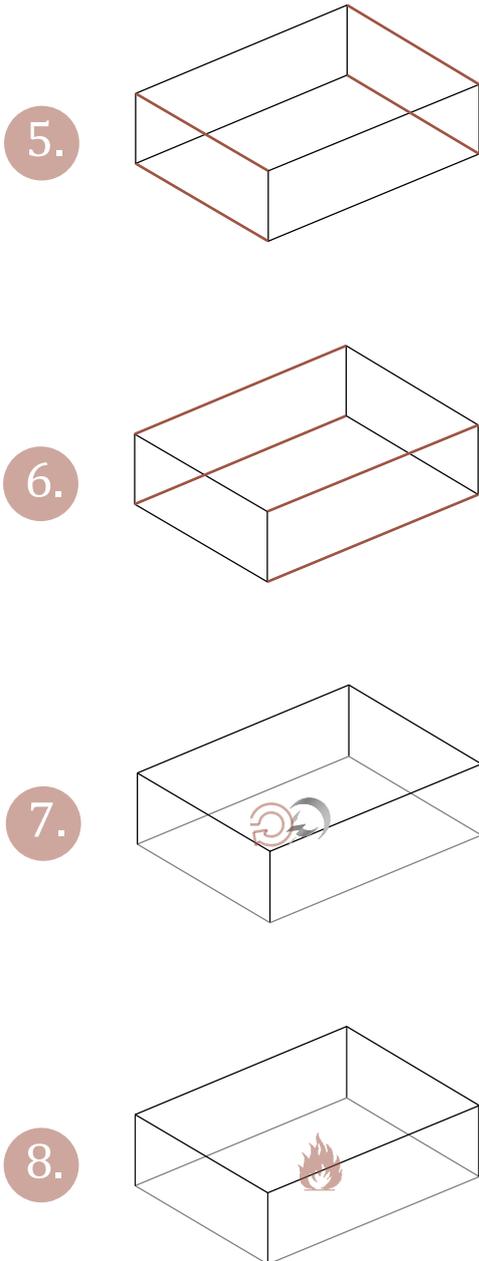
- 1.) Anforderungen an das Hallendach
- Trennung Innen- und Außenraum
 - Lastenaufnahme (Schnee, Wind)
 - Lichtbänder am Dach
 - Keine Dachpfetten

- 2.) Anforderungen an die Hallenwände
- Barriere Innen- und Außenraum
 - Lastenaufnahme (Wind)
 - Öffnungen Türe und Tore
 - vertikale Fensterbänder

- 3.) Anforderungen an den Hallenboden
- Lasten Produktionsmaschinen
 - Nutzfläche

- 4.) Anforderungen an die Hallenhöhe
- Gleichbleibende Hallenhöhe
 - Flexibilität
 - Gerade Binderunterkante

Abb: 64. Kubus als Raumeinheit Kategorie 1-4



5.) Anforderungen an die Hallentiefe

- Nutzfläche
- Arbeitsplätze
- Flexibilität
- Stützenfrei

6.) Anforderungen an die Hallenbreite

- Keine Mittelstützen
- Flexibilität
- Binder spannen über gesamte Hallenbreite

7.) Anforderungen an die Umgebung

- Gute Anbindung Straßennetz
- Bauplatz aufgeschlossen

8.) Anforderungen an den Brandschutz

- Konstruktion gemäß Brandschutz
- Keine Brandschutzmeldeanlage

Abb: 65. Kubus als Raumeinheit Kategorie 5-8

Anders als bei der Fabrikplanung, wo im ersten Schritt mehrere Basiskuben zu Bereichskuben zusammengefasst werden, ist in diesem Fall nur ein Basiskubus (Produktionshalle) vorhanden. Dies bedeutet, dass der Schritt der Gruppierung entfällt und gleich mit der Zusammenführung des Prozessmodells und den Raummodellen der Architektur begonnen werden kann. Zuletzt folgt dann die statische Ausarbeitung anhand der unterschiedlichen Materialien.

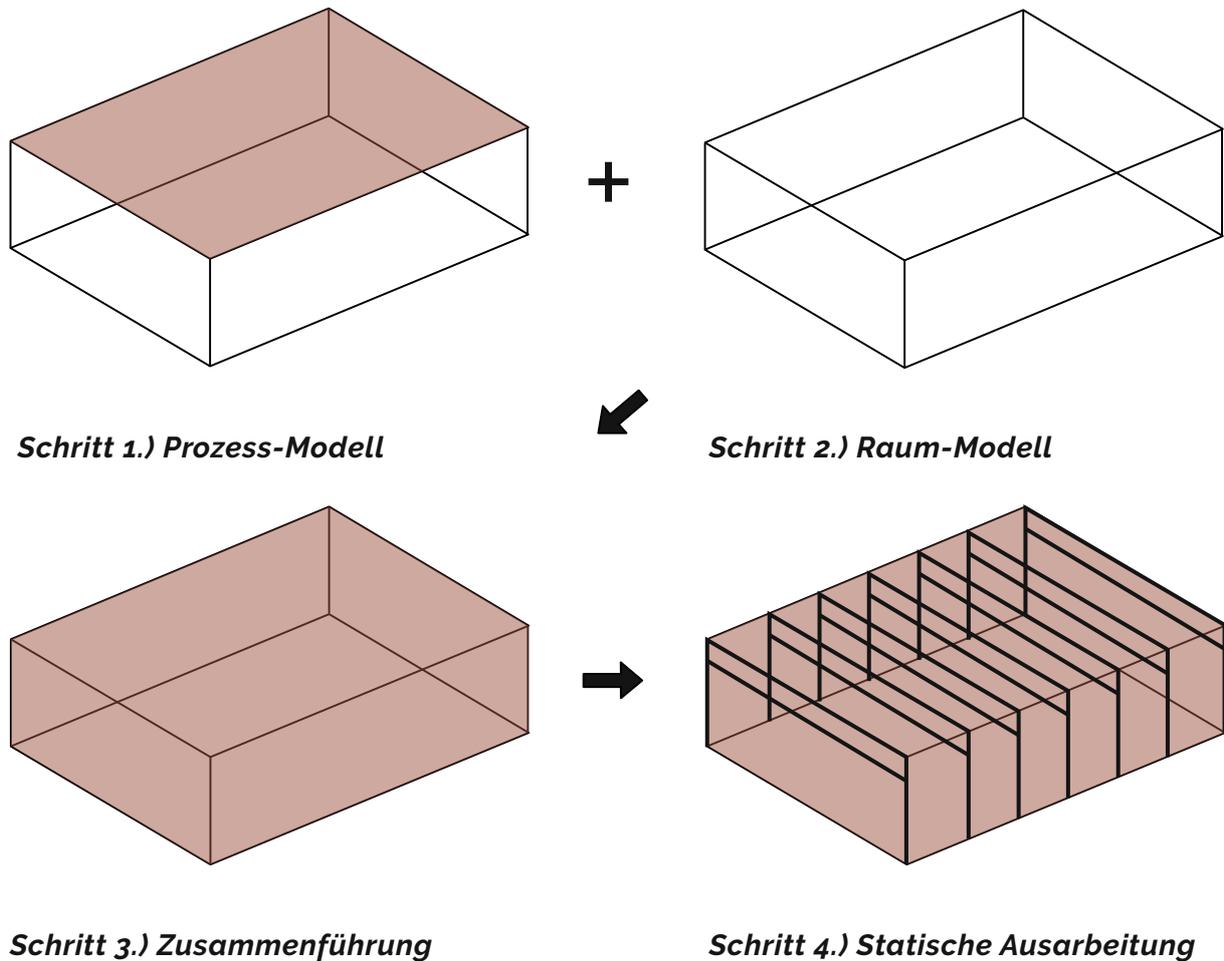


Abb: 66. Zusammenführung Prozess und Raum

4.2.2 BAUPLATZ

Das rund 17.000 m² große, in einem relativ neu aufgeschlossenen Industriegebiet befindliche Baugrundstück eignet sich durch seine Lage gut für den Bau der geplanten Produktionshalle.

Das Grundstück selbst ist ca. 185 m lang und 90 m breit sowie Nord-Süd orientiert. Wie im Lageplan, Abb. 67 ersichtlich, befindet sich die Zufahrt zum Grundstück an der Südseite. Dort gibt es zum einen die Zufahrt zum Bürogebäude für Mitarbeiter und Kunden und zum anderen die Zufahrtsstraße für die Lastkraftwagen, welche an der Nordseite der Halle andocken können. Entlang der Zufahrtsstraße befinden sich die Parkplätze für die Mitarbeiter.

Ebenfalls gut ersichtlich ist die Situierung der Baukörper mit dem Bürogebäude ganz im Süden und der anschließenden Produktionshalle. Bei der Wahl des Grundstücks wurde schon im Vorfeld an eine mögliche Erweiterung der Produktionshalle gedacht. Diese ist im Lageplan parallel zur Produktionshalle angeordnet. Auch eine Erweiterung der bestehenden Produktionshalle in Längsrichtung wäre möglich.

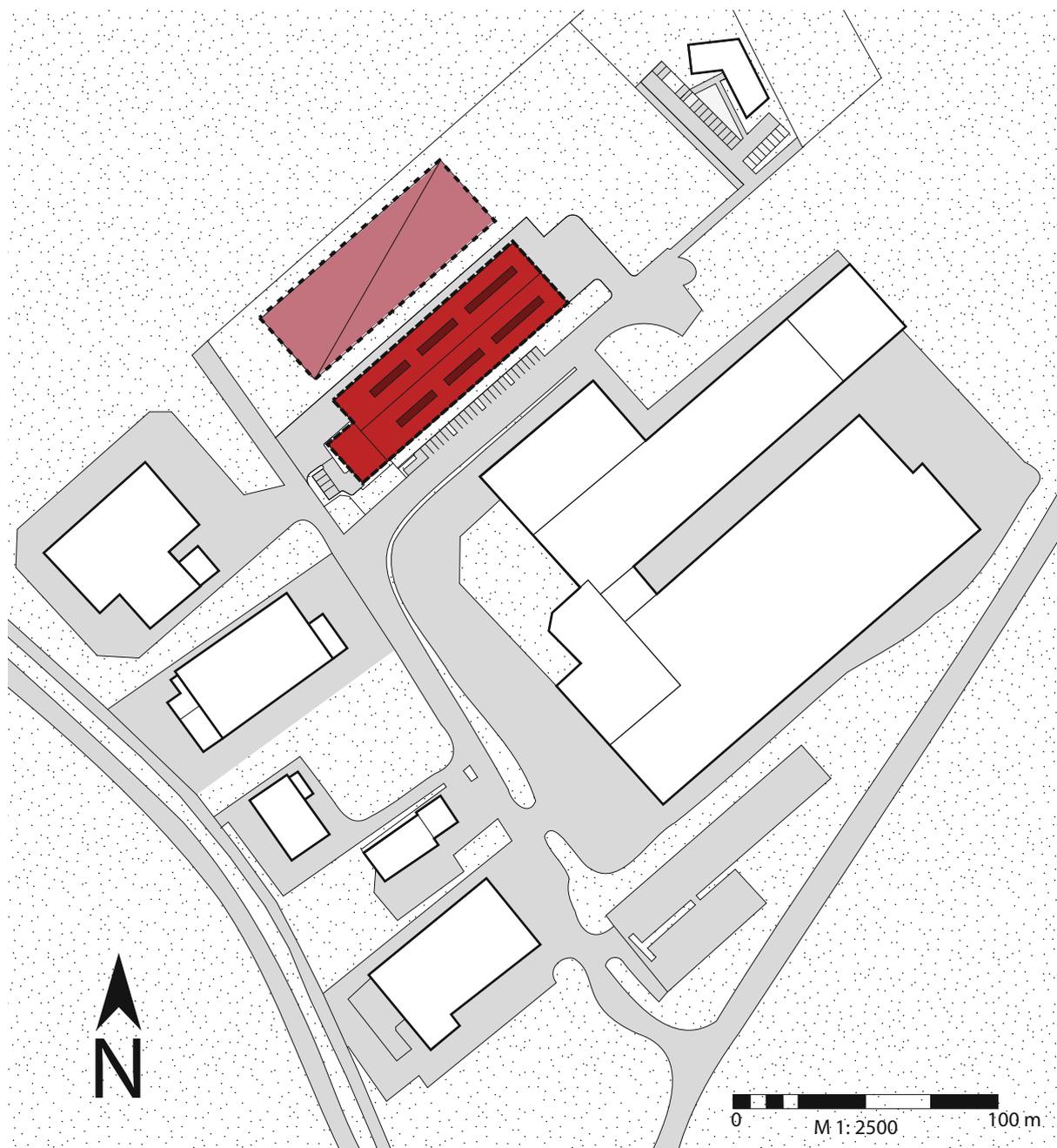


Abb: 67. Lageplan Systementwurf

4.2.3 AUSGANGSBEDINGUNGEN UND ENTWURFSPARAMETER

Bevor ein Systementwurf ausgearbeitet werden kann, ist es wichtig, zuvor definierte Ausgangsbedingungen sowie Entwurfparameter festzulegen, um aussagekräftige Ergebnisse beim Vergleich von Gebäuden zu erhalten. Neben den gebäudespezifischen Aspekten wie Abmessungen, Größe und Nutzung, ist vor allem auf Umwelteinflüsse wie Schnee, Wind oder Regen zu achten. Ebenfalls muss bedacht werden, dass der Ausbauzustand der Vergleichsobjekte derselbe sein muss, um einen sinnvollen Vergleich ziehen zu können. Zudem ist es notwendig, die zu vergleichenden Elemente nach denselben Kriterien zu definieren. Neben der Tragfähigkeit, welche das Hauptkriterium eines Elements darstellt, müssen Bauteile Anforderungen gemäß den OIB - Richtlinien erfüllen, um verwendet werden zu dürfen. Ist dies alles nicht der Fall, hat auch der daraus resultierende Vergleich keinen Mehrwert, da die Ergebnisse auf einer unterschiedlichen Ausgangsbasis beruhen.

Sämtliche Bauweisen und Bauteile wurden so gewählt, um typischen Standardlösungen im Industrie- und Gewerbebau zu entsprechen. Sonderkonstruktionen werden nicht betrachtet.

- ***Idente Umgebung***
Die Vergleichsobjekte befinden sich alle auf demselben Bauplatz, mit den ident gleichen Abmessungen und Umwelteinflüssen. Auch die Orientierung der Baukörper ist in allen fünf Objekten die gleiche.
- ***Idente Nutzung***
Ein weiterer wichtiger Faktor ist die gleiche Nutzung der Objekte. Alle Bauweisen werden als Produktionshalle genutzt.

Idente Fertigung

Für alle Bauweisen werden sämtliche Bauteile im Werk produziert (Vorfertigung)

Identer Transport

Alle Bauteile/Elemente werden mittels LKW zur Baustelle transportiert.

Ressourceneffizienter Einsatz von Materialien

Bei nachhaltigen Gebäuden ist der effiziente Einsatz von Materialien ein wichtiger Faktor. Die Optimierung des Materialverbrauchs und der effiziente Einsatz der Baustoffe steht dabei im Vordergrund. Ebenfalls ein Aspekt des ressourceneffizienten Bauens ist der Einsatz von ökologisch vorteilhaften Baustoffen.

Entwurfparameter

Die zuvor hier festgelegten Entwurfparameter sind gültig für alle Bauweisen und schaffen somit eine gleiche Ausgangsbasis für die unterschiedlichen Varianten.

Abmessungen

Die Abmessungen der Produktionshalle betragen 90 Meter Länge und 30 Meter Breite.

Hallensystem

Alle Bauweisen werden als einschiffige Hallenkonstruktion, d. h. ohne Mittelstützen, ausgeführt. Die Binder spannen dabei frei über die gesamte Hallenbreite. Als Grundlage für dieses System fungiert der Stützenraster.

Stützenraster

Der Abstand von Stütze zu Stütze beträgt im Hallenbau üblicherweise 5,0 – 7,0 m. Oftmals wird dieser Abstand auch als Binderabstand angegeben. Im Systementwurf werden alle Hallenvarianten mit einem Binderabstand von 6,0 m konzipiert.

Raumhöhe

Im Hallenbau wird als Raumhöhe zumeist die Binderunterkante festgelegt, da diese die maximale Lagerhöhe definiert. Im Beispiel ist diese mit 7,0 m für alle Varianten anzunehmen.

Spannweite

Die Binder werden in allen Bauweisen frei über die gesamte Hallenbreite von 30,0 m gespannt.

Brandschutz

Die tragenden und aussteifenden Bauteile der Hallenkonstruktion müssen aufgrund der Hallenfläche R30 aufweisen (Sicherheitskategorie K 1). Dies in der OIB 2.1 Brandschutz für Betriebsbauten nachzulesen.

Dachneigung

Dachneigung 2 Grad

Gebäudehülle

Die Gebäudehülle besteht aus der Bodenplatte, der Außenwand und dem Dach. Für die Belichtung der Halle sorgen insgesamt 14 vertikale Fensterbänder, sieben Stück auf jeder Längsseite der Außenwand. Zudem befinden sich am Dach sechs Lichtbänder, um die nötige Belichtungs- sowie Belüftungsmenge sicherzustellen. Die beiden Faktoren sind in der Bundesarbeitsstättenverordnung geregelt.

Zudem befinden sich zwei Sektionaltore, jeweils eins auf jeder kurzen Seite, und sechs Türen in der Gebäudehülle, um die Fluchtweglängen einzuhalten.

- Bodenplatte
- 14 vertikale Fensterbänder (7 je Längsseite)
- 2 Sektionaltore (1 je Kurzseite)
- 6 Türen (Fluchtweglänge)
- 6 Dachlichtbänder (RWA Brandschutz)

Lastannahmen

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| - Dachaufbau | 0,45 KN/m ² |
| - Wandaufbau | 0,20 KN/m ² |
| - Schneelast (Zone 2) | 1,62 KN/m ² |
| - Windlast (Zone 1) | 0,32 KN/m ² |
| - Installationslast | 0,10 KN/m ² |
| - PV-Anlage | 0,25 KN/m ² |

4.2.4 ENTWURF

Für den nachhaltigen Vergleich wird eine Produktionshalle mit angebautem Bürotrakt entworfen. Da der Fokus dieser Arbeit auf der Hallenkonstruktion liegt, wird auch nur diese näher betrachtet. (siehe Abb. 68)

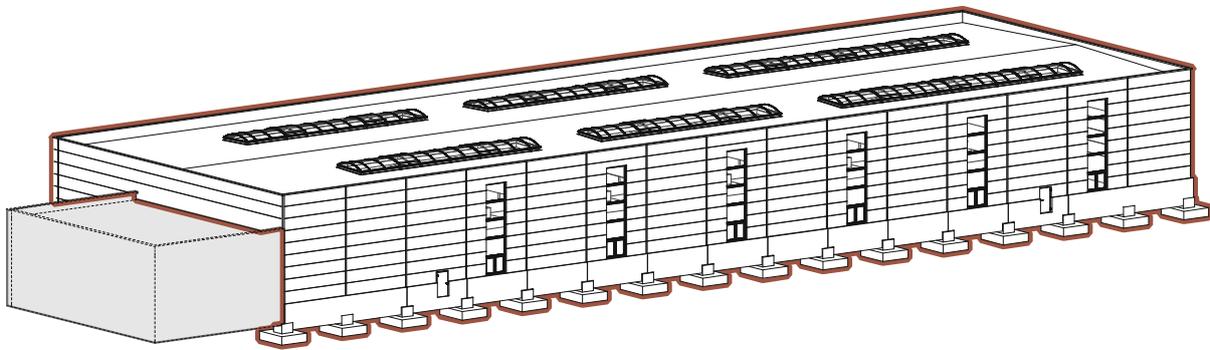


Abb: 68. Fokus Produktionshalle

Die Grundlage für die Tragwerkskonstruktion der Produktionshalle bildet ein Achsraster, welcher im 6.0 Meter Abstand auf einer Länge von 90.0Meter angeordnet ist. Die Hallenbreite beträgt 30.0 Meter (Achse A zu Achse B),siehe Abb. 69.

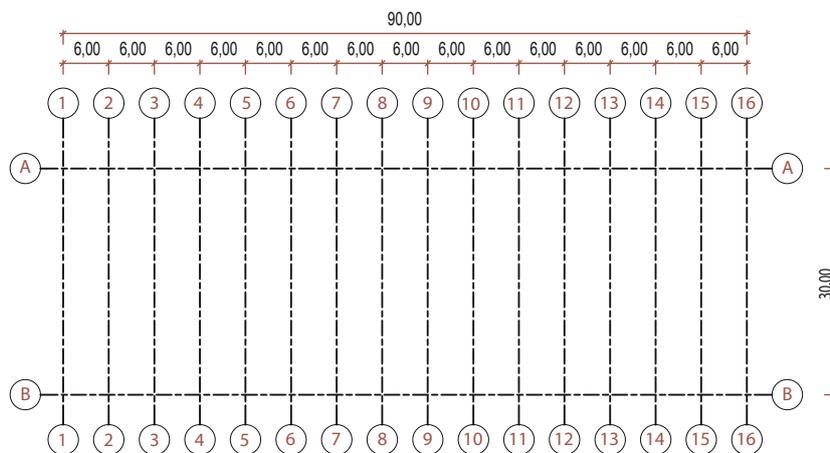


Abb: 69. Achsraster Systementwurf

In der Abb. 70 sieht man, dass alle 6,0 Meter von Achse 1 bis Achse 16 eine Stütze sitzt und die Binder (strichlierte braune Linie) über die gesamte Hallenbreite, ohne Mittelstützen, von Achse A bis Achse B spannt. Dies ermöglicht auch bei einer späteren Änderung des Produktionsablaufes den Grad an Flexibilität hoch zu halten. Die strichlierte Linie in Hallenmitte gibt den Firstpunkt der Binder an. Von dieser aus neigt sich das Dach mit 2 Grad Neigung zu den Längsseiten der Halle.

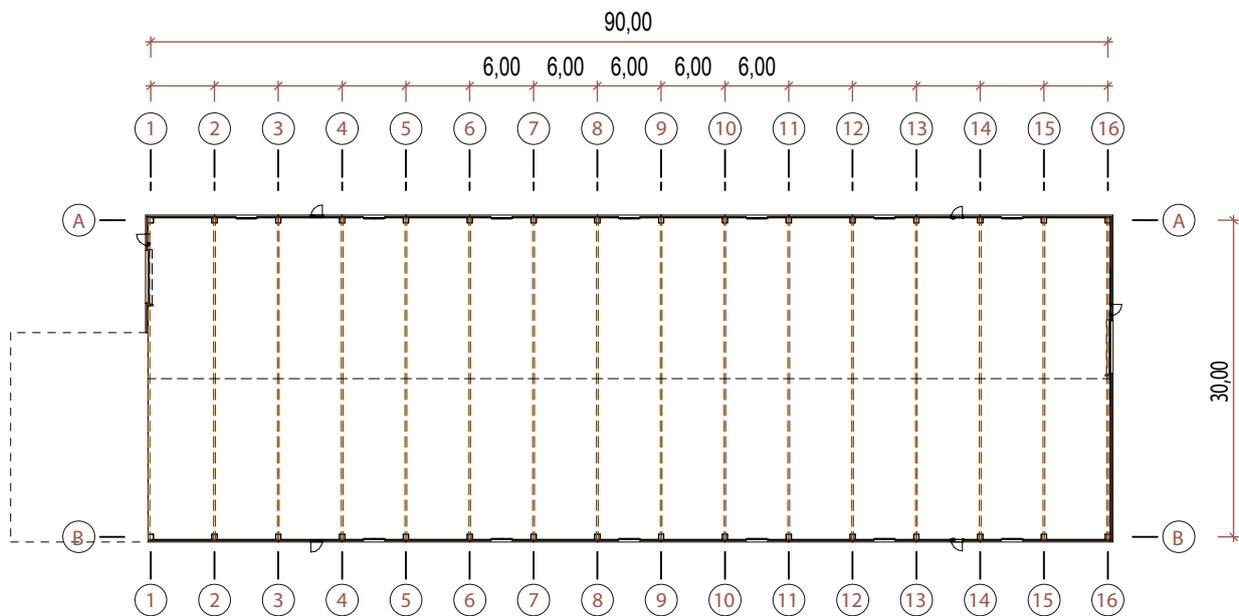


Abb. 70. Grundriss Systementwurf

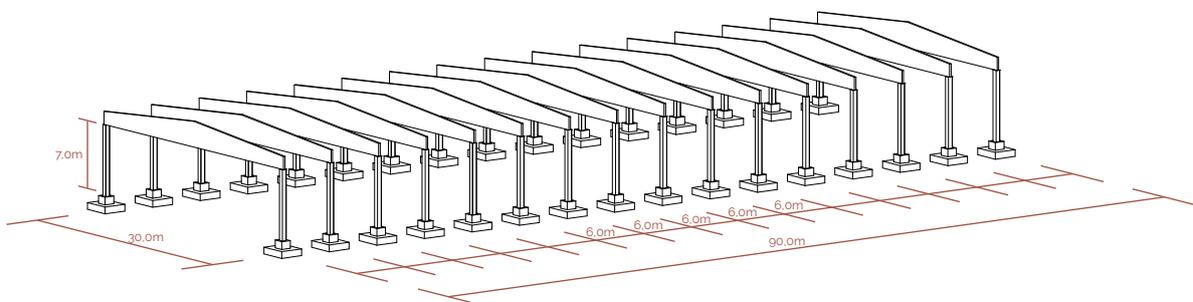


Abb. 71. Tragwerkskonstruktion Systementwurf

Abb. 71 zeigt die Anordnung der Stützen und Binder im 6,0 Meter-Raster sowie die Spannweite der Binder von Stütze zu Stütze über 30,0 Meter. Die Dachbinder werden mit einer Neigung von 2 Grad ausgeführt. Die Binderunterkante ist mit 7,0 Meter Höhe angegeben.

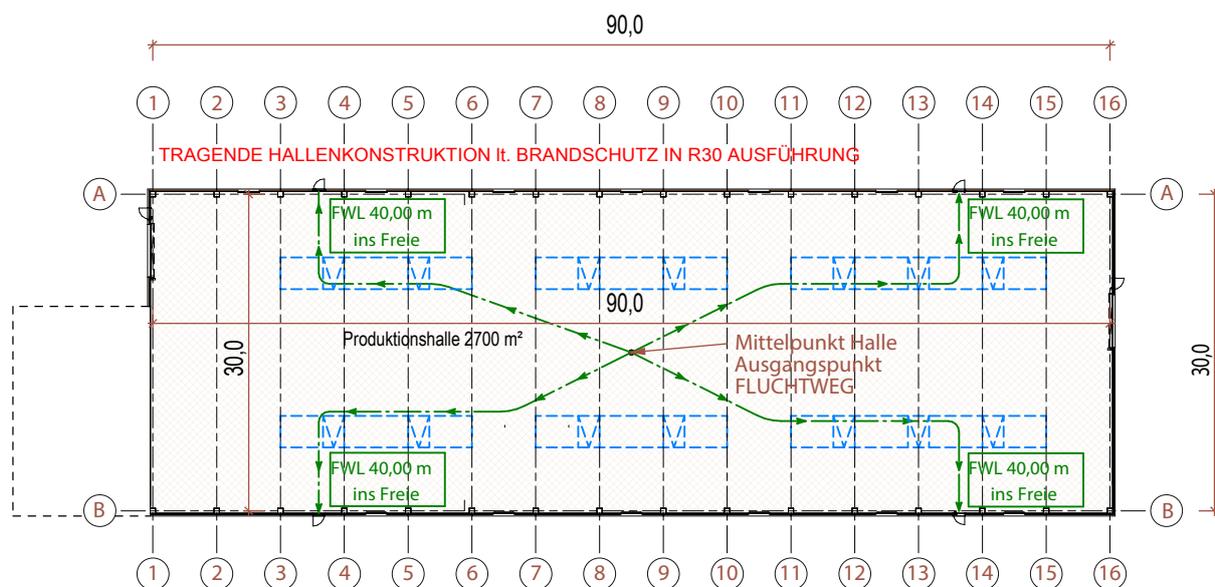


Abb. 72. Brandschutz Systementwurf

Aufgrund der Hallengröße von rund 2700 m² muss die tragende Hallenkonstruktion in R30 ausgeführt werden. Zudem muss durch eine lichte Höhe von 7,0 Meter eine maximale Fluchtweglänge von 40,0 Meter gewährleistet sein. Das bedeutet, dass man von jedem Punkt aus in der Halle innerhalb von 40,0 Meter im Freien angelangt sein muss. (siehe Abb. 72) Würde man die Halle mit einer Brandschutzmeldeanlage ausstatten, so könnte man die Fluchtweglänge auf 50,0 Meter erweitern und zugleich müsste die tragende Hallenkonstruktioin keinerlei Brandschutzanforderungen erfüllen.

Die Gebäudehülle (siehe Abb. 73) besteht aus Sandwichpaneelen an der Wand sowie einem einschaligen Dachaufbau. In der Hülle sind sechs vertikale Lichtbänder auf beiden Längsseiten der Halle angeordnet. Diese stellen zusammen mit den sechs Oberlichtbändern am Dach die nötige Belichtung sowie Belüftung sicher. Um die Fluchtweglänge einhalten zu können sind vier Türen an den langen sowie zwei Türen an den kurzen Seiten platziert. Zudem befinden sich zwei Sektionaltore an den kurzen Hallenseiten zum Versorgen der Anlage.

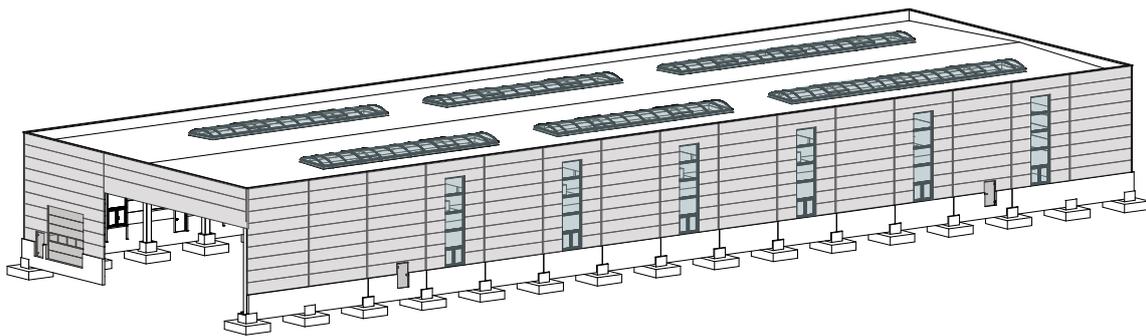


Abb: 73. Gebäudehülle Systementwurf

Zusammengefasst:

Der Systementwurf wird als einschiffige Hallenkonstruktion konzipiert. Stützen und Binder sind im Raster von 6.0 Meter angeordnet und spannen frei über die gesamte Hallenbreite, um somit den Grad an Flexibilität möglichst hoch zu halten. Die Binderunterkante beträgt 7.0 Meter. Die Dachneigung 2 Grad. Diverse Fensterbänder und Oberlichtern stellen die nötige Belichtung und Belüftung sicher. Um die Brandschutzanforderungen zu erfüllen, ist die tragende Hallenkonstruktion als R30 auszuführen.

4.2.5 BAUTEILE

Für den nachhaltigen Vergleich wird das Entwurfsobjekt in unterschiedlichen Bauweisen ausgeführt. Grundsätzlich bestehen Hallenbauten aus einem Primärtragwerk, beispielsweise Stützen, Binder, Rahmen, Fachwerke und Bögen sowie aus einem Sekundärtragwerk. Das Primärtragwerk oder auch Haupttragwerkwerk genannt, ist wie der Name schon sagt hauptverantwortlich für die Abtragung der anfallenden Lasten am Bauwerk in die Fundamente. Das Sekundärtragwerk wird vor allem zur Abtragung der horizontalen Lasten und zur Stabilisierung herangezogen. Seine Lasten gibt das Sekundärtragwerk an das Primärtragwerk ab. Als Haupttragwerk kommen vor allem Stützen und Binder zum Einsatz. Jedoch finden auch Rahmen, Fachwerke oder Bögen oftmals Verwendung. Als Sekundärtragwerk kommen Dachpfetten, Dachpaneele oder Wandpaneele zum Einsatz. Als Material werden hier vorwiegend Beton, Stahl und Holz verarbeitet.

Primärtragwerk

a.) Stützen

Stützen sind Bauteile des Primärtragwerks. Ihre statische Funktion besteht in der Abtragung der auftretenden Lasten vom Bauwerk in die Fundamente. Eine wichtige Anforderung an die Stütze ist die gegebene Tragfähigkeit im Brandfall.

Stützen werden in den Materialien Holz, Stahl und Stahlbeton ausgeführt. Hallenstützen aus Holz können in Form von Vollholz- oder verleimten Brettschichtholzkonstruktionen ausgeführt werden. In Form von I-Profilen oder Hohlprofilen können Stützenkonstruktionen auch aus Stahl hergestellt werden. Stützen aus Stahlbeton werden standardmäßig mit Rechteckquerschnitt ausgeführt. In Einzelfällen können auch profilierte Stützen zum Einsatz kommen.

b.) Binder

Im Stützen- und Binder-System bilden die Binder zusammen mit den Stützen das Primärtragwerk. Sie sind verantwortlich für die Abtragung der auftretenden Decken- und/oder Dachlasten.

Binder werden ebenfalls in den Materialien Holz, Stahl und Stahlbeton ausgeführt. In Holz werden sie üblicherweise als Vollwandträger in Brettschichtholz ausgeführt. Diese ermöglichen ohne großen Aufwand die Herstellung unterschiedlicher Trägerformen. Stahlbetonbinder können als I-Querschnitt oder T-Querschnitt ausgeführt werden. In der Regel werden I-Querschnitte erst ab einer größeren Spannweite eingesetzt, da sie mehr Vorspannkraft aufnehmen können. Stahlträger werden üblicherweise als I-Profil ausgeführt.

c.) Rahmen

Rahmentragwerke sind das am weitest verbreitete Tragwerk im Stahlhallenbau. Im Gegensatz zu Stützen und Binder, welche gelenkig miteinander verbunden sind, besitzen Rahmentragwerke eine biegesteife Verbindung zwischen Rahmenstiel und Rahmenriegel. Die Biegebeanspruchung ist somit auf Stiel und Riegel verteilt und führt dadurch zu einem vergleichsweise geringeren Materialeinsatz.¹⁹²

Rahmen werden sowohl im Stahl- als auch im Holzhallenbau verwendet. Im Stahlbau kommen vor allem I-Profile zum Einsatz. Die Standardlösung bei Rahmentragwerken aus Holz sind vollwandige Brettschichtholzquerschnitte. Jedoch wird der Einsatz von Rahmen im Holzbau durch die notwendigen großen Transportkapazitäten und das geringere Lichtraumprofil der Halle im Vergleich zu anderen Tragwerkssystemen stark eingeschränkt. Ebenfalls ist der Einbau von Brückenkränen durch große dimensionierte Rahmenecken schwierig.¹⁹³

¹⁹² Vgl. [GrKo] S.18

¹⁹³ Vgl. [Holz] S.119

d.) Fachwerk

Fachwerke können in unterschiedlichen Tragwerksstrukturen zum Einsatz kommen. So können Fachwerke als Fachwerkbinder im Stützen und Binder-System beziehungsweise als Fachwerkrahmen im Rahmenbausystem oder auch als Fachwerk im Bogentragwerk zur Anwendung kommen. Fachwerke bestehen aus einem Ober- und Untergurt sowie Füllstäben. Sie werden meist dann eingesetzt, wenn große Stützenweiten frei zu überspannen und gewichtssparend zu konstruieren sind oder aus ästhetischen Gründen eine filigrane Tragkonstruktion erfordern.

Der Materialeinsatz bei Fachwerken ist kleiner als bei Vollwandkonstruktionen, jedoch ist der Fertigungsaufwand höher, sodass in jedem Falle verglichen werden muss, welche der beiden Bauweisen wirtschaftlicher ist.

Fachwerke kommen sowohl im Stahl- als auch Holzbau zum Einsatz. Fachwerke in Holzbauweise werden aus Vollholz, Furnierschichtholz oder Brettschichtholz hergestellt. Im Stahlbau kommen Fachwerke vor allem als Doppel-T Profile zum Einsatz.

e.) Bogen

Bogentragwerke stellen aufgrund des Verhältnisses von Spannweite zu Materialverbrauch ein besonders leistungsfähiges Tragsystem dar. Dadurch können sogar bei extremer Spannweite wirtschaftliche Lösungen gefunden werden. Grundsätzlich wird zwischen vollwandigen und als Fachwerk aufgelösten Tragelementen unterschieden. Zum Einsatz kommen Bogenelemente vorwiegend im Holz- und Stahlbau, jedoch können Bogenelemente auch aus Stahlbeton ausgeführt werden.¹⁹⁴

¹⁹⁴ Vgl. [GrKo] S.20

Sekundärtragwerk

f.) Dach

Das Dach ist der oberste Abschluss der Halle und fungiert als Barriere von Innen- und Außenraum. Zusätzlich muss der Dachaufbau je nach Schneelastzone die anfallenden Schneelasten aufnehmen.

Als Dachsysteme kommen vorwiegend einschalige Aufbauten zum Einsatz. Weiters gibt es noch zweischalige Aufbauten sowie Dachsysteme mittels Sandwichelementen.

g.) Wand

Wandsysteme treten als Elemente der Gebäudehülle auf und dienen als seitliche Barriere zwischen Innen- und Außenraum. Neben der Funktion in der Aufnahme der horizontalen Lasten (Windlasten), müssen sie gleich wie Dachsysteme die Anforderungen der Gebäudehülle wie beispielsweise Wärmeschutz und Luftdichtheit, erfüllen.

Wandsysteme kommen ähnlich wie Dachsysteme als zweischaliger Wandaufbau oder als Sandwichelemente zum Einsatz.

h.) Pfetten

Pfetten werden eingesetzt, um die Dachlasten aus der Dachdeckung zu den Primärtragelementen (Binder, Rahmenriegel oder Bogen) zu leiten. Zudem können Pfetten als Druckriegel innerhalb aussteifender Verbände dienen. Pfetten werden erst ab einem Achsabstand von über 7 Meter sinnvoll, da die Trapezbleche ansonsten direkt auf die Binder gelegt werden können und dies meist wirtschaftlicher ist. Pfetten kommen vorwiegend als Durchlaufträger zum Einsatz.¹⁹⁵

¹⁹⁵ Vgl. [GrKo] S.10

Fundament

Fundamente haben die Aufgabe, alle Vertikal- und Horizontallasten sicher und ohne Setzungen in den Baugrund einzuleiten. Dabei hängt die Dimensionierung von der Art der Belastung und der Tragfähigkeit des Bodens (Bodenpressung) ab. Im Hallenbau kommen vorwiegend Einzelfundamente zum Einsatz. Diese werden meist als Betonfertigteile angeboten.¹⁹⁶

Unterschieden wird zwischen Block- und Köcherfundamenten. Köcherfundamente haben einen geringeren Betonverbrauch, jedoch einen höheren Schalungsaufwand als Blockfundamente. Bei kleineren Fundamenten bis 2 Meter Seitenlänge ist das Blockfundament häufig wirtschaftlicher als das Köcherfundament.¹⁹⁷

Bei eingespannten Stützen wird die Einspannwirkung durch das kraftschlüssige Verbinden der Stützen mit Beton in den Köcher- und Blockfundamenten erreicht. Wird die Stütze gelenkig gelagert, so wird die Verbindung zwischen Stütze und Fundament durch Verschraubung erreicht. Dadurch erhält man den Vorteil der möglichen Demontierbarkeit.¹⁹⁸

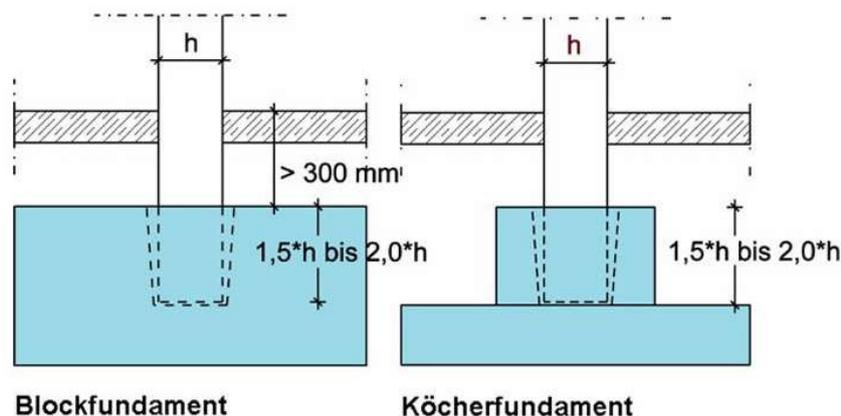


Abb: 74. Fundamente

196. Vgl. <https://www.beton.org/wissen/wirtschaftshochbau/fundamente>, abgerufen am 22.04.2022

197. Vgl. <https://www.beton.org/wissen/wirtschaftshochbau/fundamente>, abgerufen am 22.04.2022

198. Vgl. <https://www.beton.org/wissen/wirtschaftshochbau/fundamente>, abgerufen am 22.04.2022

4.2.6 BAUWEISEN

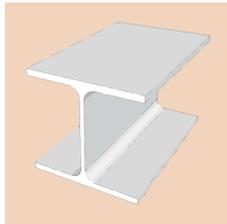
Im Folgenden wird erläutert, welche Bauteile der unterschiedlichen Bauweisen für den nachhaltigen Vergleich berücksichtigt werden. Wie zuvor bereits erwähnt wird bei der Untersuchung nur das Primärtragwerk + Fundament betrachtet. Das Sekundärtragwerk und alle zusätzlichen Bauteile, die zur Erstellung der Tragwerke nötig sind (z. B. Schrauben, Zugstangen, Anschlussbewehrung, etc.), werden nicht berücksichtigt. Ebenfalls nicht in Frage kommt ein Bogentragwerk, da laut Anforderungen eine gleichbleibende Binderunterkante gefordert ist. In der folgenden Tab. 14 werden die gewählten Varianten aufgeführt:

Tabelle: 14. Bauweisen

1.	Stahl – Tragwerk; Zweigelenrahmen; Blockfundamente
2.	Holz – Tragwerk; Stützen und Binder aus BSH; Köcherfundamente
3.	Stahlbeton – Tragwerk; Stützen und Binder aus Stahlbeton; Köcherfundamente
4.	Stahlbeton – Holz Tragwerk; Stützen aus STB und Binder aus BSH; Köcherfundamente
5.	Holz – Tragwerk; Stützen und Fachwerkbinder aus BSH; Köcherfundamente

Die Dimensionierung der einzelnen Querschnitte der unterschiedlichen Bauweisen erfolgte mit Hilfe der Statiksoftware von mbAEC.¹⁹⁹ Die Massenermittlung, erfolgt im nächsten Schritt vertieft in den jeweiligen Gebäudevarianten. Im Anschluss werden die unterschiedlichen Bauweisen nochmals in einer Tabelle (siehe Tab. 20) aufgelistet.

¹⁹⁹ <https://www.mbaec.de>, abgerufen am 02.12.2021



Bauweise I

Die Gebäudevariante I besteht aus einem Stahltragwerk (siehe Abb. 75), welches als Zweigelenrahmenkonstruktion ausgeführt wird. Sowohl für den Rahmenriegel als auch den Rahmenstiel werden HEA 650 Profile verwendet. Die Einzelfundamente werden als Blockfundamente ausgebildet.

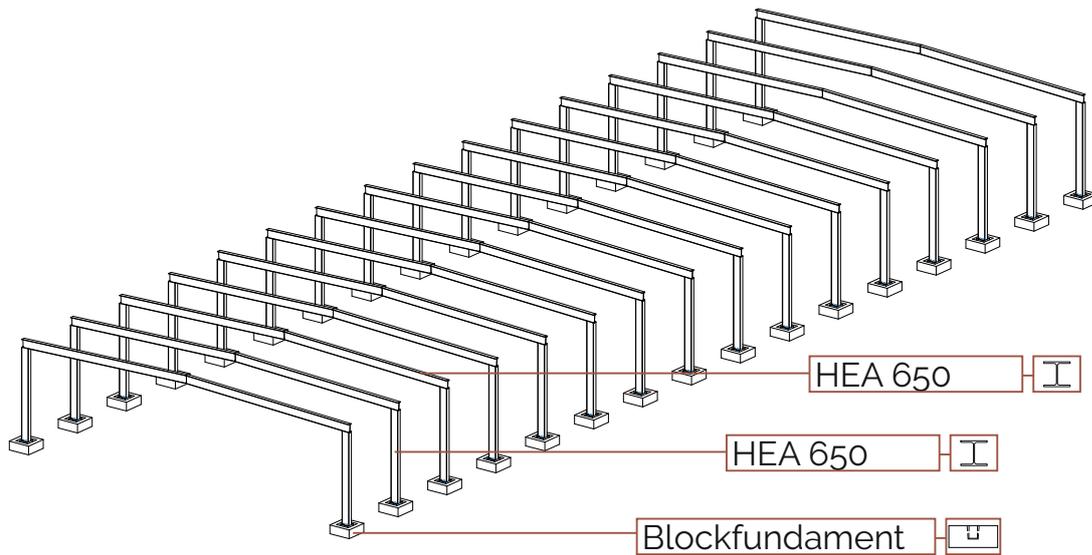


Abb: 75. Stahltragwerk

Vorbemessung

Lasteinwirkung:

Dachlast	0,80 KN/m ²
Wandlast	0,20 KN/m ²
Schneelast (Zone 2)	1,62 KN/m ²
Windlast (Zone 1)	0,32 KN/m ²

Dimensionierung:

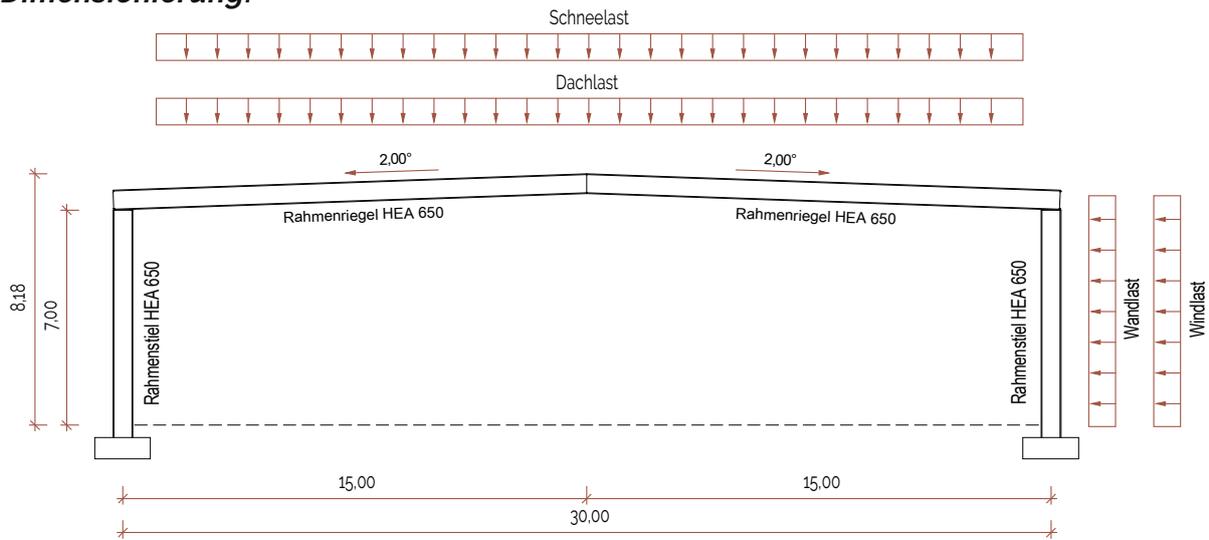


Abb: 76. Schnitt Stahltragwerk

Massenermittlung:

Tabelle: 15. Massenermittlung Stahltragwerk

	Zweigelenrahmen [S235]	Blockfundament [C25/30]	Bewehrung [Bwst]
Laufmeter [m] / Volumen [m ³]	44	2,16	2,16
Menge [t]	8,36	5,40	0,11
Anzahl [Stk.]	16	32	32
Gesamtmenge [t]	133,76	172,80	3,46



Bauweise II

Die Gebäudevariante II besteht aus einem Holztragwerk. Sowohl Stützen als auch Binder werden als BSH-Elemente ausgeführt. Die Fundamente werden als Köcherfundamente ausgebildet. (siehe Abb. 77)

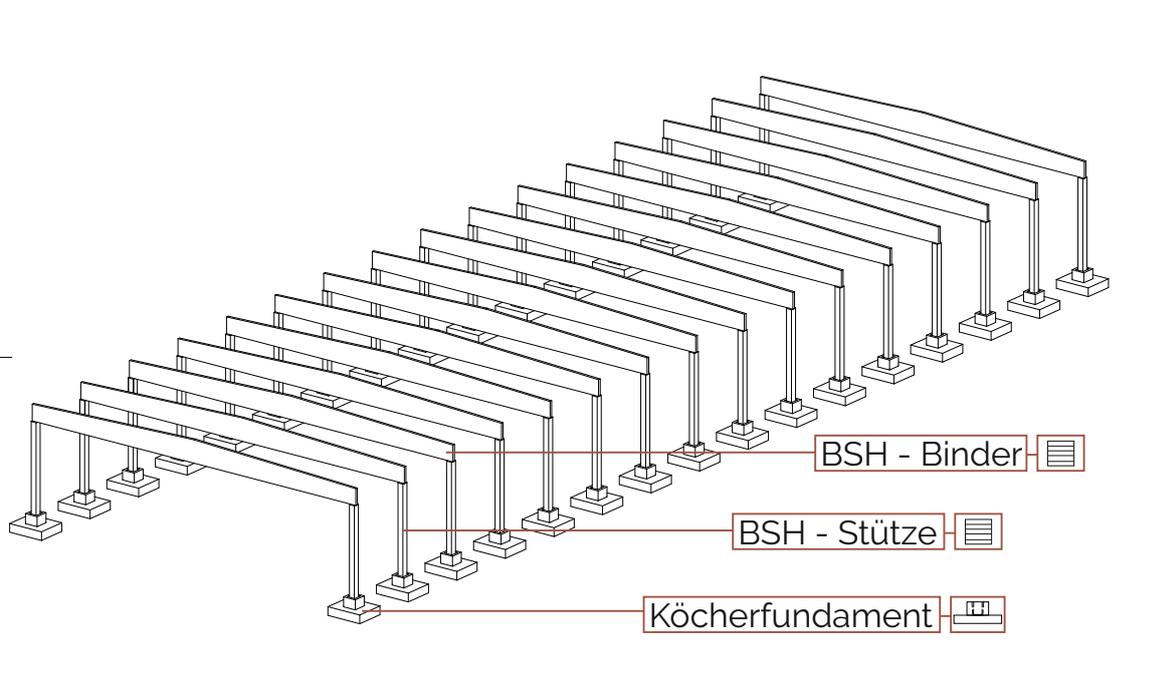


Abb: 77. BSH-Tragwerk

Vorbemessung

Lasteinwirkung:

Dachlast	0,80 KN/m ²
Wandlast	0,20 KN/m ²
Schneelast (Zone 2)	1,62 KN/m ²
Windlast (Zone 1)	0,32 KN/m ²

Dimensionierung:

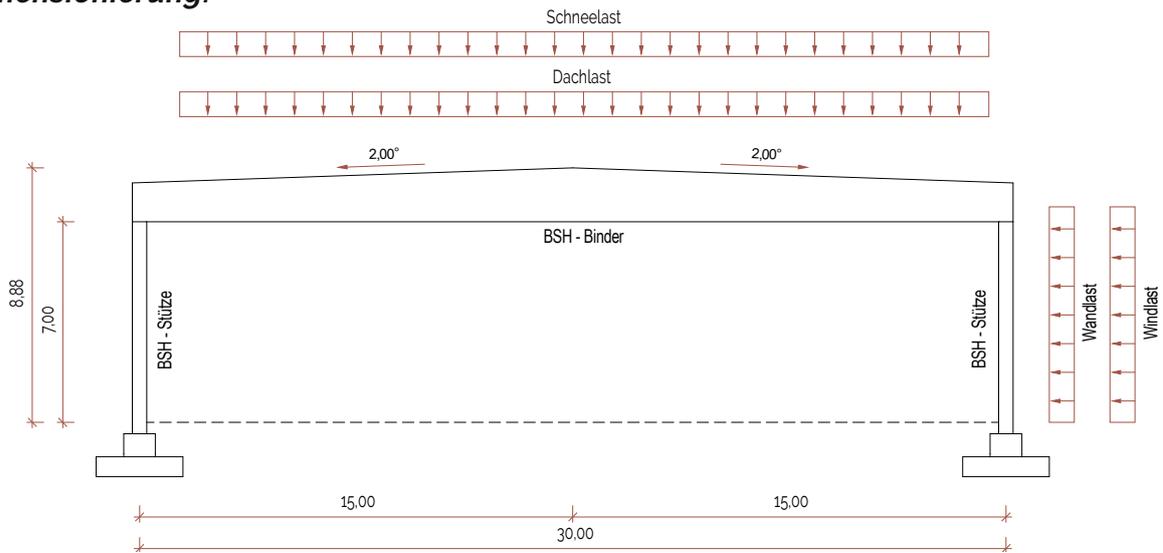


Abb: 78. Schnitt BSH-Tragwerk

Massenermittlung:

Tabelle: 16. Massenermittlung BSH-Tragwerk

	Stütze [BSH]	Binder [BSH]	Köcherfundament [STB]	Bewehrung [Bwst]
Laufmeter [m] / Volumen [m ³]	1,28	11,83	1,57	1,15
Menge [t]	0,49	4,62	3,93	0,06
Anzahl [Stk.]	32	16	32	32
Gesamtmenge [t]	15,97	73,82	125,76	1,89



Bauweise III

Die Gebäudevariante III besteht aus einem Stahlbetontragwerk. Sowohl Stützen (Rechteckquerschnitt) als auch Binder (T-Querschnitt) werden als STB-Elemente ausgeführt. Die Fundamente werden als Köcherfundamente ausgebildet. (siehe Abb. 79)

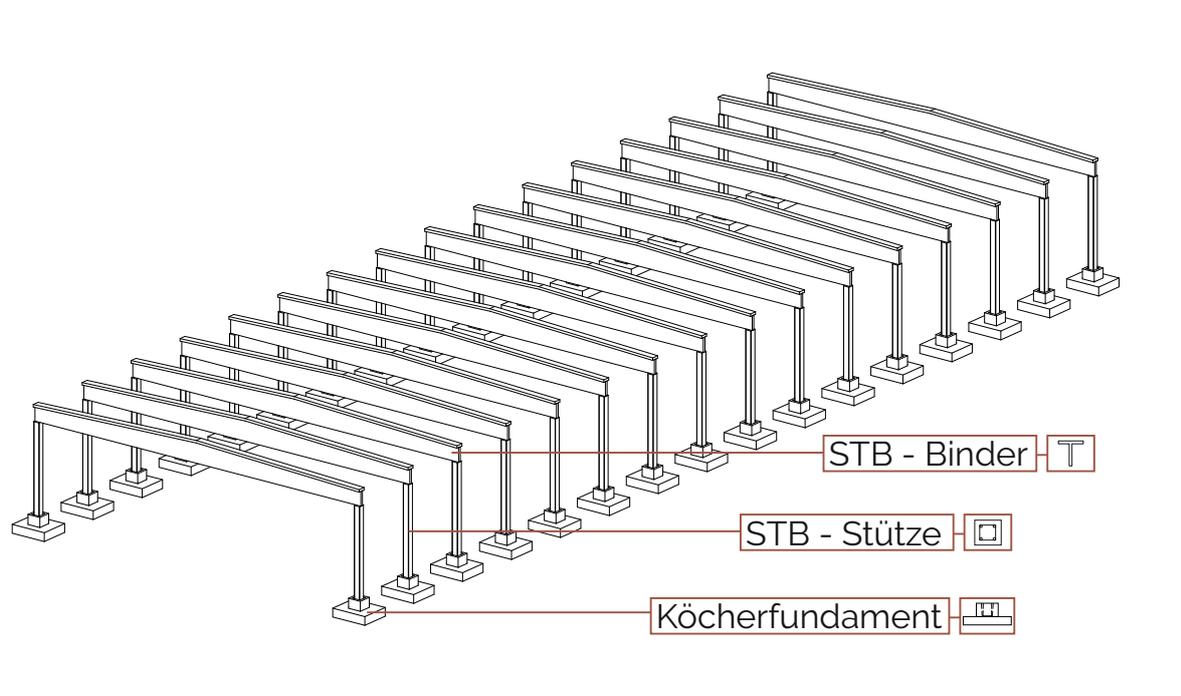


Abb: 79. STB - Tragwerk

Vorbemessung

Lasteinwirkung:

Dachlast	0,80 KN/m ²
Wandlast	0,20 KN/m ²
Schneelast (Zone 2)	1,62 KN/m ²
Windlast (Zone 1)	0,32 KN/m ²

Dimensionierung:

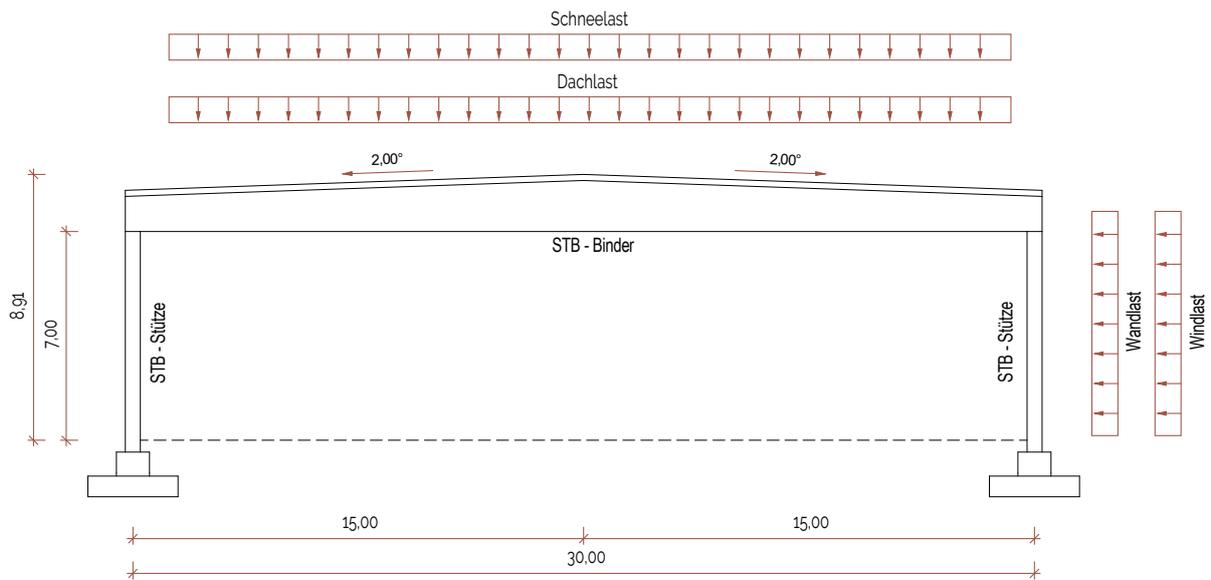
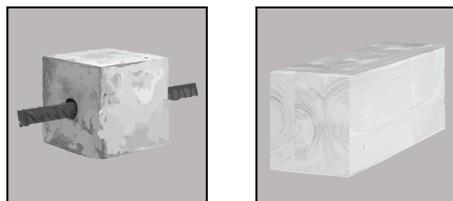


Abb. 80. Schnitt STB-Tragwerk

Massenermittlung:

Tabelle: 17. Massenermittlung STB-Tragwerk

	Stütze [STB]	Binder [STB]	Köcherfundament [STB]	Bewehrung [Bwst]
Laufmeter [m] / Volumen [m ³]	2,00	12,48	2,13	2,0
Menge [t]	5,00	31,2	6,30	2,86
Anzahl [Stk.]	32	16	32	16/32
Gesamtmenge [t]	160,00	499,20	201,60	51,46



Bauweise IV

Die Gebäudevariante IV wird als Mischbauweise, mit Stahlbetonstützen (Rechteckquerschnitt) und BSH-Binder, ausgeführt. Die Fundamente werden als Köcherfundamente ausgebildet. (siehe Abb. 81)

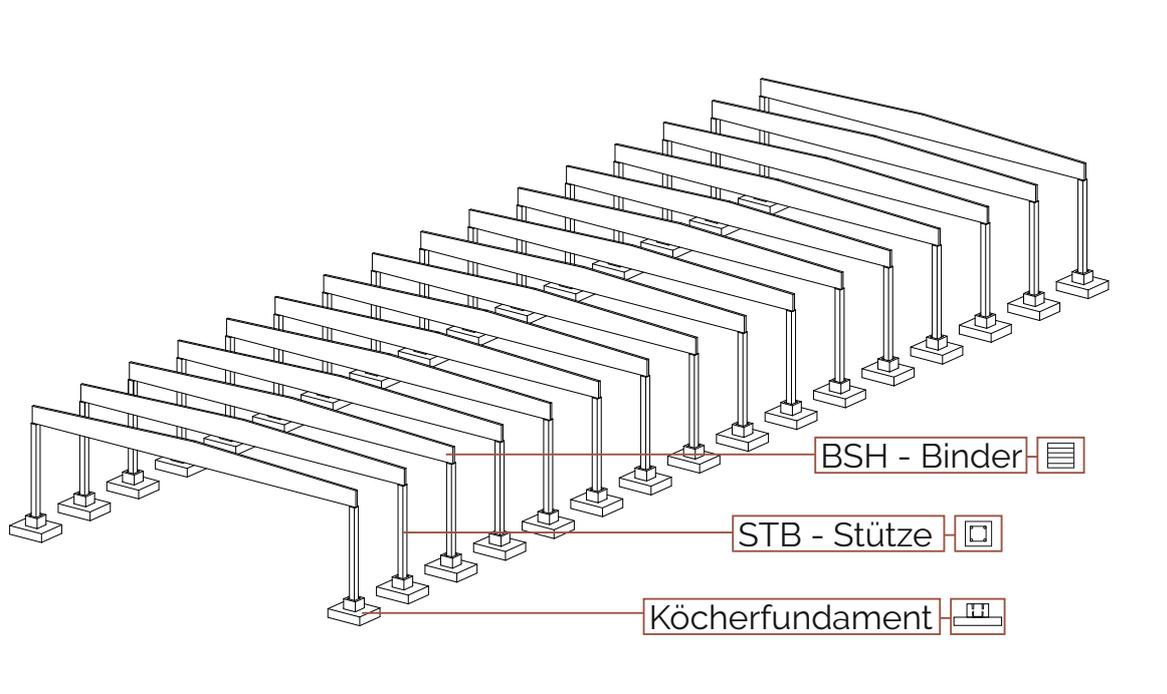


Abb: 81. Mischbauweise Tragwerk

Vorbemessung

Lasteinwirkung:

Dachlast	0,80 KN/m ²
Wandlast	0,20 KN/m ²
Schneelast (Zone 2)	1,62 KN/m ²
Windlast (Zone 1)	0,32 KN/m ²

Dimensionierung:

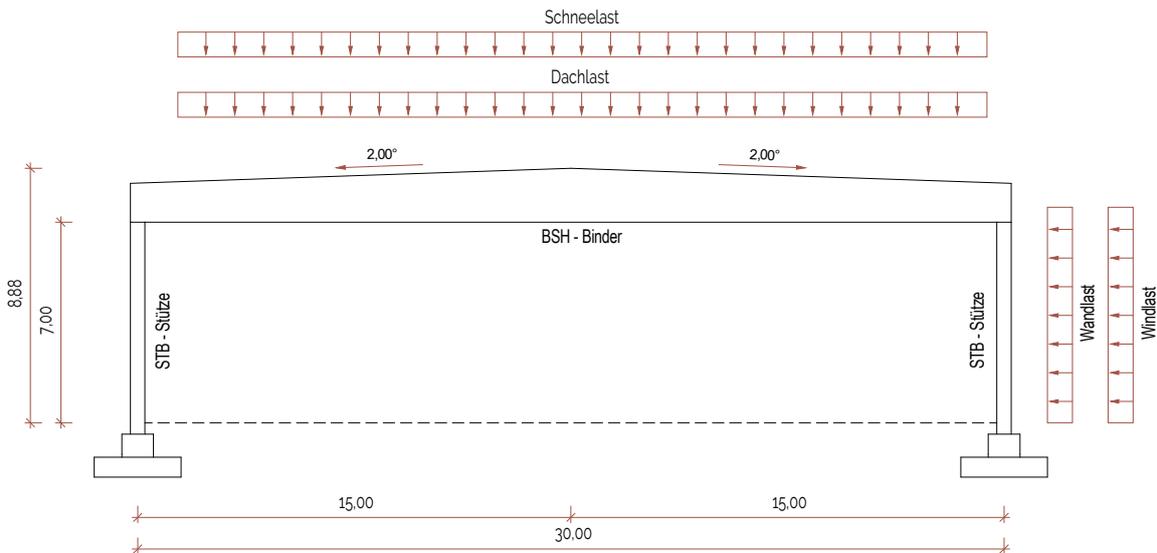


Abb: 82. Schnitt Mischbauweise - Tragwerk

Massenermittlung:

Tabelle: 18. Massenermittlung Mischbauweise - Tragwerk

	Stütze [STB]	Binder [BSH]	Köcherfundament [STB]	Bewehrung [Bwst]
Laufmeter [m] / Volumen [m ³]	1,28	11,83	1,75	2,70
Menge [t]	3,20	4,62	5,35	0,23
Anzahl [Stk.]	32	16	32	32
Gesamtmenge [t]	102,40	73,82	171,20	7,20



Bauweise V

Die Gebäudevariante V besteht aus einem Holztragwerk, mit BSH-Stützen (Rechteckquerschnitt) und BSH-Fachwerk. Die Fundamente werden als Köcherfundamente ausgebildet. (siehe Abb. 83)

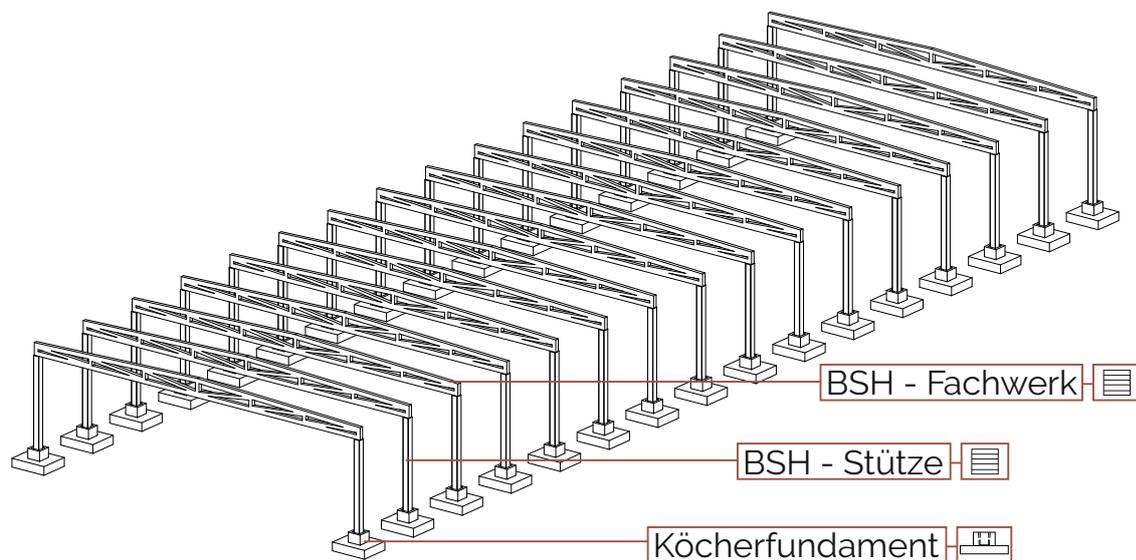


Abb: 83. BSH - Tragwerk (Fachwerk)

Vorbemessung

Lasteinwirkung:

Dachlast	0,80 KN/m ²
Wandlast	0,20 KN/m ²
Schneelast (Zone 2)	1,62 KN/m ²
Windlast (Zone 1)	0,32 KN/m ²

Dimensionierung:

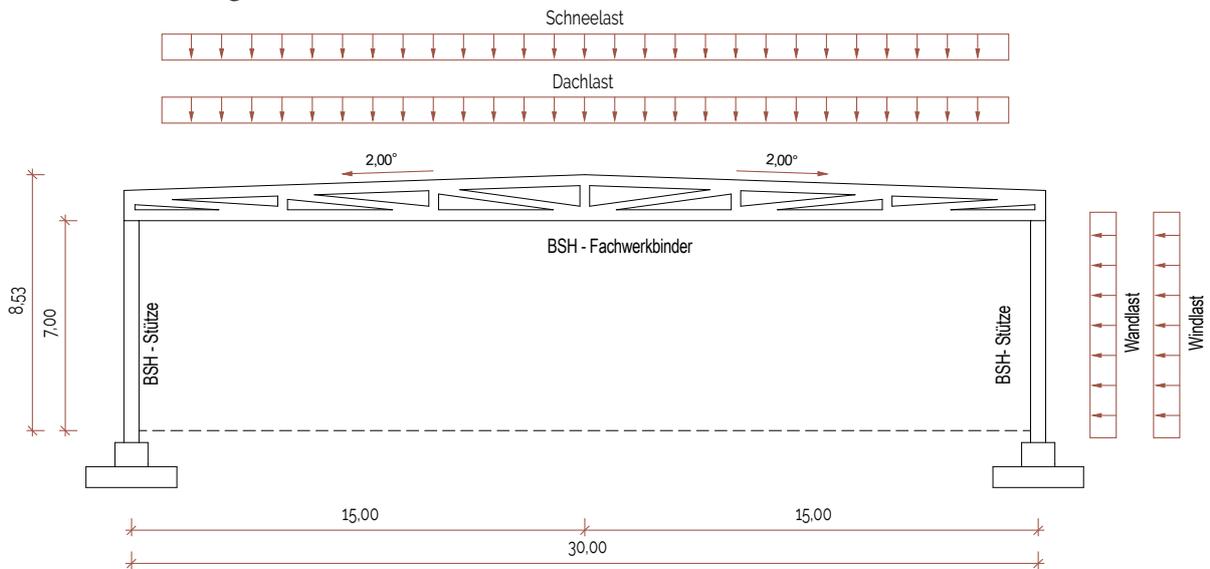


Abb. 84. Schnitt BSH - Tragwerk (Fachwerk)

Massenermittlung:

Tabelle: 19. Massenermittlung BSH - Tragwerk (Fachwerk)

	Stütze [BSH]	Binder [BSH]	Köcherfundament [STB]	Bewehrung [Bwst]
Laufmeter [m] / Volumen [m ³]	0,72	8,73	1,36	0,86
Menge [t]	0,31	3,75	3,10	0,04
Anzahl [Stk.]	32	16	32	32
Gesamtmenge [t]	9,91	60,06	99,20	138

Tabelle: 20. Vergleich Bauweisen

	Bauweise				
Position	Variante I (Stahl)	Variante II (BSH)	Variante III (STB)	Variante IV (Mischbau)	Variante V (BSH)
Tragwerk	Zweigelenk rahmen	BSH Stütze + BSH Binder	STB Stütze + STB Binder	STB Stütze + BSH Binder	BSH Stütze + BSH Fachwerk
Fundament	Blockfunda- ment	Köcherfun- dament	Köcherfun- dament	Köcherfun- dament	Köcherfun- dament
Masse [t]	310,02	216,27	930,66	351,62	169,47
Konstruk- tionshöhe [m]	8,18	8,88	8,91	8,88	8,53

5 ÖKOLOGISCHER VERGLEICH

5.1 VERGLEICHENDE ÖKOBILANZIERUNG DER UNTERSCHIEDLICHEN BAUWEISEN

Zu Beginn dieses Kapitels werden die Schritte zur Ermittlung einer ökologischen Bilanzierung nach Kapitel 3.3, auf die unterschiedlichen Bauweisen, welche im Abschnitt 4.0 behandelt wurden, angewendet. Nach der Definition des Untersuchungsrahmens sowie des Ziels erfolgt die Festlegung der Systemgrenzen sowie der getroffenen Annahmen. Anschließend wird mithilfe von Datenbanken die Wirkungsabschätzung anhand der zuvor festgelegten Umweltparameter durchgeführt. Die Auswertung der einzelnen Bauweisen erfolgt anhand von Grafiken, welche in tabellarischer Form dargestellt werden. Den Abschluss bildet ein ökobilanzieller Vergleich der unterschiedlichen Bauweisen.

5.1.1 ZIEL DER STUDIE & UNTERSUCHUNGSRAHMEN

Das Ziel dieser Studie ist der übersichtliche Vergleich der unterschiedlichen Bauweisen, im Bezug auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Konstruktionen im Hinblick auf umweltbezogene Qualitätsmerkmale. Durch die Ermittlung der potentiellen Umweltwirkung der einzelnen Bauteile/Bauweisen, kann dies für Architekten & Architektinnen schon in einer frühen Phase der Planung als Hilfsmittel für eine mögliche Materialwahl dienen.

Systemgrenzen

Die Systemgrenze bestimmt, welche Prozesse in die Bewertung miteinfließen. Da es sich um einen Neubau handelt wird der gesamte Lebenszyklus betrachtet (siehe Abb. 85). Betrachtet werden die Stützen und Binder des Tragwerks sowie die zugehörigen Fundamente. Die Module A-C beschreiben den Weg von der Herstellung bis zur Entsorgung, wohingegen das Modul D das Recyclingpotential darstellt. Da jedoch das Modul D stark von herstellerepezifischen Annahmen geprägt ist, sind diese Daten mit Vorsicht zu betrachten. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den Modulen A-C.

Informationen für den Lebenszyklus des Gebäudes															ergänzende Informationen nach dem Lebenszyklus des Gebäudes			
Stadium	Produktion			Bauprozess		Nutzung							End of Life			Gutschriften und Lasten		
Szenario	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
Art der EPD	Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport zur Baustelle	Bau/Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau/Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Abbruch/Rückbau	Transport	Abfallbehandlung	Deponierung		
EPD von der Wiege bis zum Werkstor – deklarierte Einheit	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	kein RSL ³⁾	-
EPD von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen – deklarierte/funktionelle Einheit	■	■	■	□ ^{1) 2)}	□ ^{1) 2)}	□ ^{1) 2)}	□ ^{1) 2)}	□ ^{1) 2)}	□ ^{1) 2)}	□ ^{1) 2)}	□ ^{1) 2)}	□ ^{1) 2)}	□ ^{1) 2)}	□ ^{1) 2)}	□ ^{1) 2)}	□ ^{1) 2)}	RSL ^{2) 3)}	□
EPD von der Wiege bis zur Bahre – funktionelle Einheit	■	■	■	■ ^{1) 2)}	■ ^{1) 2)}	■ ^{1) 2)}	■ ^{1) 2)}	■ ^{1) 2)}	■ ^{1) 2)}	■ ^{1) 2)}	■ ^{1) 2)}	■ ^{1) 2)}	■ ^{1) 2)}	■ ^{1) 2)}	■ ^{1) 2)}	■ ^{1) 2)}	RSL ^{2) 3)}	□

■ Einbeziehung Pflicht □ Einbeziehung optional ¹⁾ Einbeziehung für ein deklariertes Szenario ²⁾ wenn alle Szenarien gegeben sind
³⁾ RSL = Referenznutzungsdauer (Reference Service Life): Nutzungsdauer, die unter der Annahme von bestimmten Nutzungsbedingungen (z. B. Standardnutzungsbedingungen) für ein Bauprodukt zu erwarten ist

Abb: 85. Lebenszyklusphasen eines Gebäudes

Szenarien

In einem ersten Szenario (Module A-C) (siehe Abb. 86) werden neben den Lebenszyklusphasen A1-A3 auch die Umwelteinwirkungen der Module A4-A5, B1-B7 sowie die der Phasen C1-C4 berücksichtigt. Dabei wird angenommen, dass das jeweilige Bauteil am Ende seines Lebenszyklus vollständig der Entsorgung zugeführt wird.

Im zweiten Szenario (Module A-D) (siehe Abb. 87) wird zusätzlich das Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs - und Recyclingpotential aus dem Modul D der einzelnen Bauteile miteinbezogen. Da jedoch nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Bauteile zu 100 Prozent recycelt werden können, wird für die unterschiedlichen Baustoffe ein Recyclingfaktor bzw. Entsorgungsanteil angenommen.

Da im Modul C3 bei Holzbaustoffen bereits die Gutschriften aus der thermischen Verwertung inkludiert sind, werden im Szenario A-D für diese Materialien nur die Module A-C2 sowie die Verwertung im Biomassekraftwerk (Modul D) betrachtet.

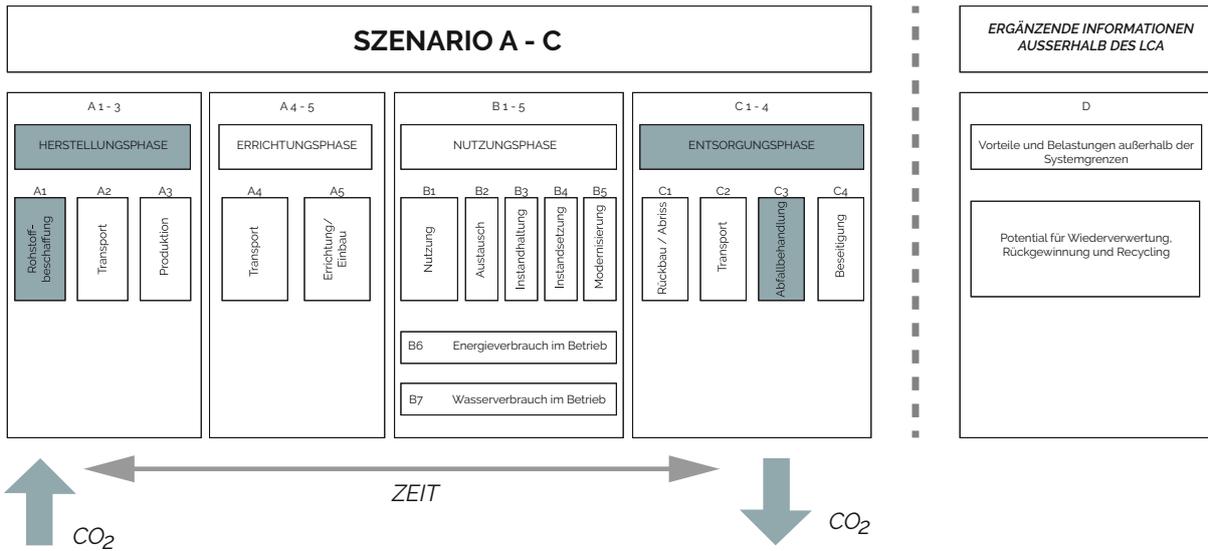


Abb: 86. Lebenszyklusphasen Szenario A - C

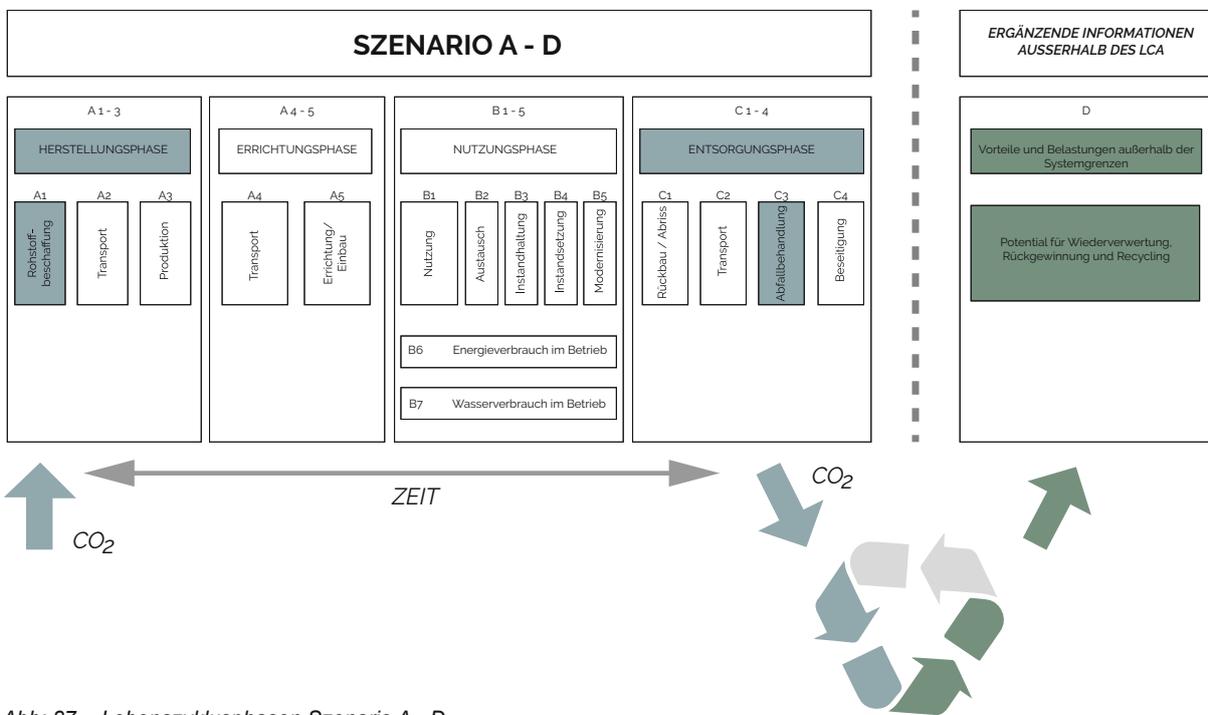


Abb: 87. Lebenszyklusphasen Szenario A - D

Annahmen

Im Folgenden werden weitere zusätzliche Annahmen getroffen, welche eine zusätzliche repräsentative Vergleichsbasis für die Ökobilanzierung schaffen.

Recyclingfaktor (Modul D)

Baustahl	90% Recyclinganteil	10%	Entsorgung
Holzbaustoffe	70% Recyclinganteil	30%	Entsorgung
Betonbaustoffe	60% Recyclinganteil	40%	Entsorgung
Betonstahl	0% Recyclinganteil	100%	Entsorgung

Betonstahl

Der Datensatz für den Bewehrungsstahl wird aufgrund fehlender Lebenszyklusphasen in der Datenbank der ÖKOBAUDAT²⁰⁰, aus der Datenbank der Bau EPD GmbH²⁰¹ bezogen. Laut EPD wird der Bewehrungsstahl bereits zu 100 % aus Sekundärmaterial produziert, sodass in der Lebenszyklusphase D keine Stoffflüsse stattfinden.

Nutzungsdauer

Als Nutzungsdauer wird ein Zeitraum von 50 Jahren angegeben. In diesem Zeitraum ist nicht zu erwarten, dass Bauteile ausgetauscht werden müssen.

Transport

Als Transportweg wird eine Strecke von 50 km angenommen und als Transportmittel der LKW (zulässiges Gesamtgewicht 20 - 26t) gewählt.

200. <https://www.oekobaudat.de/>, abgerufen am 19.03.2022
 201. <https://www.bau-epd.at/>, abgerufen am 19.03.2022

funktionelle Einheit

Je nach Anforderung der Bauteile wird auch die funktionelle Einheit bestimmt. Da bei der Ökobilanzierung nur tragende Bauteile betrachtet werden, können Aspekte wie Schallschutz oder Wärmedurchgang vernachlässigt werden. Die Spannweite der Tragsysteme beträgt 30,0 m und wurde so ausgelegt, dass die auftretenden Lasten statisch abgetragen werden können. Die Werte werden jeweils für 1 m³ des jeweiligen Materials berechnet und anschließend mit den tatsächlichen Materialmengen multipliziert.

betrachtete Wirkungskategorien

Als nächstes werden die Wirkungskategorien und Umweltindikatoren ausgewählt welche in der Ökobilanz untersucht werden sollen. Als Indikatoren für den Energieeinsatz wird der Primärenergiebedarf aus nicht erneuerbaren Quellen (PENRT) sowie jener aus erneuerbaren Quellen (PERT) bilanziert. Die Summe dieser beiden Faktoren wird als Gesamtprimärenergiebedarf (ΣPE) dargestellt.

Bei den Umweltindikatoren wird das Treibhauspotential (GWP), sowie das Versauerungspotential (AP) betrachtet. Weitere Indikatoren wie z.B. das Ozonabbaupotential (ODP) oder Eutrophierungspotential (EP) werden bei dieser Ökobilanzierung nicht ermittelt.

5.1.2 SACHBILANZ

Als Datenbank wird die vom deutschen Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) zur Verfügung gestellte ÖKOBAUDAT verwendet. Anders als bei den österreichischen IBO-Richtwerten für Baumaterialien, bei denen rein die Phasen der Herstellung (A1-A3) betrachtet werden, werden hier alle Lebenszyklusphasen eines Produkts umfassend beschrieben. Die Datensätze werden jährlich aktualisiert und stehen mit der DIN EN 15804 in Verbindung.

Sollte ein Datensatz eines Baustoffs nicht vorhanden sein, wird auf Umweltproduktdeklarationen (EPDs) ähnlicher Produkte zurückgegriffen. Als Beispiel stammen die Daten für den Betonstahl aus der Datenbank der BAU EPD GmbH.

Berechnung

Bemessen sind die Referenzeinheiten für 1 kg oder 1 m³ eines Baustoffes. Diese werden zuerst für jeweils 1 m³ berechnet und anschließend wird dieser Wert dann mit der tatsächlichen Materialmenge multipliziert. In diesem Fall handelt es sich um m³, da Stützen und Träger sowie die Fundamente in m³ angegeben werden. Bei den Bauteilen mit mehreren Materialien (z.B. Stahlbeton) werden diese unterteilt und für jede Schicht extra berechnet.

5.1.3 AUSWERTUNG

Die Ergebnisse werden in Tabellen zusammengefasst und anschließend mittels Diagrammen dargestellt. Durch die Darstellung der Ergebnisse mittels Diagrammen können auch die unterschiedlichen Bauweisen verglichen werden. Die Diagramme der unterschiedlichen Varianten haben eine einheitliche Skala um eine einfache und übersichtliche Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

5.2 ÖKOBILANZIELLER VERGLEICH BAUSTOFFE

In der ersten Betrachtung werden die verwendeten Baustoffe bilanziert, um somit die Umweltwirkungen der einzelnen Materialien besser abschätzen zu können. Hier werden die verschiedenen Wirkungskategorien, wie in Abschnitt 5.1. definiert, betrachtet. Neben der Herstellungsphase (A1-A3) werden ebenfalls die Entsorgungsphase C1-C4 sowie das Recyclingpotential (Modul D) in den Szenarien gegenübergestellt. Die restlichen Module (A4-A5 sowie B1-B7) werden aufgrund des geringen Einflusses auf die Gesamtbilanz in dieser Gegenüberstellung nicht betrachtet.

Nach der Gegenüberstellung der einzelnen Lebenszyklusphasen werden die Baustoffe für die beiden Szenarien A-C und A-D betrachtet. Bei der Gegenüberstellung der Materialien im zweiten Szenario (Modul A-D) müssen die Daten aus den Lebenszyklusphasen C und D noch mit den Recyclingfaktoren beziehungsweise dem Entsorgungsanteil versehen werden.

Für folgende Baustoffe werden jeweils 1m³ des jeweiligen Materials gegenübergestellt:

- Brettschichtholz (BSH)
- Beton C 25/30
- Beton C 30/37
- Baustahl (S 235)
- Bewehrungsstahl (BwSt)

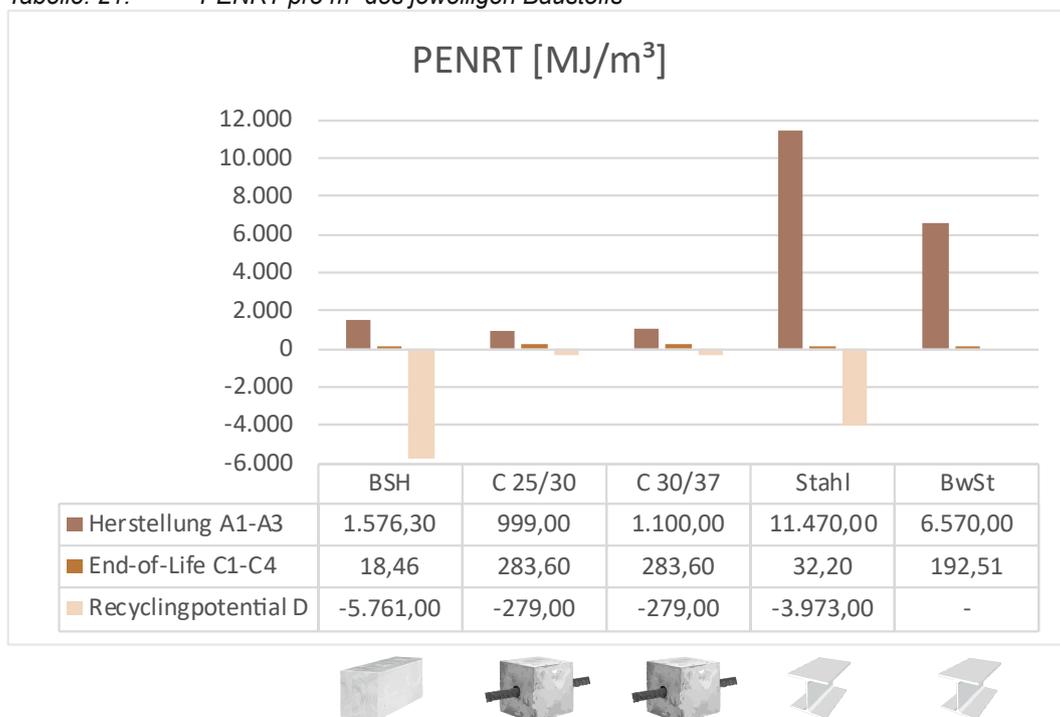
In weiterer Folge werden dann die einzelnen Bauweisen für die unterschiedlichen Wirkungskategorien bilanziert und miteinander verglichen. Hierbei werden die Ergebnisse der ökobilanziellen Ermittlung der Baustoffe mit den ermittelten Baumassen der verschiedenen Bauweisen multipliziert. Somit lassen sich die verschiedenen Bauweisen mittels Ökobilanzierung miteinander vergleichen.

5.2.1 NICHT ERNEUERBARER PRIMÄRENERGIEBEDARF PERNT BAUSTOFFE

Während der Herstellungsphase A1-A3, siehe Tab. 21, haben die Beton- und Holzwerkstoffe einen ähnlichen Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie. Hier liegt der Bereich zwischen 1.000 MJ/m³ und 1.600 MJ/m³. Weitaus mehr Bedarf an nicht erneuerbaren Energieträgern in der Herstellungsphase haben hingegen die Stahlbaustoffe. Bei Bewehrungsstahl liegt der Bedarf bei knapp 6.600 MJ/m³ und beim Baustahl sogar bei knapp 11.500 MJ/m³. In der Entsorgungsphase C1-C4 finden bei den Betonwerkstoffen mit 284 MJ/m³ die meisten Energieflüsse statt.

In der Recyclingphase (Modul D) fallen bei fast allen Werkstoffen bis auf den Bewehrungsstahl, da dieser bereits zu 100% aus Sekundärmaterial produziert wird, Gutschriften an. Beim BSH tritt dies in Form der thermischen Verwertung -5.800 MJ/m³ auf, bei

Tabelle: 21. PENRT pro m³ des jeweiligen Baustoffs



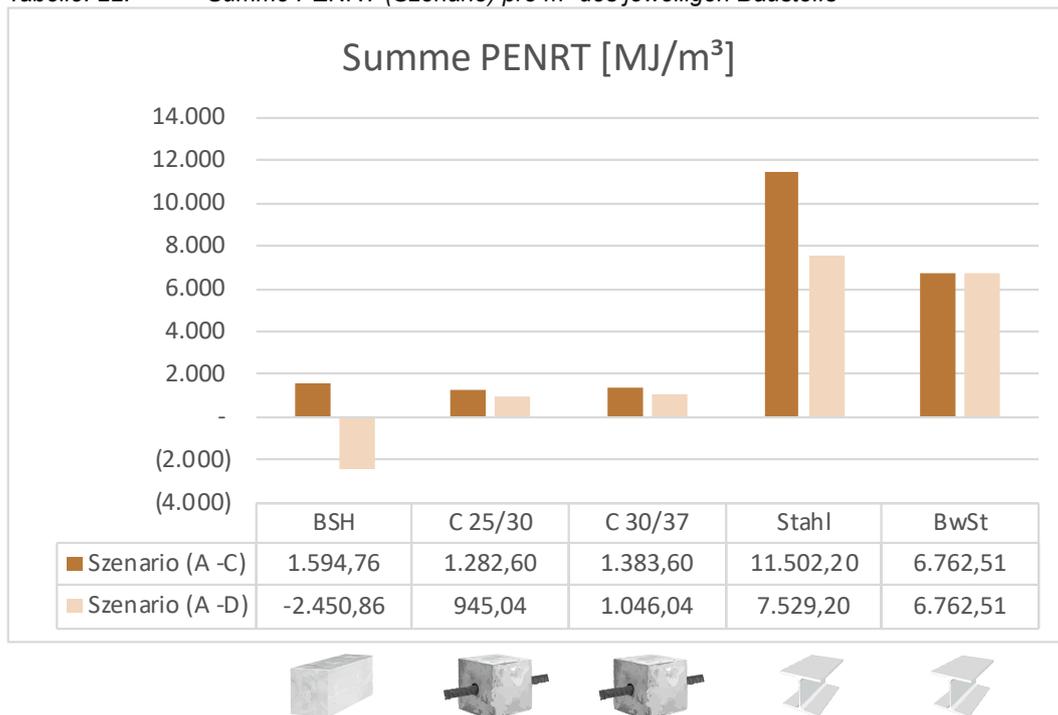
den Betonwerkstoffen durch die Verwendung des Betonabbruchs - 280 MJ/m³ und beim Baustahl durch Recycling bzw. Wiederverwendung der Elemente - 4.000 MJ/m³.

Für eine bessere Verdeutlichung des Recyclingpotentials werden in der folgenden Tab. 22 die Szenarien A-C sowie A-D für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf dargestellt. Beim Brettschichtholz wird das Modul D vor allem durch die thermische Verwertung im Biomassekraftwerk, welche für beträchtliche Gutschriften sorgt, definiert. Die Summe an nicht erneuerbarem Primärenergiebedarf im Szenario A-D beträgt für BSH -2.500 MJ/m³. Zudem müssen für das Szenario A-D die Recyclingfaktoren berücksichtigt werden. Bei den Betonwerkstoffen liegen die Werte bei knapp 1.000 MJ/m³ im Szenario A-D. Bei den Stahlwerkstoffen sind die Werte für das Szenario A-D mit 6.800 MJ/m³ und 7.500 MJ/m³ am höchsten. Jedoch sind die Daten aus dem Modul D aufgrund der teils fehlenden bzw. undurchsichtigen Angaben in den EPDs mit Vorsicht zu betrachten.

5.2.2 ERNEUERBARER PRIMÄRENERGIEBEDARF PERT BAUSTOFFE

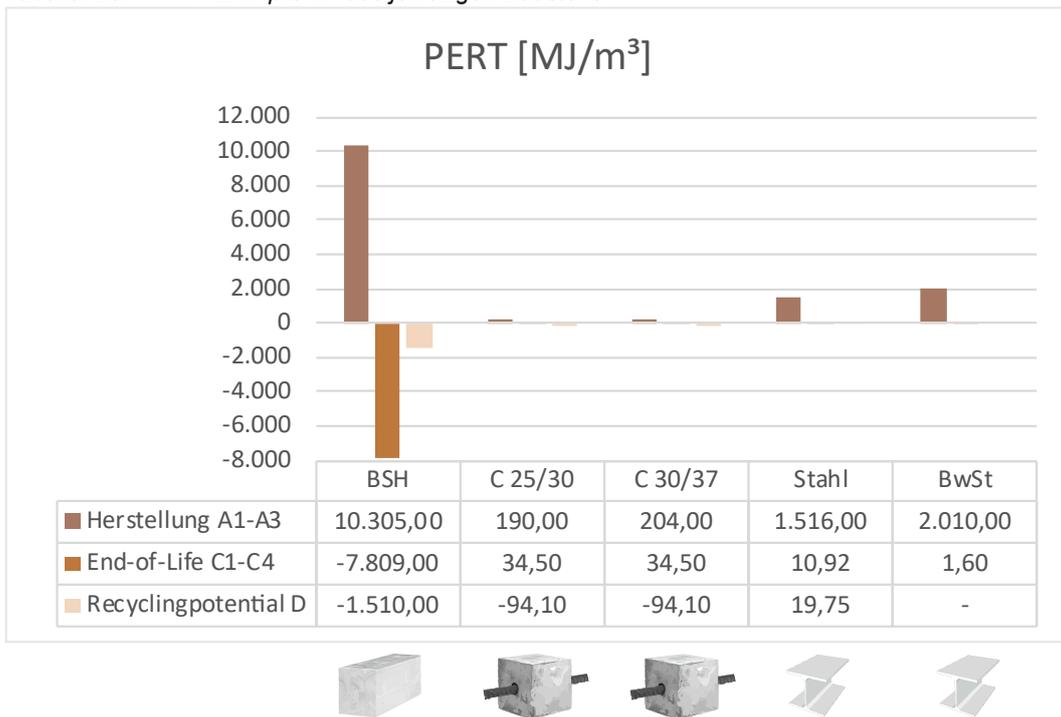
Bei der Herstellung von 1 m³ BSH wird mehr als sechsmal soviel erneuerbare Energie (z.B. Sonnenenergie) benötigt als bei nicht erneuerbaren Energieträgern. Diese kann in der Entsorgungs- bzw. Recyclingphase durch die thermische Verwertung teilweise wieder zurückgewonnen werden. Neben dem erneuerbaren Primärenergiebedarf für Brettschichtholz wird in Tab. 23 auch der erneuerbare Primärenergiebedarf für die Beton- und Stahlwerkstoffe dargestellt. Bei den Betonwerkstoffen liegt der erneuerbare Energiebedarf für die Herstellungsphase bei rund 200 MJ/m³, wohingegen der Bedarf bei den Stahlbaustoffen zwischen 1.500 MJ/m³ und 2.000 MJ/m³ liegt. In der Entsorgungsphase C1-C4 weisen die Beton- und Stahlbaustoffe mit 34,50 MJ/m³ und 10,92 MJ/m³ ähnlich niedrige Werte auf. In der Recyclingphase fallen durch die Verwendung des Betonabbruchs Gutschriften von jeweils 94,10 MJ/m³ für die Betonbaustoffe an.

Tabelle: 22. Summe PENRT (Szenario) pro m³ des jeweiligen Baustoffs



Für eine bessere Verdeutlichung des Recyclingpotentials, werden in der folgenden Tab. 24 die Szenarien A-C sowie A-D für den erneuerbaren Primärenergiebedarf dargestellt. Bei den Betonbaustoffen sorgt das Modul D, aufgrund der Verwendung des Betonabbruchs, für Gutschriften - 94,10 MJ/m³. Hier liegt der Bedarf für das Szenario A-D bei rund 150 MJ/m³. Beim Brettschichtholz wird in Form der Gutschriften aus dem Modul D und den miteinbezogenen Recyclingfaktoren für die Module A-D rund 7.000 MJ/m³ an erneuerbarer Primärenergie für das Szenario A-D benötigt. Aufgrund der teilweise undurchsichtigen Daten in den Umweltproduktdeklarationen sind die Werte für das Modul D stets mit Vorbehalt zu betrachten.

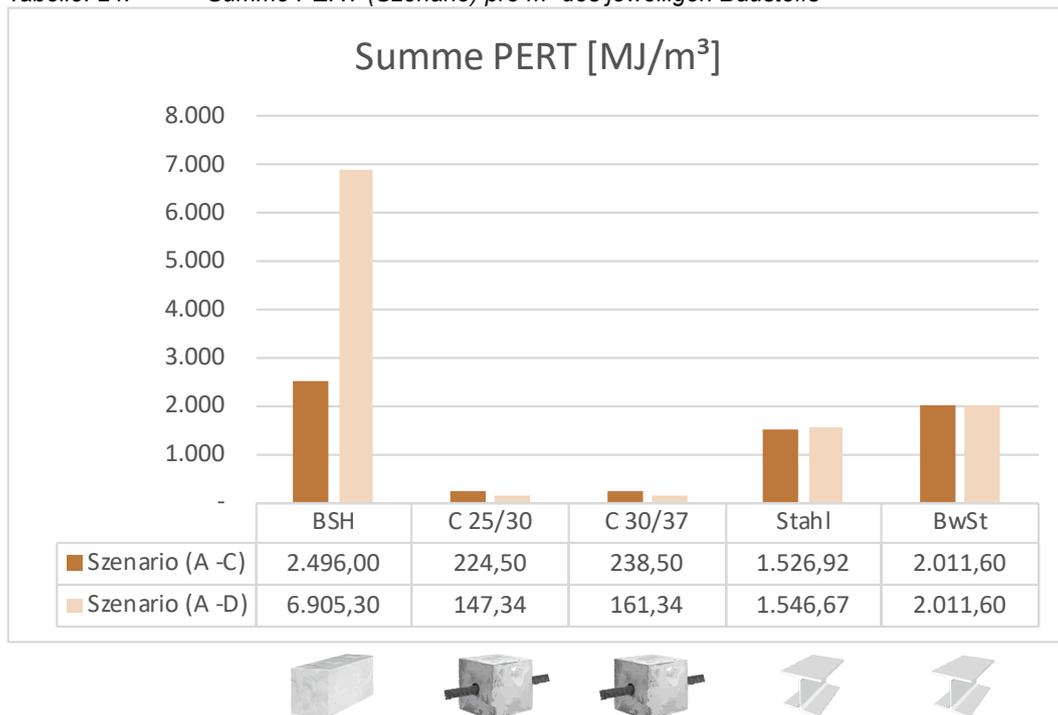
Tabelle: 23. PERT pro m³ des jeweiligen Baustoffs



5.2.3 SUMME PRIMÄRENERGIEBEDARF PE BAUSTOFFE

Tab. 25 zeigt den gesamten Primärenergiebedarf an nicht erneuerbaren und erneuerbaren Energieträgern, welche in Folge ihres Lebenszyklus für die Baustoffe anfallen. In der Herstellungsphase A1-A3 benötigt BSH mit 11.900 MJ/m³ in etwa gleich viel an nicht erneuerbaren und erneubaren Energieträgern wie Baustahl mit 13.000 MJ/m³. In ihrer Entsorgungsphase C1-C4 unterscheiden sich die beiden Baustoffe jedoch stark. Während BSH eine Gutschrift von -7.800 MJ/m³ in der Entsorgungsphase aufweist, fallen bei Baustahl mit 43,12 MJ/m³ Energielasten an. Die beiden Betonwerkstoffe C 25/30 und C 30/37 benötigen in der Herstellungsphase in etwa 1.200 MJ/m³ an nicht erneuerbaren und erneuerbaren Energieträgern. In der Entsorgungsphase fallen bei

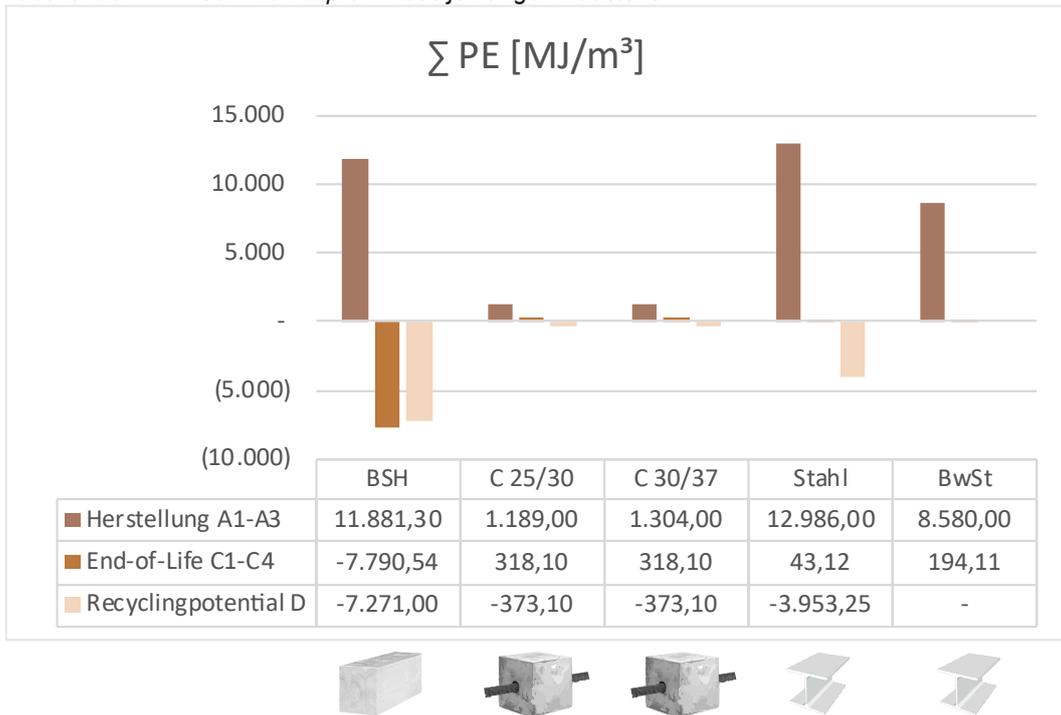
Tabelle: 24. Summe PERT (Szenario) pro m³ des jeweiligen Baustoffs



beiden Varianten 318,10 MJ/m³ an nicht erneuerbarer und erneuerbarer Primärenergie an. In der Recyclingphase weisen alle Baustoffe bis auf den Bewehrungsstahl, dieser ist bereits zu 100% aus Sekundärmaterial produziert, ökobilanzielle Gutschriften auf. Während BSH mit - 7.271 MJ/m³ am meisten Gutschrift aufweist, erzielen die beiden Betonwerkstoffe mit - 373,10 MJ/m³ die geringste Gutschrift. Dazwischen liegt mit - 3.953 MJ/m³ ökobilanzieller Gutschrift der Baustahl.

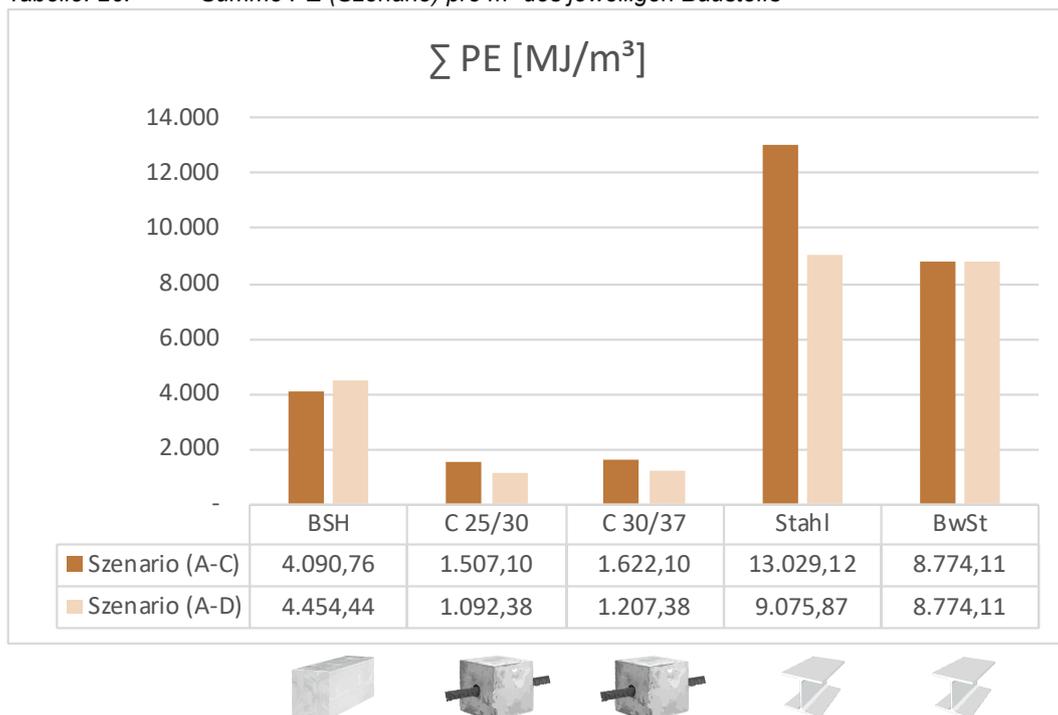
Tab. 26 zeigt für eine bessere Verdeutlichung des Recyclingpotentials D, die Szenarien A-C sowie A-D für den gesamten Primärenergiebedarf an nicht erneuerbaren und erneuerbaren Energiequellen. Man sieht, dass für das Szenario A-C und das Szenario A-D bei allen Baustoffen der gesamte Primärenergiebedarf an nicht erneuerbaren und

Tabelle: 25. Summe PE pro m³ des jeweiligen Baustoffs



erneuerbaren Energieträgern in etwa gleich groß ist. Aufgrund der teilweise undurchsichtigen Daten in den Umweltproduktdeklarationen sind diese Werte für die Recyclingphase jedoch kritisch zu betrachten.

Tabelle: 26. Summe PE (Szenario) pro m³ des jeweiligen Baustoffs



5.2.4 TREIBHAUSPOTENTIAL GWP BAUSTOFFE

Das Treibhauspotential zählt neben dem Versauerungspotential zu den wichtigsten Wirkungskategorien einer Ökobilanzierung. Beim Holzwerkstoff BSH fließen rund 1.100 kg CO₂ pro m³ in Form von im Holz gespeichertem Kohlenstoff in die Ökobilanz mit ein. Zu sehen ist dies in Tab. 27 und wird durch die negativen Werte in der Herstellungs- und Recyclingphase dargestellt. In der End-of-Life Phase wird die gespeicherte Menge an Kohlenstoff (750 kg CO₂/m³) im BSH dem System in Form von Altholz (thermische Verwertung) wieder entzogen.

Bei den Betonwerkstoffen fallen in der Herstellungsphase bis zu 220 kg CO₂/m³ an während in der Entsorgungsphase rund 21 kg CO₂ pro m³ in die Bilanzierung miteinbezogen werden. In der Recyclingphase können für die Betonwerkstoffe C 25/30 und

C 30/37 Gutschriften in ähnlicher Höhe verzeichnet werden, siehe Tab. 27.

Die Stahlbauwerkstoffe verursachen die höchsten Treibhausgasemissionen. Hier fallen in der Herstellungsphase A1-A3 rund 1.100 kg CO₂ pro m³ an, während der Bewehrungsstahl rund 450 kg CO₂ pro m³ verursacht. Ähnlich wie beim Holzwerkstoff BSH kann auch für den Baustahl in der Recyclingphase eine Gutschrift in Form von 413 kg CO₂ pro m³ gewonnen werden. Beim Bewehrungsstahl hingegen gibt es keine Gutschriften, da dieser bereits zu 100% aus Sekundärmaterial produziert wird.

In der Entsorgungsphase fallen bei beiden Stahlbaustoffen nur geringe Treibhausgasemissionen an, dargestellt in Tab. 27.

Tabelle: 27. GWP pro m³ des jeweiligen Baustoffs

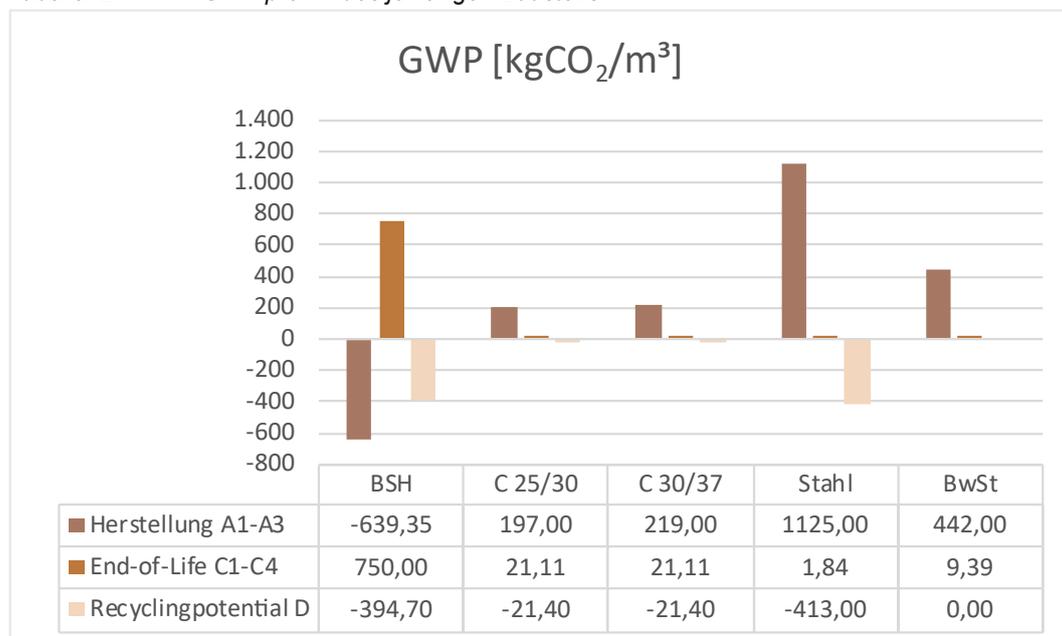
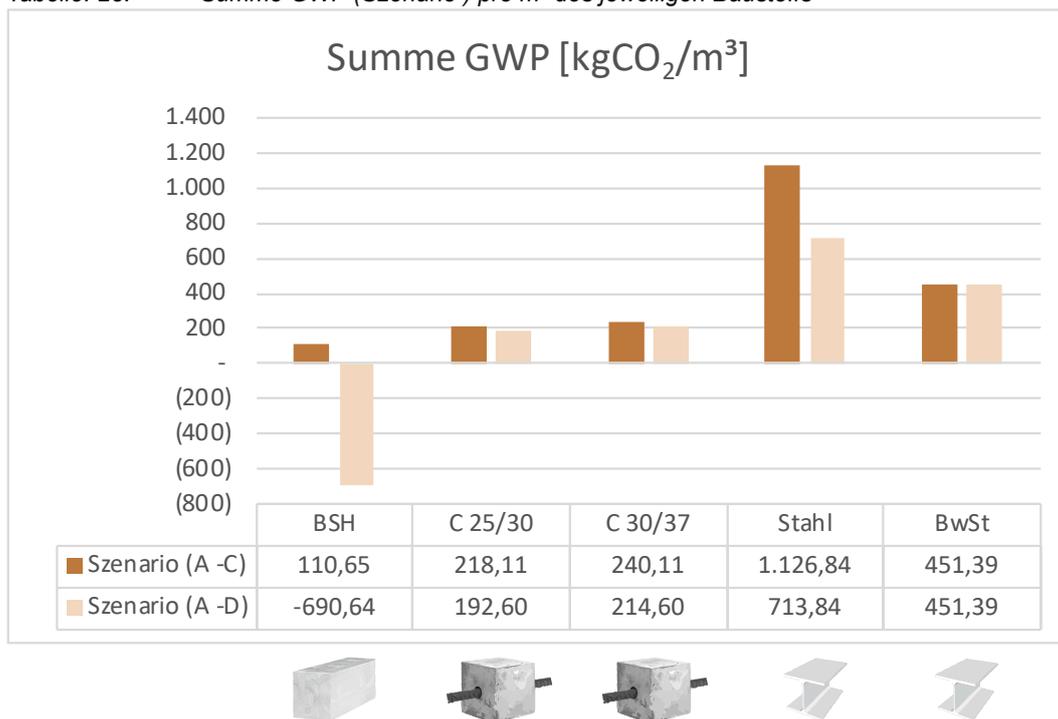


Tabelle: 28. Summe GWP (Szenario) pro m³ des jeweiligen Baustoffs



Für eine bessere Verdeutlichung des Recyclingpotentials, werden in der Tab. 28 die Szenarien A-C sowie A-D für das Treibhauspotential GWP dargestellt. Beim Baustoff Brettschichtholz BSH sorgt das Modul D, aufgrund der thermischen Verwertung im Biomassekraftwerk und der miteinbezogenen Recyclingfaktoren für die Module A-D im Szenario A-D, für erhebliche Gutschriften. So fließen im Szenario A-D rund 690 kg CO₂ pro m³ in Form von im Holz gespeichertem Kohlenstoff in die Ökobilanz mit ein. Bei den Betonwerkstoffen C 25/30 und C 30/37 bewegen sich die Bilanzierungswerte für die beiden Szenarien A-C und A-D im annähernd gleichen Bereich. Auch bei den Stahlwerkstoffen sind es ähnliche Werte. Aufgrund der teilweise undurchsichtigen Daten in den Umweltproduktdeklarationen sind diese Werte für die Recyclingphase jedoch kritisch zu betrachten.

5.2.5 VERSAUERUNGSPOTENTIAL AP BAUSTOFFE

Tab. 29 zeigt die Umwelteinwirkungen der einzelnen Baustoffe im Hinblick auf das Versauerungspotential AP. Neben den Treibhausgasemissionen zählt das Versauerungspotential zu den wichtigsten Umweltindikatoren bei einer Ökobilanzierung. In der Herstellungsphase A1-A3 bewegen sich die Werte vom BSH und die der Betonwerkstoffe auf einem ähnlichen Niveau. Bei der Herstellung von Baustahl jedoch sind die Werte mehr als fünf Mal so hoch wie die vom BSH oder der Betonwerkstoffe C 25/30 und C 30/37. In der Recyclingphase erzielen sowohl BSH als auch die Beton- und Stahlbaustoffe Gutschriften, welche sich positiv auf die Bilanz auswirken. In der Entsorgungsphase fallen bei allen Baustoffen kaum bis wenig Emissionswerte an.

Tabelle: 29. AP pro m³ des jeweiligen Baustoffs

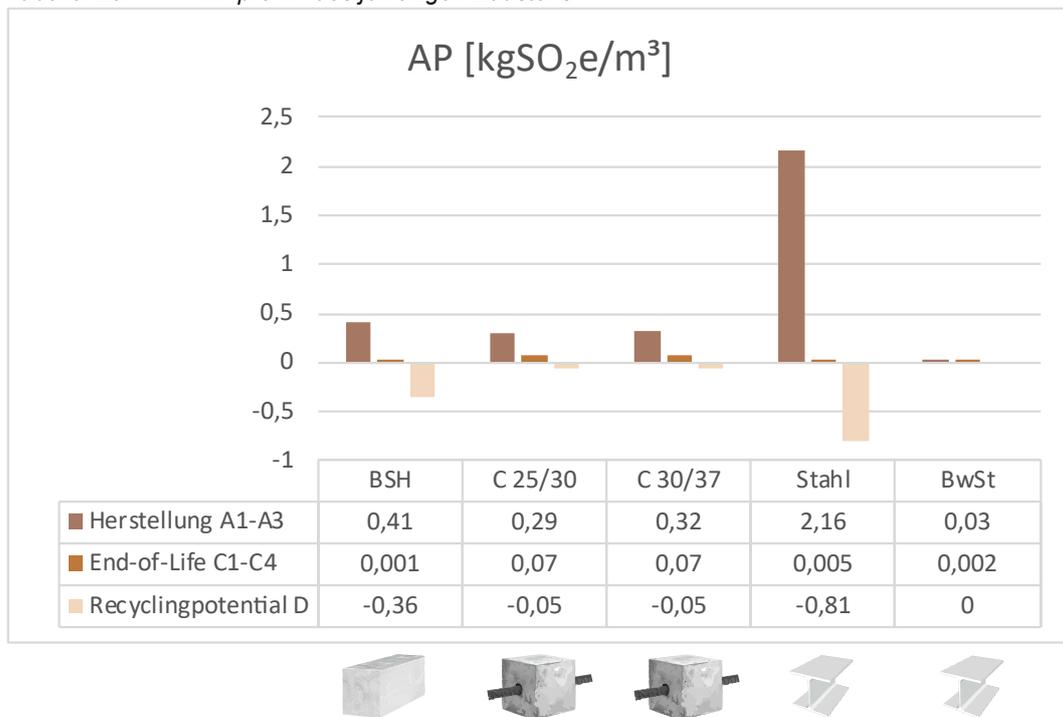
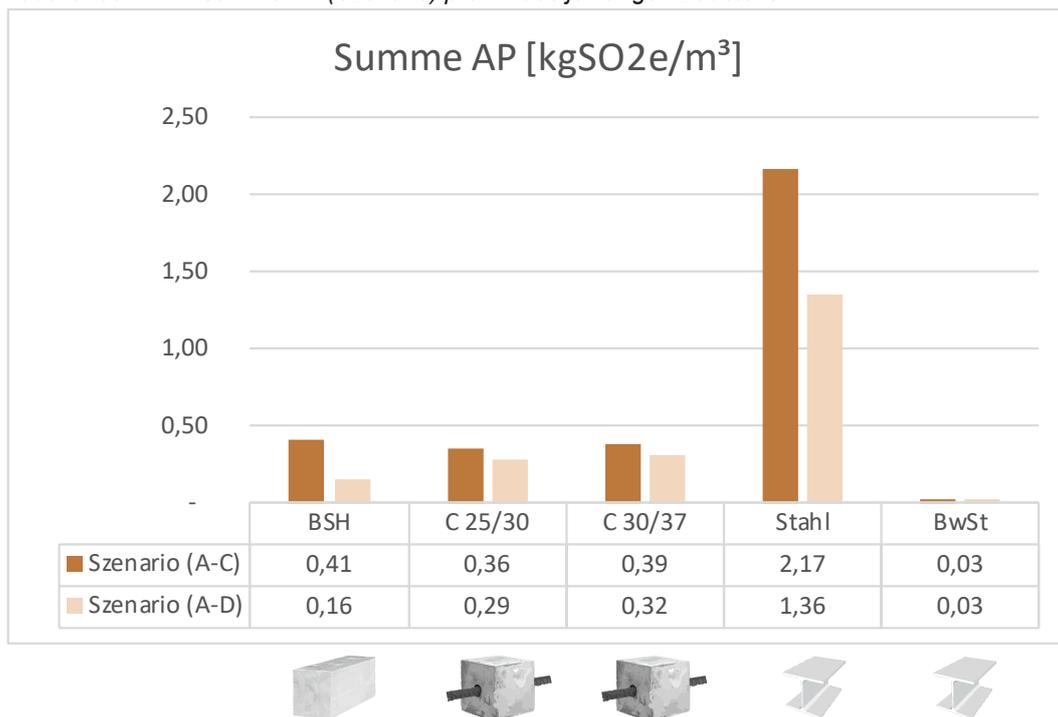


Tabelle: 30. Summe AP (Szenario) pro m³ des jeweiligen Baustoffs



Für eine bessere Verdeutlichung des Recyclingpotentials, werden in der Tab. 30 die Szenarien A-C sowie A-D für das Versauerungspotential AP dargestellt. Beim Baustoff Brettschichtholz BSH sorgt das Modul D, aufgrund der thermischen Verwertung im Biomassekraftwerk und der miteinbezogenen Recyclingfaktoren für die Module A-D im Szenario A-D, für Gutschriften. Auch beim Baustahl sorgt die Recyclingphase im Modul D für das Szenario A-D für erhebliche Gutschriften. Bei den Betonwerkstoffen C 25/30 und C 30/37 bewegen sich die Bilanzierungswerte durch die geringe Gutschrift im Modul D für die beiden Szenarien A-C und A-D im annähernd gleichen Bereich. Aufgrund der teilweise undurchsichtigen Daten in den EPDs sind diese Werte für die Recyclingphase stets mit Vorbehalt zu betrachten.

5.2.6 DISKUSSION UND BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Würde nur die Gegenüberstellung der einzelnen Baustoffe für jeweils einen Kubikmeter des jeweiligen Materials betrachtet werden, so wäre davon auszugehen, dass auch bei den unterschiedlichen Bauweisen, welche im nächsten Abschnitt bilanziert werden, die Stahlbauvariante am schlechtesten von allen Bauweisen abschneidet. Der Baustahl liefert im Vergleich zu den anderen Werkstoffen sowohl im Energiebedarf als auch bei den betrachteten Wirkungskategorien jeweils die schlechtesten Bilanzierungswerte.

Die besten Bilanzierungswerte für einen Kubikmeter des jeweiligen Materials liefert in der Betrachtung der Holzwerkstoff BSH. Dieser erzielt sowohl bei den Umwelteinwirkungen als auch beim Energiebedarf die besten Bilanzierungswerte. Hier wäre ebenfalls davon auszugehen, dass bei der Ökobilanzierung der unterschiedlichen Bauweisen die Varianten mittels Brettschichtholz BSH die besten ökobilanziellen Werte aufweisen.

Zwischen dem Holzwerkstoff BSH und den Stahlbaustoffen liegen die Betonwerkstoffe C 25/30 und C 30/37. Beide Baustoffe weisen sowohl bei den Umwelteinwirkungen als auch beim Energiebedarf ähnliche Werte auf und liegen in der Betrachtung der unterschiedlichen Wirkungskategorien jeweils zwischen dem Baustoff Brettschichtholz und den Stahlbaustoffen.

Die Gegenüberstellung der unterschiedlichen Materialien liefert einen ersten Ansatz für die Ökobilanzierung der unterschiedlichen Bauweisen, jedoch ist sie mit Vorsicht zu betrachten, da sie nur für jeweils einen Kubikmeter des jeweiligen Baustoffs ausgelegt wurde.

5.3 ÖKOBILANZIELLER VERGLEICH BAUWEISEN

In diesem Abschnitt erfolgt nun die ökobilanzielle Gegenüberstellung der unterschiedlichen Bauweisen. Für die ökologische Bilanzierung der einzelnen Bauweisen müssen die aus Abschnitt 4.2.6 erfolgten Dimensionierungen beziehungsweise Mengenermittlungen mit den aus Abschnitt 5.2. untersuchten Wirkungskategorien der Baustoffe multipliziert werden. Als Referenzeinheit dient jeweils 1 m³ des jeweiligen Materials. Die Ergebnisse der verschiedenen Bauweisen werden in Tab. 31 dargestellt.

Wie bereits beim ökobilanziellen Vergleich der einzelnen Baustoffe liegt auch hier der Fokus auf den Lebenszyklusphasen A-C. Neben der Herstellungsphase (A1-A3) wird ebenfalls die Entsorgungsphase C1-C4 berücksichtigt. Die Module A4-A5 (Transport & Einbau) werden aufgrund der geringen Gewichtung und fehlender Datensätze in den Umweltproduktdeklarationen nicht in die Bilanzierung miteinbezogen.

Ebenfalls nicht berücksichtigt werden die Module B1-B7. Hier ist davon auszugehen, dass für die untersuchten Tragswerkssysteme keinerlei Reparatur- oder Instandhaltungsmaßnahmen (B1-B5) während ihrer Nutzungsdauer von 50 Jahren anfallen. Dies bedeutet, dass in dieser Lebenszyklusphase weder Umweltlasten aufkommen noch Energie oder Wasser (B6- B7) verbraucht werden.

Nach der Gegenüberstellung (Szenario A-C) der einzelnen Bauweisen für die unterschiedlichen Wirkungskategorien wird, für eine bessere Abschätzung des Recyclingpotentials D, das Szenario A-C noch dem Szenario A-D gegenübergestellt. Beim Szenario A-D müssen die jeweiligen Module noch mit den Recyclingfaktoren versehen werden.

Tabelle: 31. Mengenermittlung Bauweisen

Bauweise I (Stahl)							
Bauteil	Menge [m³]		PENRT [MJ]	PERT [MJ]	∑ PE [MJ]	GWP [kgCO ₂]	AP [kgSO ₂]
Zweigelenrahmen	17,04		195.997	26.019	222.016	19.201	37
Fundamente	69,12		88.653	15.517	104.171	15.076	25
Bewehrung	0,44		2.976	885	3.861	199	0,01
Gesamt			287.626	35.368	330.048	34.476	62

Bauweise II (BSH)							
Bauteil	Menge [m³]		PENRT [MJ]	PERT [MJ]	∑ PE [MJ]	GWP [kgCO ₂]	AP [kgSO ₂]
Stützen	40,96		65.321	102.236	167.558	4.532	17
Binder	189,28		301.856	472.443	774.299	20.944	78
Fundamente	33,6		43.095	7.543	50.639	7.328	12,10
Bewehrung	0,24		1.623	483	2.106	108	0,01
Gesamt			411.896	582.705	994.601	32.913	107

Bauweise III (STB)							
Bauteil	Menge [m³]		PENRT [MJ]	PERT [MJ]	∑ PE [MJ]	GWP [kgCO ₂]	AP [kgSO ₂]
Stützen	64		88.550	15.264	103.814	15.367	25
Binder	199,68		276.277	47.624	323.901	47.945	78
Fundamente	68,16		87.422	15.302	102.724	14.866	24,54
Bewehrung	6,56		44.362	13.196	57.558	2.961	0,21
Gesamt			496.612	91.386	587.997	68.970	128

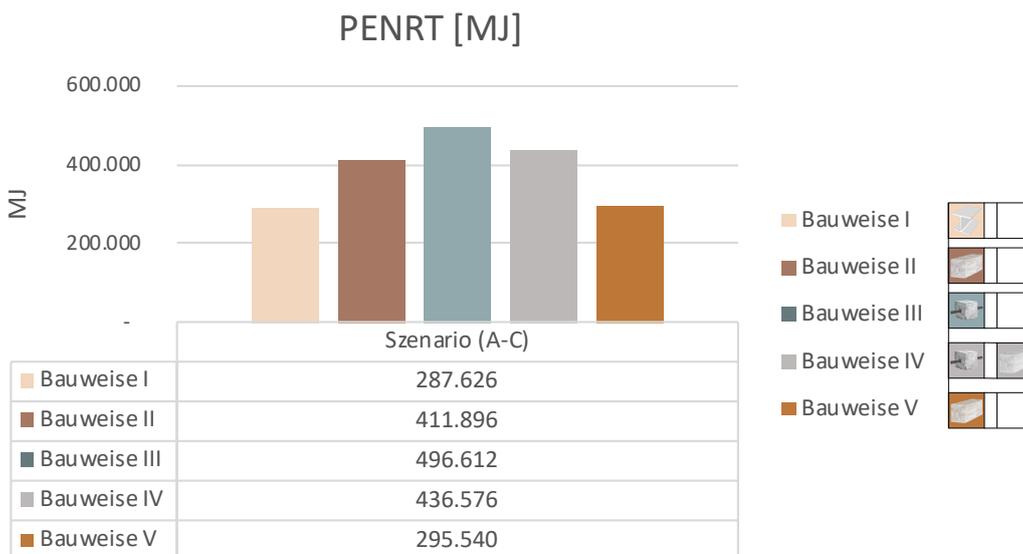
Bauweise IV (Mischbauweise)							
Bauteil	Menge [m³]		PENRT [MJ]	PERT [MJ]	∑ PE [MJ]	GWP [kgCO ₂]	AP [kgSO ₂]
Stützen (STB)	40,96		56.672	9.769	66.441	9.835	16
Binder (BSH)	189,28		301.856	472.443	774.299	20.944	78
Fundamente	56,0		71.826	12.572	84.398	12.214	20,16
Bewehrung	0,92		6.222	1.851	8.072	415	0,03
Gesamt			436.576	496.635	933.210	43.408	114

Bauweise V (Holz-Fachwerk)							
Bauteil	Menge [m³]		PENRT [MJ]	PERT [MJ]	∑ PE [MJ]	GWP [kgCO ₂]	AP [kgSO ₂]
Stützen	23		36.679	57.408	94.087	2.545	9
Binder	139,68		222.756	348.641	571.397	15.456	57
Fundamente	27,2		34.887	6.106	40.993	5.933	9,79
Bewehrung	0,18		1.217	362	1.579	81	0,01
Gesamt			295.540	412.518	708.057	21.985	77

5.3.1 PENRT BAUWEISEN

Tab. 32 zeigt den Primärenergiebedarf aus nicht erneuerbaren Energieträgern, welche im Laufe ihrer Lebenszyklusphasen für die einzelnen Bauweisen anfallen. Die Stahlbetonvariante (Bauweise III) weist mit rund 500.000 MJ den höchsten Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie auf. Dies liegt vor allem daran, dass zum einen für die Herstellung (A1-A3) von Betonwerkstoffen hauptsächlich nicht erneuerbare Energieträger wie z.B. Erdöl oder Kohle benötigt werden und zum anderen das Gewicht der Tragwerkskonstruktion vor allem durch die Stahlbetonbinder bestimmt wird. Den eigentlich größten Bedarf an nicht erneuerbaren Energieträgern für 1 m³ des jeweiligen Materials hat die Stahlbauvariante. Diese hat jedoch aufgrund ihrer filigranen Bauweise und der damit verbundenen Gewichtsreduktion einen Primärenergiebedarf an nicht erneuerbaren Energiequellen von ca. 290.000 MJ, und weist somit den niedrigsten Wert aller Bauweisen auf, siehe Tab. 32. Ebenfalls einen ähnlichen Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie hat die BSH-Fachwerkvariante (Bauweise V) mit knapp

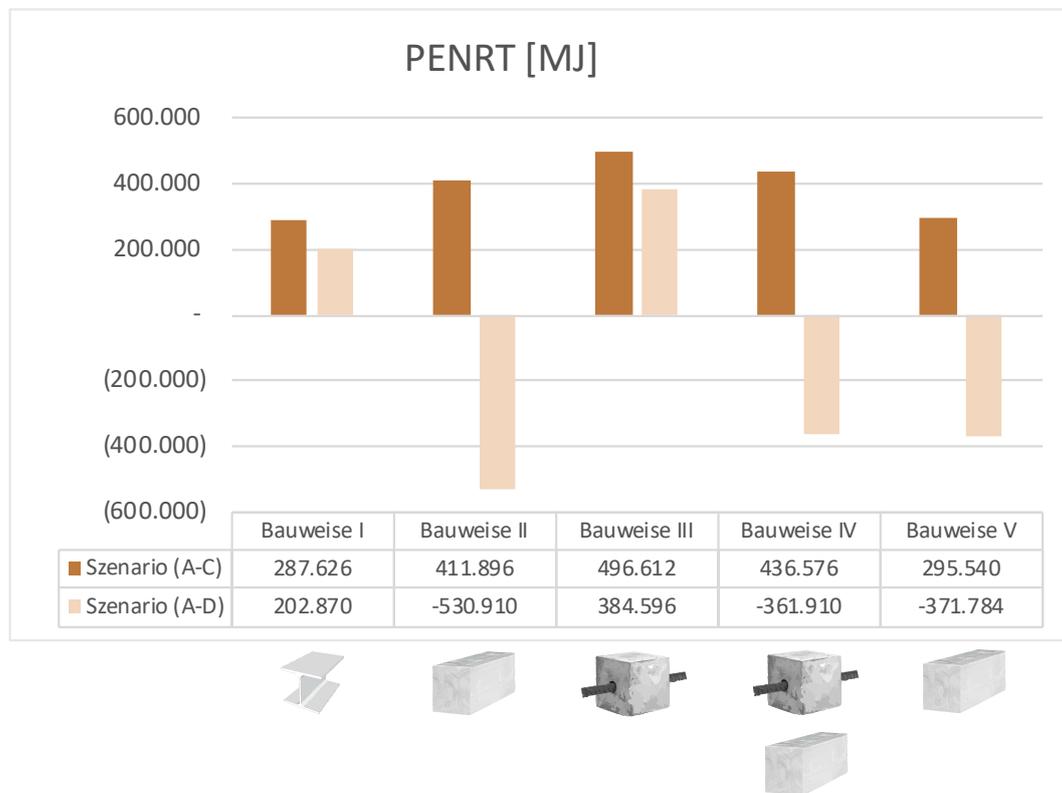
Tabelle: 32. PENRT Bauweisen



295.000 MJ. Der Primärenergiebedarf an nicht erneuerbaren Energiequellen der Brettschichtholzbauweise liegt mit 412.000 MJ über der Fachwerkbauweise und unter der Mischbauvariante (Bauweise IV) mit 437.000 MJ. Bei allen fünf Bauweisen fallen während der Entsorgungsphase keinerlei Gutschriften an.

In Abhängigkeit der beiden untersuchten Szenarien A-C und A-D ist der Gesamtbedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie für die unterschiedlichen Bauweisen in Tab. 33 dargestellt. Dies soll vor allem helfen, den Einfluss der Lebenszyklusphase D und das damit verbundenen Recyclingpotential besser interpretieren zu können. Für das Szenario A-D müssen die einzelnen Module noch mit den jeweiligen

Tabelle: 33. PENRT Szenario Bauweisen

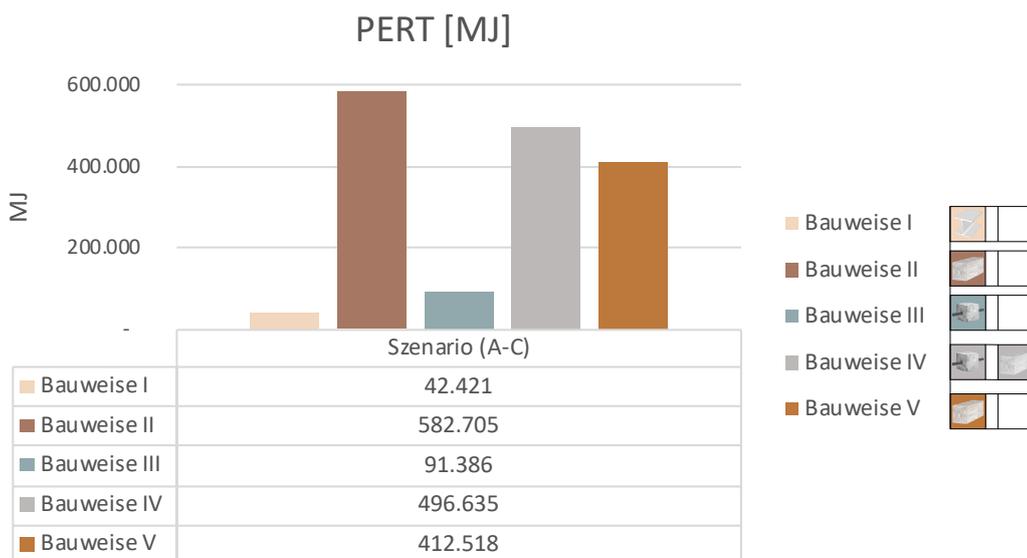


Recyclingfaktoren versehen werden. Im Szenario A-D sind es vor allem die Holzbauweisen, welchen das Modul D seinen Stempel aufdrückt. Durch die thermische Verwertung des Holzes im Biomassekraftwerk wird neben Strom auch Wärme erzeugt, was für erhebliche Gutschriften während dieser Lebenszyklusphase sorgt. Bei der Brettschichtholzbauweise beträgt die Summe des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs im Szenario A-D aufgrund der Gutschriften des Holzwerkstoffs - 530.000 MJ. Die Bauweisen I und III weisen aufgrund der geringeren Gutschriften im Modul D im Szenario A-D positive Werte für den Bedarf an nicht erneuerbaren Energieträgern auf, siehe Tab. 33. Aufgrund der ungenauen Angaben in den EPDs zum Modul D sind die Werte jedoch kritisch zu bewerten, da jeder Hersteller seine eigenen Ansätze verfolgt.

5.3.2 PERT BAUWEISEN

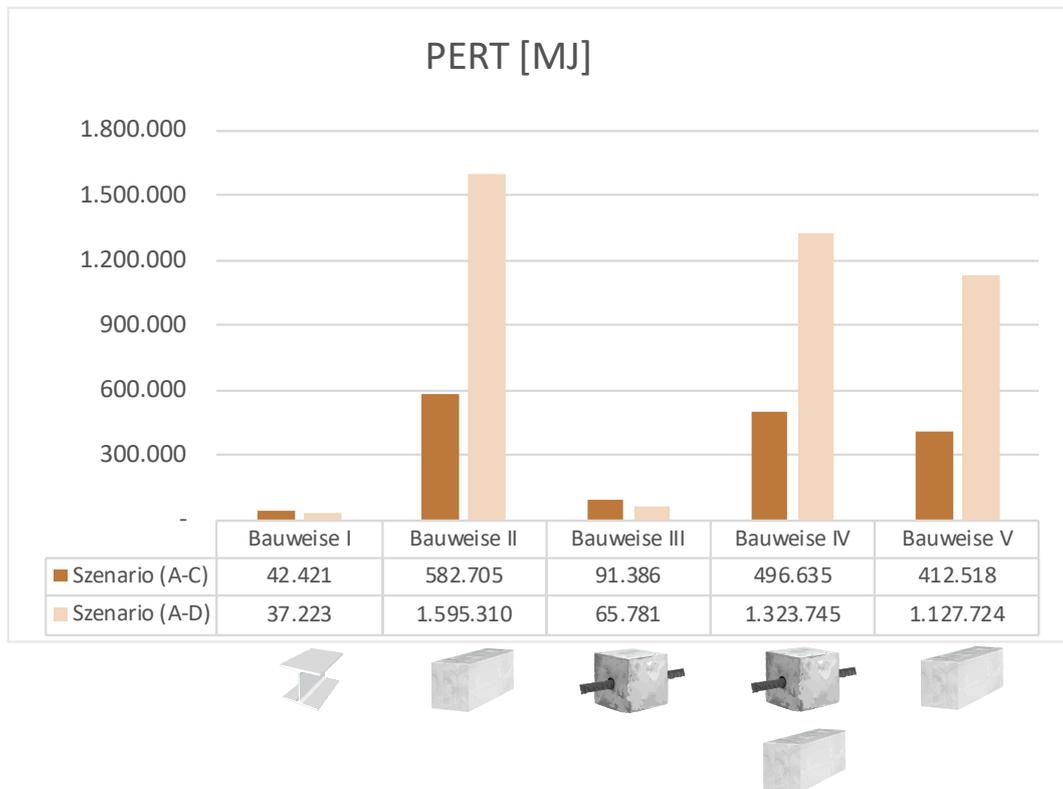
Der Bedarf an erneuerbarer Primärenergie für die unterschiedlichen Bauweisen stammen vor allem aus dem stofflichen Ressourcenverbrauch sowie dem Einsatz von

Tabelle: 34. PERT Bauweisen



nachhaltigen Energiequellen wie Sonnenenergie (Solarthermie und Photovoltaik), Wasser- und Windkraft, Geothermie oder Biomasse während der Herstellungsphase A1-A3. Die Bauweisen mit Holzanteil bestimmen diese Lebenszyklusphase. Auch in der Entsorgungsphase C1-C4 sind die Holzbauweisen tonangebend. Durch die thermische Verwertung am Ende ihres Lebenszyklus können beträchtliche Gutschriften erzielt werden. Den größten erneuerbaren Primärenergiebedarf weist die BSH Bauweise mit knapp 580.000 MJ auf, siehe Tab. 34. Dahinter folgt die Mischbauweise mit rund 500.000 MJ gefolgt von der Fachwerkbauweise mit 412.000 MJ. Bestimmt wird der erneuerbare Primärenergiebedarf in diesen Bauweisen vor allem durch den Binder, dargestellt in Tab.31. Schlusslicht mit knapp über 40.000 MJ an erneuerbaren

Tabelle: 35. PERT Szenario Bauweisen



Primärenergiebedarf ist die Stahlbauvariante. Durch den geringen Energiebedarf in der Herstellungsphase A1-A3 und der im Verhältnis zu den anderen Bauweisen leichten Konstruktion ergibt sich dieses Ergebnis.

In Abhängigkeit der beiden untersuchten Szenarien A-C und A-D ist der Gesamtbedarf an erneuerbarer Primärenergie für die unterschiedlichen Bauweisen in Tab. 35 dargestellt. Dies soll vor allem helfen, den Einfluss der Lebenszyklusphase D und das damit verbundene Recyclingpotential besser interpretieren zu können.

Für das Szenario A-D müssen die einzelnen Module noch mit den jeweiligen Recyclingfaktoren versehen werden. Im Szenario A-D liegen für die Holzbauweisen deutlich höhere Bilanzwerte vor als für das Szenario A-C. Dies ergibt sich vor allem durch den geringen Wirkungsgrad, welche die thermische Verwertung des Holzes im Biomassekraftwerk für Modul D aufweist. Die Brettschichtholzbauweise (Bauweise II) weist mit 1.600.000 MJ den höchsten Bedarf an erneuerbarer Primärenergie für das Szenario A-D auf, gefolgt von den beiden anderen Holzbauweisen III und V. Die Stahlbetonvariante weist aufgrund der geringen Gutschriften im Modul D im Szenario A-D einen niedrigeren Bedarf an erneuerbarer Primärenergie auf als im Szenario A-C, dargestellt in Tab. 35. Aufgrund der teilweise mangelhaften Angaben in den Umweltproduktdeklarationen zum Modul D, sind diese Werte jedoch mit Vorbehalt zu betrachten.

5.3.3 PE BAUWEISEN

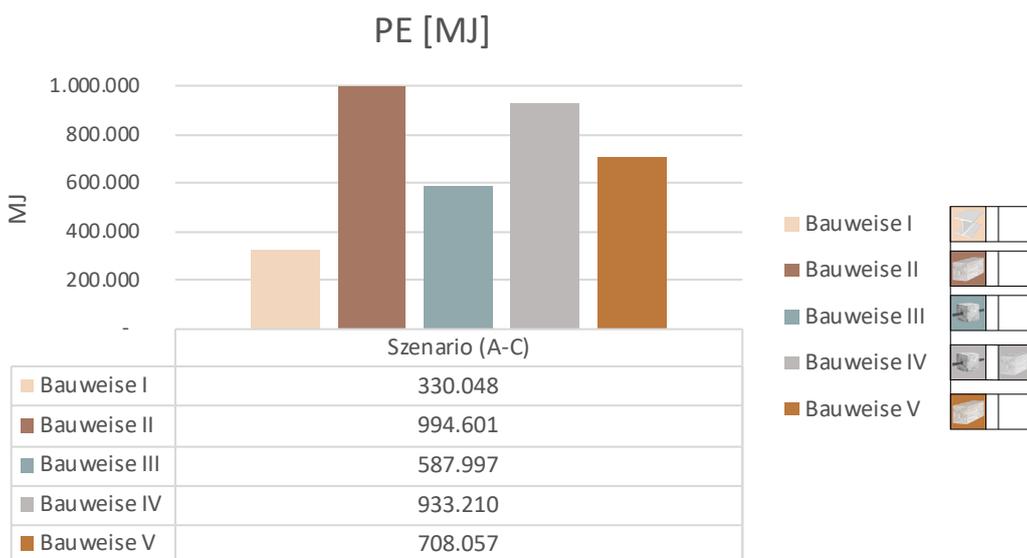
In Tab. 36 wird der gesamte Primärenergiebedarf, welcher sich aus der Summe der nicht erneuerbaren und erneuerbaren Energieträger zusammensetzt, dargestellt. Aufgrund des hohen Energiebedarfs an erneuerbaren als auch an nicht erneuerbaren Energiequellen sind auch in dieser Statistik die Holzbauweisen tonangebend. Dies ist vor allem der Herstellungsphase A1-A3 geschuldet. Tab. 36 zeigt einen ähnlich hohen Gesamtenergiebedarf der Bauweise II mit knapp 1.000.000 MJ und der Bauweise IV mit 930.00 MJ, gefolgt von der Fachwerkbauweise mit rund 700.000 MJ. Den niedrigsten Gesamtenergiebedarf an nicht erneuerbarer und erneuerbarer Primärenergie hat die

Stahlbauvariante mit knapp 330.000 MJ. Die großen Bilanzunterschiede ergeben sich vor allem durch die Gewichtsunterschiede aus der Tragwerkskonstruktion sowie dem geringen Bedarf an erneuerbarer Primärenergie für die Stahlbauweise.

In Abhängigkeit der beiden untersuchten Szenarien A-C und A-D ist der Gesamtbedarf, welcher sich aus der Summe der nicht erneuerbaren und erneuerbaren Primärenergieträger zusammensetzt, für die unterschiedlichen Bauweisen in Tab. 37 abgebildet. Dies soll vor allem helfen, den Einfluss aus Modul D und das damit verbundene Recyclingpotential besser abschätzen zu können.

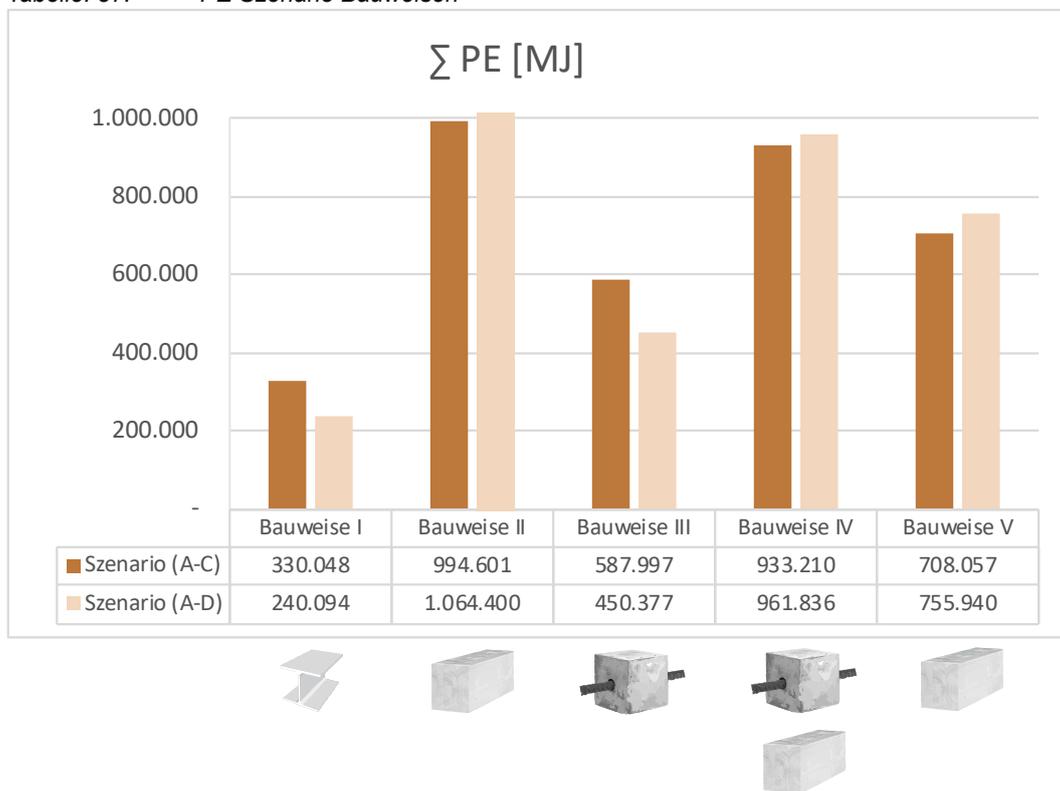
Für das Szenario A-D müssen die einzelnen Module noch mit den jeweiligen Recyclingfaktoren versehen werden. Im Vergleich der beiden Szenarien A-C und A-D für die Holzbauweisen liegen die Bilanzwerte für das Szenario A-D dabei jeweils etwas über den Vergleichswerten des Szenarios A-C. Dies ergibt sich vor allem durch den geringen Wirkungsgrad, welche die thermische Verwertung des Holzes im Biomassekraftwerk für Modul D aufweist. Im Gegensatz zu den Holzbauweisen erzielen die

Tabelle: 36. PE Bauweisen



Stahlbetonvariante und die Stahlbauweise im Modul D Gutschriften. woraus sich ein niedrigerer Gesamtprimärenergiebedarf im Szenario A-D als im Szenario A-C ergibt, siehe Tab. 37. Aufgrund der teilweise mangelhaften Angaben in den Umweltproduktdeklarationen zum Modul D, sind diese Werte jedoch kritisch zu betrachten.

Tabella: 37. PE Szenario Bauweisen

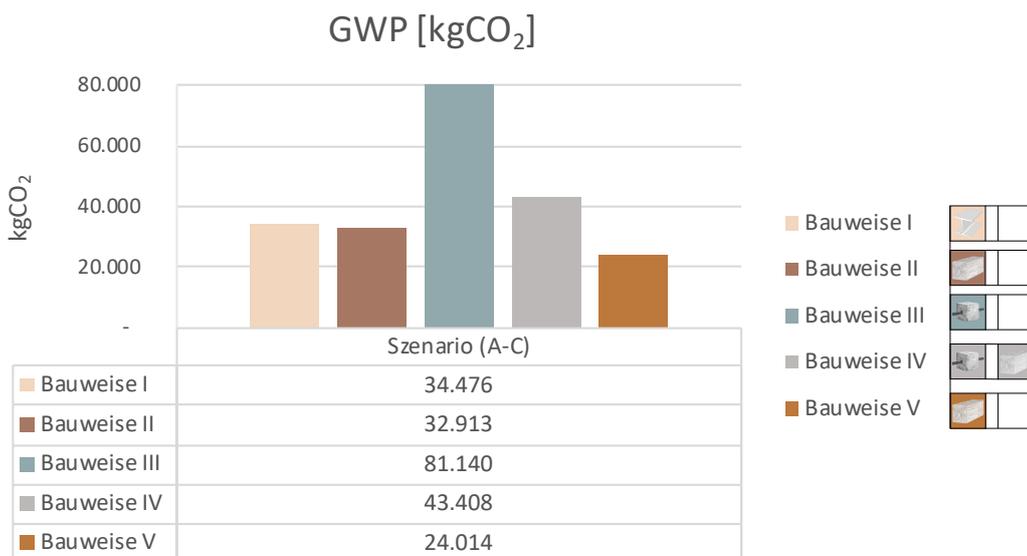


5.3.4 GWP BAUWEISEN

Im Folgenden sind die Bilanzierungswerte des Treibhauspotentials GWP für die unterschiedlichen Bauweisen gemäß Tab. 38 dargestellt. Die Werte ergeben sich aus den Lebenszyklusphasen A-C (Herstellung bis Entsorgung). Betrachtet wird wie bei allen

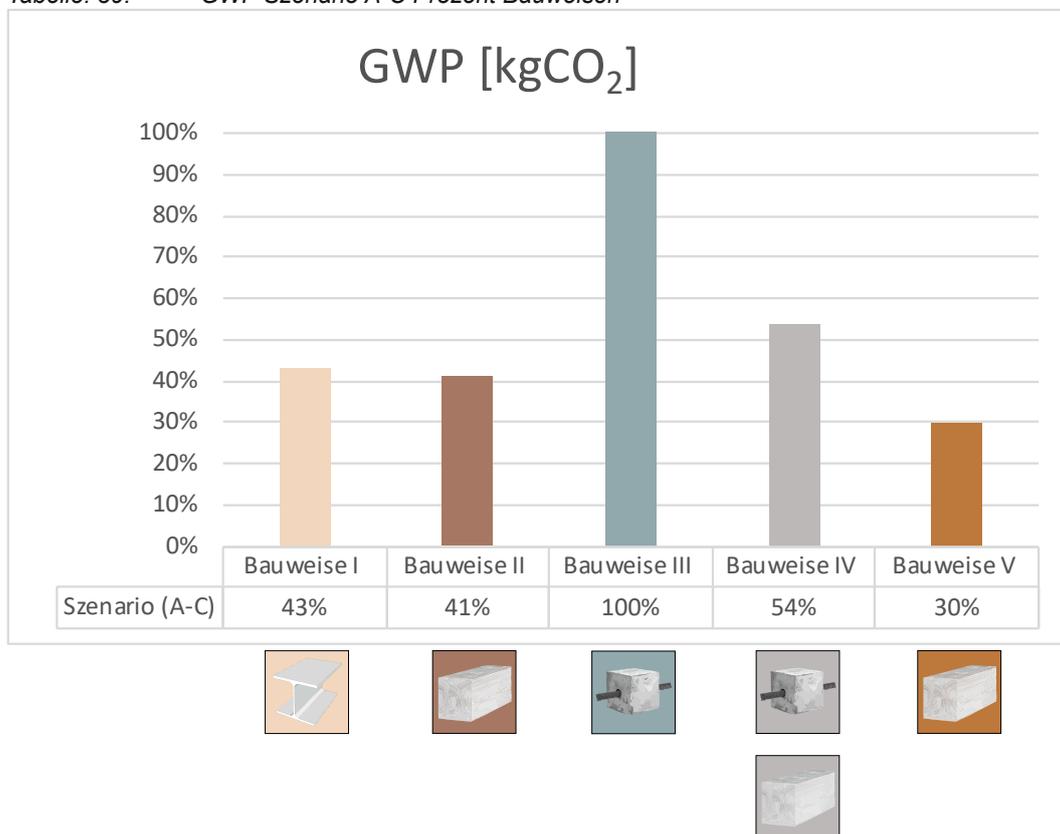
anderen Kategorien zu Beginn des Szenario A-C. Das Treibhauspotential ist einer der wichtigsten Indikatoren für die Umwelteinwirkung eines Produkts, da sie in direktem Bezug zur globalen Erwärmung steht. Tonangebend und somit größter Umweltsünder ist ganz klar die Stahlbetonvariante mit knapp über 80.000 kgCO₂. Die Bilanzierungswerte zur Stahlbetonvariante ergeben sich vor allem aus der Herstellungsphase A1-A3 sowie der Entsorgungsphase C1-C4. Zudem weist die Stahlbetonbauweise mit ihren Querschnitten eine hohe Baumasse auf. Die umweltfreundlichste Konstruktion ist die BSH Fachwerkbauweise. Sie verursacht nicht mal ein Drittel der Umwelteinwirkungen von der Stahlbetonvariante. In Tab. 39 dargestellt sind die unterschiedlichen Bauweisen im Verhältnis der verursachten Treibhausgasemissionen (Szenario A-C) im Prozentsatz zueinander. Die Stahlbetonbauweise ist der größte Umweltsünder und wird somit als Referenzwert (100%) herangezogen. Die Mischbauweise (Stahlbeton Stützen + BSH Binder) verursacht bereits nur rund die Hälfte der Umwelteinwirkungen der Stahlbetonvariante. Bei der BSH-Bauweise und Stahlbauweise sind es sogar nur

Tabelle: 38. GWP Bauweisen



ca. 40% der Umwelteinwirkungen. Am umweltfreundlichsten ist die bereits zuvor erwähnte Fachwerkbauweise (Bauweise V) mit nur rund 30% der Umwelteinwirkungen der Stahlbetonbauweise, siehe Tab. 39.

Tab. 39. GWP Szenario A-C Prozent Bauweisen

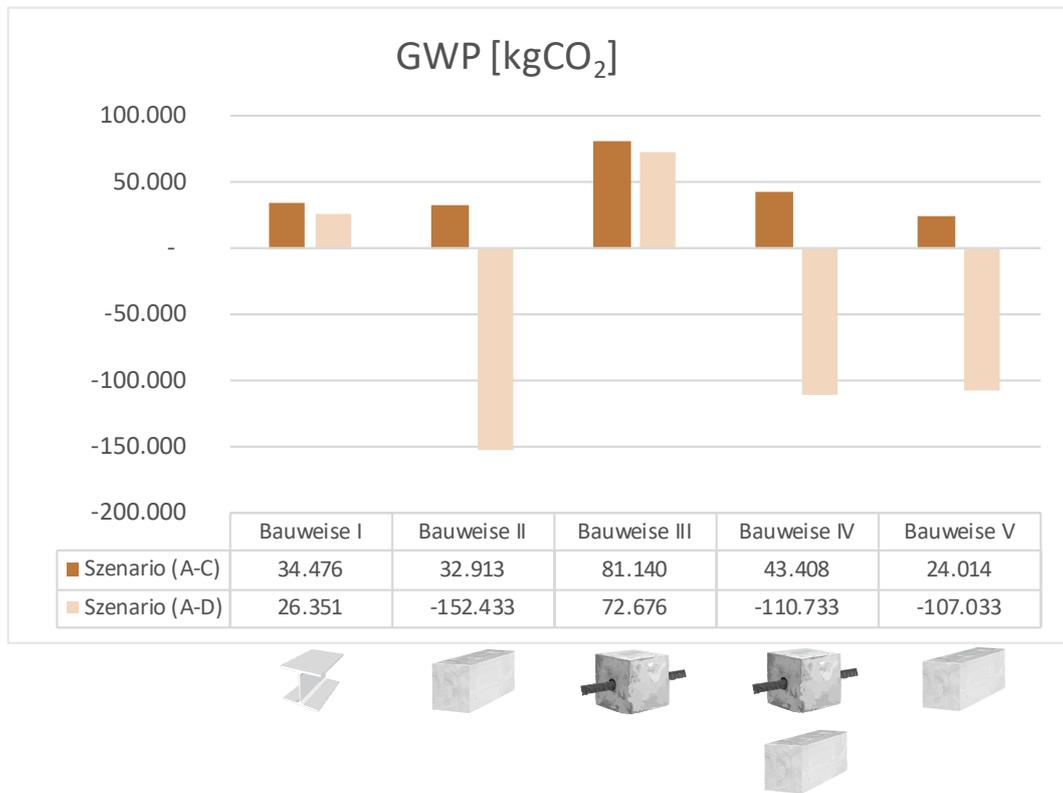


In Abhängigkeit der beiden untersuchten Szenarien A-C und A-D ist die verursachte Menge kgCO_2 für die unterschiedlichen Bauweisen in Tab. 40 dargestellt. Dies soll vor allem helfen, den Einfluss aus Modul D und das damit verbundene Recyclingpotential besser abschätzen zu können.

Für das Szenario A-D müssen die einzelnen Module noch mit den jeweiligen Recyclingfaktoren versehen werden. Im Vergleich der beiden Szenarien A-C und A-D liegen

die Bauweisen ohne Holzanteil im Szenario A-D jeweils etwas unter den Vergleichswerten des Szenarios A-C. Dies ergibt sich durch die geringen Gutschriften im Modul D siehe Tab. 40. Bei den Bauweisen mit Holzanteil befinden sich die Bilanzierungswerte fürs das Szenario A-D jeweils im hohen Minusbereich. Dies liegt vor allem am hohen Wirkungsgrad, welche die thermische Verwertung des Holzes im Biomassekraftwerk für Modul D aufweist. Hier liegt die Differenz bei der Brettschichtholzvariante (Bauweise II) zwischen dem Szenario A-C und A-D bei über 180.000 kgCO₂. Aufgrund der ungenauen Angaben in den Umweltproduktdeklarationen zum Modul D und der unterschiedlichen Ansätze, welche die Hersteller verfolgen, sind die Werte aus der Recyclingphase jedoch kritisch zu hinterfragen.

Tabelle: 40. GWP Szenario Bauweisen



5.3.5 AWP BAUWEISEN

Das Versauerungspotential AP bekannt als „Saurer Regen“ zählt nach dem Treibhauspotential GWP zu den wichtigsten Umweltindikatoren einer ökologischen Bilanzierung. Beim Versauerungspotential reagieren die Schadstoffe in der Luft mit Wasser und gelangen somit als „saurer Regen“ wieder zur Erde. In Tab. 41 ist das Versauerungspotential der einzelnen Bauweisen für das Szenario A-C abgebildet. Beim Versauerungspotential verhält es sich ähnlich mit den Bilanzierungswerten wie beim Treibhauspotential. Auch hier verursacht die Stahlbetonvariante die größten Umwelteinwirkungen beziehungsweise ist die umweltunfreundlichste Bauweise unter den untersuchten Tragwerksvarianten, mit 128 kgSO₂. Dahinter befinden sich die Bauweisen mit Holzanteil (Bauweise II, IV & V) mit Werten zwischen 77 - 114 kgSO₂. Den besten Bilanzierungswert weist die Stahlbauvariante mit 62 kgSO₂ auf. Dies liegt in erster Linie an der filigranen Tragwerkskonstruktion im Gegensatz zu den anderen Bauweisen.

Tabelle: 41. AP Bauweisen

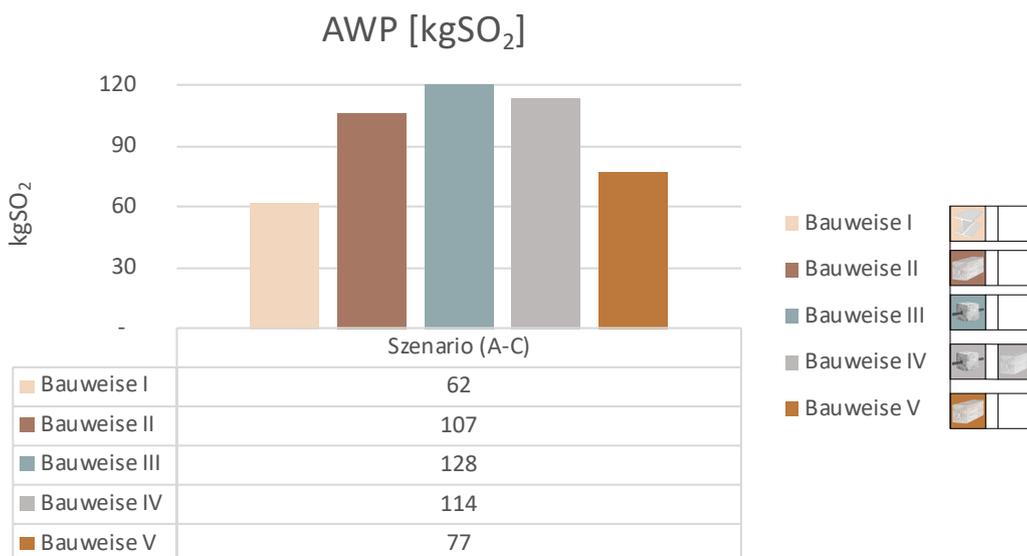
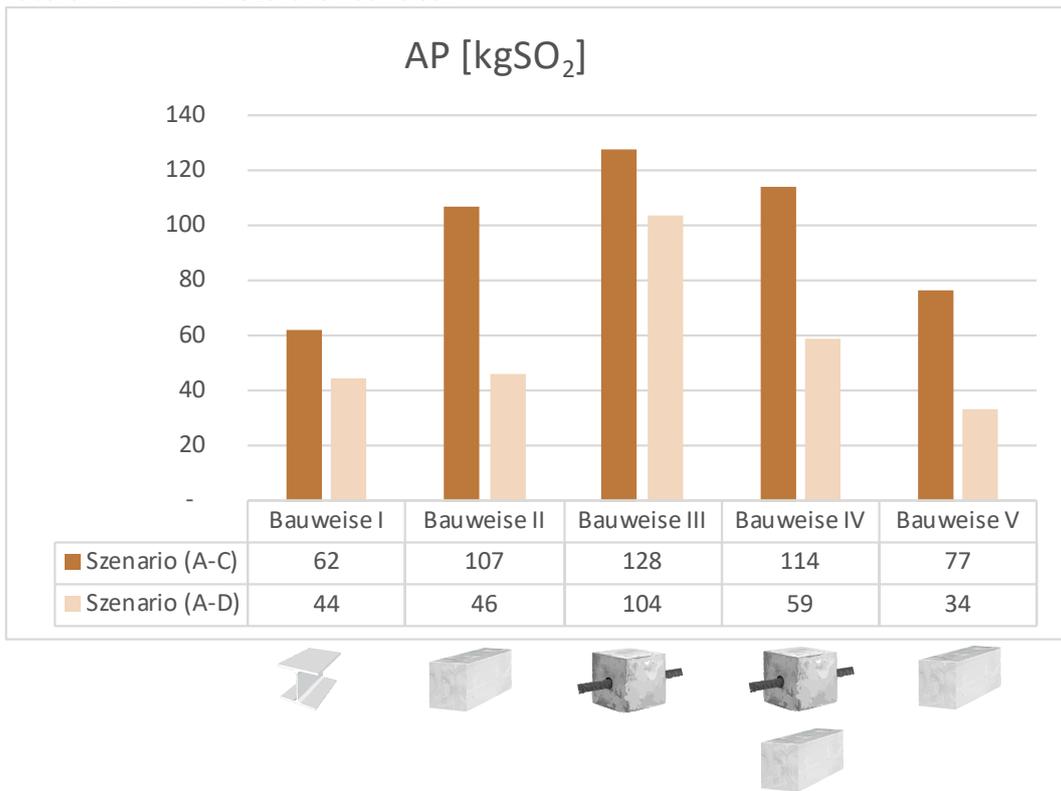


Tabelle: 42. AP Szenario Bauweisen



In Abhängigkeit der beiden untersuchten Szenarien A-C und A-D ist die verursachte Menge kgCO₂ für die unterschiedlichen Bauweisen in Tab. 42 dargestellt. Dies soll vor allem helfen, den Einfluss aus Modul D und aus dem damit verbundenen Recyclingpotential besser abschätzen zu können.

Für das Szenario A-D müssen die einzelnen Module noch mit den jeweiligen Recyclingfaktoren versehen werden. Im Vergleich der beiden Szenarien A-C und A-D liegen alle Bauweisen im Szenario A-D jeweils unter den Vergleichswerten des Szenarios A-C. Dies ergibt sich durch die Gutschriften im Modul D. Bei den Holzbauweisen ist diese Differenz zwischen dem Szenario A-C und A-D, aufgrund des hohen Wirkungsgrades durch die thermische Verwertung im Modul D, am größten.

5.3.6 DISKUSSION UND BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Bereits bei der ökologischen Betrachtung der unterschiedlichen Baustoffe konnten erste Eindrücke gewonnen werden, wie sich in etwa die ökologische Bilanzierung der unterschiedlichen Bauweisen verhalten wird. So zeigt die Lebenszyklusanalyse der unterschiedlichen Bauweisen eine ähnliche Darstellung wie die der Baustoffe und liefert interessante Erkenntnisse über die ökologischen Qualitäten der einzelnen Tragwerksvarianten.

Die Holzbauweisen erzielten in den meisten betrachteten Kategorien die besten Bilanzierungswerte, was gleichzeitig bedeutet, dass die Umwelteinwirkungen der Holzbauweisen am geringsten sind. Die Stahlbetonvariante hingegen ist laut ökologischer Bilanzierung der mit Abstand größte Umweltsünder der einzelnen Bauweisen. Jedoch sind bei der Betrachtung der unterschiedlichen Bauweisen einige Punkte aufgetreten, welche bei der Darstellung der Umwelteinwirkungen eines Produkts kritisch zu hinterfragen sind.

So sind zum Beispiel oftmals die Datensätze, welche die Umwelteinwirkungen eines Produkts beschreiben, teils nur eingeschränkt oder erst gar nicht verfügbar. Hier ist es wichtig, Annahmen zu treffen, welche, für das gewählte Szenario, die Produkte bestmöglich beschreiben. Ebenfalls ist darauf zu achten, dass die Datensätze für die Produkte nach Möglichkeit aus der gleichen Datenbank stammen, da teilweise die Bilanzwerte der Baustoffe, je nach Datenbank, große Unterschiede aufweisen. Zudem sind oftmals nicht alle Lebenszyklusphasen angegeben. In dieser Arbeit stammen die Datensätze zum Großteil aus der ÖKOBAUDAT, da sie über eine hohe Transparenz verfügt. Sind die Datensätze eines Produkts nicht vollständig angegeben, wurde auf die Umweltproduktdeklarationen vergleichbarer Datenbanken zurückgegriffen. So wurde zum Beispiel der Datensatz vom Bewehrungsstahl aus der Datenbank der Bau EPD Gmbh entnommen.

Jedoch ist auch teilweise bei kompletten Datensätzen der Umweltproduktdeklarationen eine kritische Betrachtung notwendig, da die Hersteller der EPDs oftmals unterschiedliche Ansätze beziehungsweise Szenarien verfolgen. So konnte bei der

Betrachtung des Holzwerkstoffs eine Problematik in Bezug auf die Gutschriften des im Holz gespeicherten Kohlenstoffs festgestellt werden. Während in der Entsorgungsphase (Modul C) bereits die thermische Verwertung für Gutschriften sorgt, wird im Modul D von einer Verwertung im Biomassekraftwerk ausgegangen, was wiederum für eine Gutschrift in der Recyclingphase sorgt. Aus diesem Grund wurden bei der ökologischen Bilanzierung der Bauweisen zwei unterschiedliche Szenarien betrachtet, um die Problematik des Recyclingpotentials besser verdeutlichen zu können.

6 ÖKONOMISCHER VERGLEICH

6.1 ÖKONOMISCHER VERGLEICH DER UNTERSCHIEDLICHEN BAUWEISEN

Nach dem ökologischen Vergleich der unterschiedlichen Bauweisen, auf welchem das Hauptaugenmerk in dieser Diplomarbeit liegt, erfolgt nun in diesem Abschnitt noch der ökonomische Vergleich der einzelnen Bauweisen. Hier werden unter anderem Faktoren wie Baukosten, Baumasse oder Baustofftransport miteinander verglichen. Genauso wie zuvor werden auch hier die Ergebnisse der unterschiedlichen Bauweisen in Tabellen zusammengefasst. Dies ermöglicht eine übersichtliche Gegenüberstellung und somit einen Vergleich der unterschiedlichen Bauweisen.

Als Grundlage fungieren wiederum die aus Kapitel 4.0 definierten Bauweisen. Die Berechnungen beziehungsweise Mengenermittlungen der einzelnen Bauweisen können wiederum im Anhang nachgesehen werden.

In die Berechnungen für die Baustoffmassen fließen nur das Tragwerk sowie die dazugehörigen Fundamente der einzelnen Bauweisen ein.

Für die Ermittlung der Baukosten wurde die Datenbank des Baupreislexikons²⁰² verwendet. Die Stahlbauweise wurde Mithilfe der vom Bauforumstahl²⁰³ zur Verfügung gestellten Broschüre Kosten im Stahlbau 2021²⁰⁴ kalkuliert. Die Berechnungen der einzelnen Bauweisen befinden sich im Anhang.

Für den Baustofftransport wurde pro LKW ein maximales Ladegewicht von 26 Tonnen definiert. In die Berechnungen fließen sämtliche vorgefertigten Bauelemente, bis auf die Ortbetonfundamente, ein.

202. www.baupreislexikon.de, abgerufen am 25.03.2022

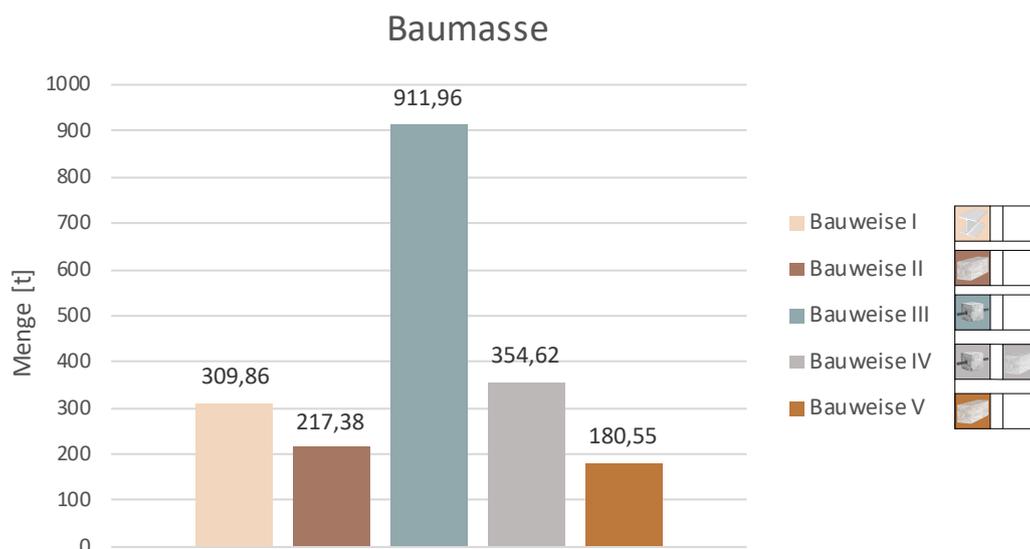
203. www.bauforumstahl.de, abgerufen am 25.03.2022

204. https://bauforumstahl.de/fileadmin/user_upload/bauforumstahl.de/wirtschaft-und-politik/baukosten/Broschu_re-2021.pdf, abgerufen am 25.03.2022

6.1.1 BAUSTOFFMASSEN

Die Tab. 43 zeigt das Gewicht des Tragwerks der unterschiedlichen Bauweisen. Die Stahlbetonbauweise ist mit 911,96 t die mit Abstand schwerste Tragwerksbauweise und fast drei mal so schwer wie die Stahlausführung. Dies liegt zum einen am hohen Eigengewicht vom Stahlbeton und zum anderen an der Menge, welche für die Stützen und Binder anfallen. Ausschlaggebend für die Baumasse sind die Binder im Tragwerkssystem. Im Gegensatz dazu ermöglicht Stahl durch seine hohe Festigkeit besonders schlanke und damit materialeffiziente, leichte Konstruktionen. In Mischbauweise (Bauweise IV) ist das Tragwerk mit 354,62 t ähnlich schwer wie die Stahlbauweise. Das Gewicht der beiden Holzbauweisen liegt deutlich unter den anderen Bauweisen. Mit 180,55 t hat die Fachwerkbauweise (Bauweise V) das leichteste Tragwerk der fünf Bauweisen.

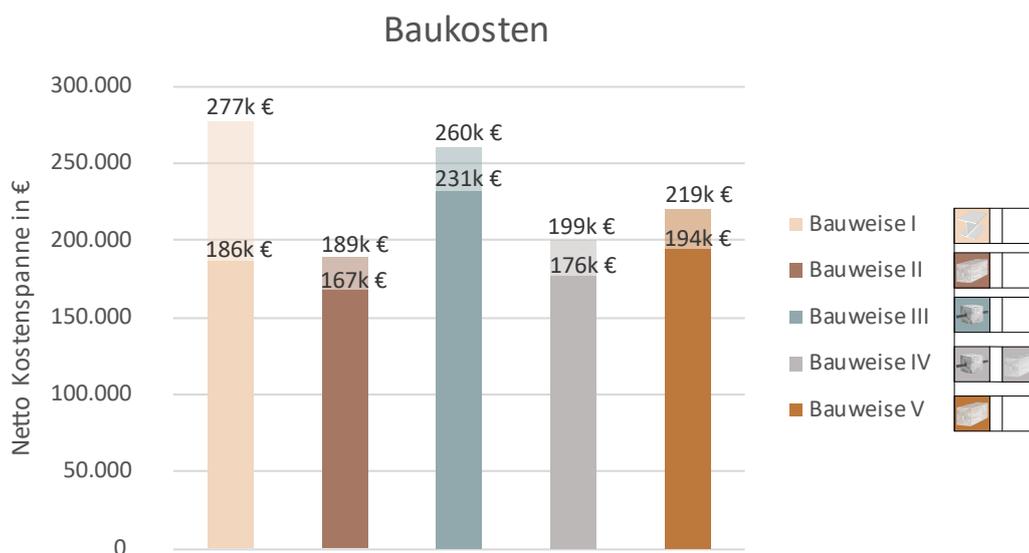
Tabelle: 43. Baumasse Bauweisen



6.1.2 BAUKOSTEN

In der nachstehenden Tab. 44 werden die Baukosten der unterschiedlichen Bauweisen miteinander verglichen. In die Kalkulation fließen sowohl die Fundamente als auch das Tragwerk (Stützen + Binder) mit ein. Ebenfalls miteinbezogen wird in der Stahlbauweise der Brandschutzanstrich, welcher notwendig ist, um die Brandschutzanforderungen des Tragwerks zu erfüllen. Die Kostenspanne bewegt sich von 167.000 € bis 231.000 € beim Mindestpreis. Die maximale Preisspanne reicht von 189.000 € bis 277.000 €. Würde man den Brandschutzanstrich für die Stahlbauweise nicht miteinbeziehen, so wären die Kosten für die Stahlbauweise auf einer Ebene mit der der verschiedenen Holzbauweisen. Den größten Kostenanteil in der Kalkulation verursachen die Binder.

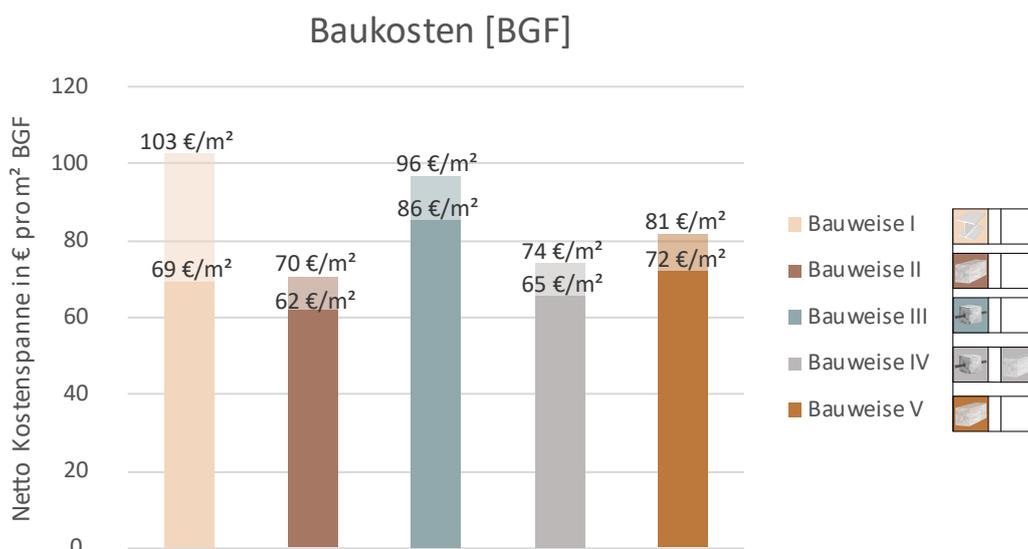
Tabelle: 44. *Baukosten Bauweisen*



6.1.3 BAUKOSTEN BGF

Nach dem Vergleich der Baukosten, folgt in Tab. 45 der Baukostenvergleich anhand der Bruttogeschossfläche (BGF). Hier bewegt sich die Mindestpreisspanne von 62 €/m² bei der Brettschichtholzbauweise bis hin zu 86 €/m² bei der Stahlbetonvariante. Die maximale Preisspanne verhält sich gleich wie zuvor, von 70 €/m² bei Variante II bis hin zu 103 €/m² bei Variante I. Zwischen den Holzbauvarianten und der Stahlbauvariante liegt die Stahlbetonvariante. Sie reicht von 86 €/m² bis hin zu 96 €/m².

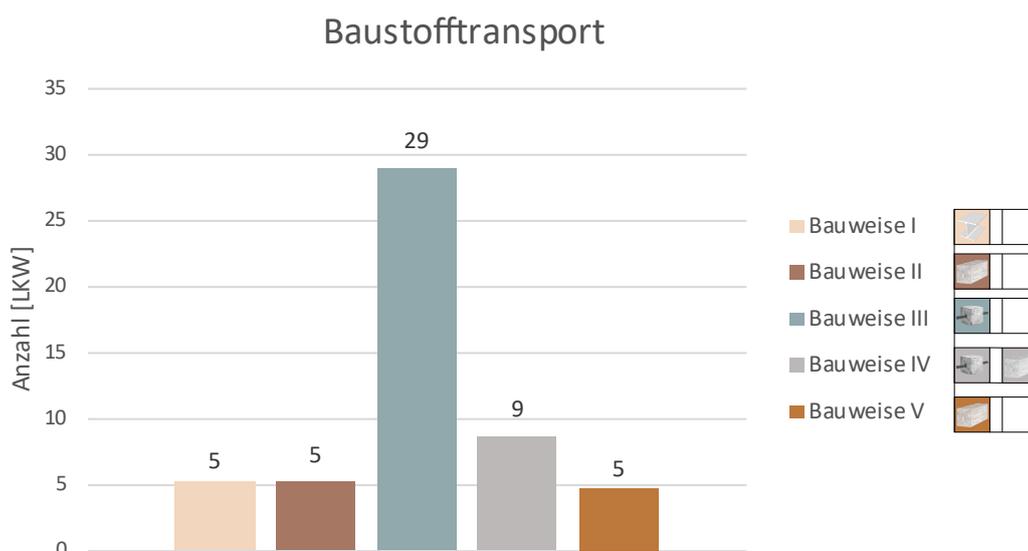
Tabelle: 45. Baukosten BGF Bauweisen



6.1.4 TRANSPORT

In Tab. 46 sind die Anzahl der Fahrten zur Baustelle zu sehen, welche für die unterschiedlichen Bauweisen nötig wären. Die Stahlbauweise sowie die beiden Holzbauweisen benötigen deutlich weniger Fahrten als die Stahlbetonvariante. Das bedeutet neben den Anlieferzeiten und der Verkehrsbelastung auch ca. 83 % weniger Umweltwirkungen aus den Transporten der Baustoffe. Die Mischbauweise benötigt in etwa doppelt so viele Fahrten zur Baustelle als die Bauweisen I, II und V.

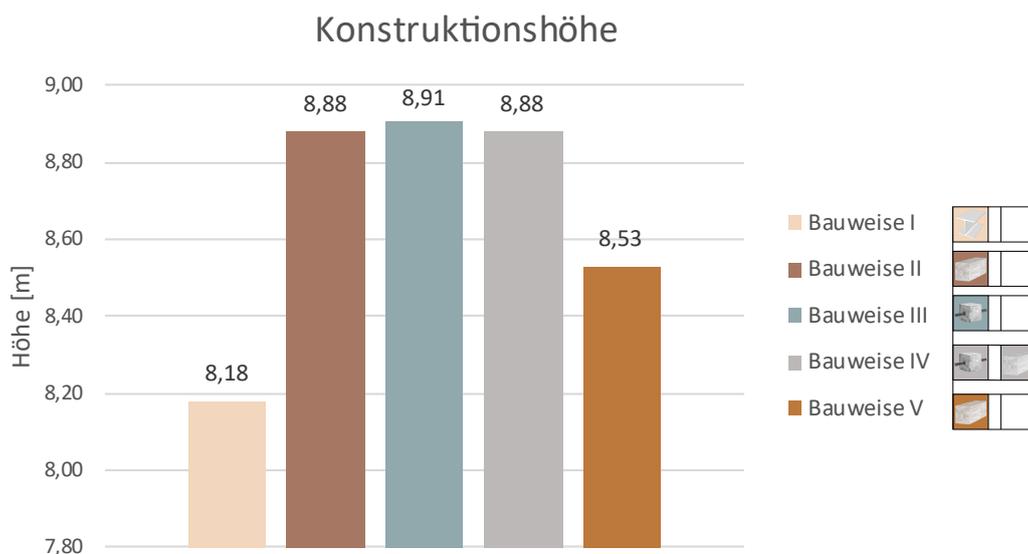
Tabelle: 46. *Transport Bauweisen*



6.1.5 KONSTRUKTIONSHÖHE

Die Tab. 47 stellt die Konstruktionshöhen (Binderoberkante) der unterschiedlichen Bauweisen gegenüber. Hier ist die Stahlbauweise mit 8,18 m aufgrund seiner schlanken und materialeffizienten Bauweise deutlich unter den anderen Bauweisen. Die Bauweisen II, III und IV besitzen eine fast idente Binderoberkante. Hier verhält sich der Stahlbetonbinder fast gleich zum Brettschichtholz binder. Die Bauweise mit Fachwerkbinder (Bauweise V) liegt mit einer Binderoberkante von 8,53 m zwischen den anderen Varianten.

Tabelle: 47. Konstruktionshöhe Bauweisen



6.1.6 DISKUSSION UND BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Auch im ökonomischen Vergleich zeichnet sich ein ähnliches Bild ab wie im ökologischen Vergleich. Hier sind es ebenfalls die Bauweisen mit Holzanteil, welche im Vergleich besser abschneiden.

Betrachtet man die unterschiedlichen Baukosten der einzelnen Bauweisen so fällt auf, dass fast alle Bauweisen eine ähnliche Differenz zwischen Mindestpreis und Maximalpreis aufweisen, bis auf die Stahlbauweise. Hier ist die Differenz fast fünf mal so hoch. Dies liegt zum einen an den variierenden Stahlbaupreisen und zum anderen am Brandschutzanstrich, welchen die Stahlbauweise zusätzlich benötigt. Würde man diesen nicht benötigen, wäre die Stahlbauvariante auf einer Ebene mit der Brettschichtholzvariante.

Die Stahlbauvariante weist einen Mindestpreis von 186.480 € und einen Höchstpreis von 277.372 € auf. Der Preis der Brettschichtholzbauweise liegt zwischen 167.381 € und 189.532 €. Bauweise III Stahlbeton liegt zwischen 231.168 € und 260.266 €. Die Mischbauweise aus Stahlbeton und Brettschichtholz liegt zwischen 176.700 € und 199.863 €. Zuletzt noch die Fachwerkbauweise, hier liegt der Mindestpreis bei 194.480 € und der Höchstpreis bei 219.976 €.

Beim Vergleich der Baumasse ist ganz klar die Stahlbetonvariante mit 911,96 t das mit Abstand schwerste Tragwerkssystem. Gefolgt von der Mischbauweise mit 354,62 t und der Stahlbauweise mit 309,86 t. Das leichteste Tragwerk mit 180,55 t hat die Fachwerkbauweise gefolgt von der Brettschichtholzbauweise mit 217,38 t. Ausschlaggebend für das Gewicht der jeweiligen Tragwerkskonstruktion ist der Binder, er hat den größten Einfluss auf das Gewicht.

Dies wirkt sich auch gleichzeitig auf den Baustofftransport aus, was sich wiederum auf die Baukosten auswirkt. Hier benötigt die Stahlbetonvariante fast sechs mal so viele Fahrten als die Holzbauweisen.

Ebenfalls ein Faktor, welcher sich auf die Baukosten auswirkt, ist die Konstruktionshöhe des Tragwerks. Hier ist es ebenfalls die Stahlbetonvariante welche mit 8,91 m das höchste Tragwerk aufweist, dicht gefolgt von dem der Brettschichtholzbauweise mit 8,88 m und dem der Mischbauweise ebenfalls mit 8,88 m. Je höher das Tragwerk ist, desto mehr Quadratmeter Wandfläche resultiert daraus.

Auch im ökonomischen Vergleich schneidet die Stahlbetonvariante am schlechtesten ab, wo hingegen die Holzbauweisen die besten Werte aufweisen.

7 FAZIT

7.1 ZUSAMMENFASSUNG UND PROGNOSE

Mit Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung haben zwei stetig wachsende Themen mittlerweile auch den Gewerbe- und Industrieausektor erreicht. Aufgrund des immer größer werdenden Interesses an nachhaltiger Planung wird in dieser Arbeit der Fokus auf die Erstellung einer vergleichenden Ökobilanzierung unterschiedlicher Tragwerkskonstruktionen, welche im Hallenbau zum Einsatz kommen, gelegt.

Nach einer kurzen Einführung in die Thematik werden in einem theoretischen Teil zuerst Grundlagen zum Thema Gewerbe- und Industriebau angesprochen und in vertiefter Form der Hallenbau beschrieben. In Kapitel 3, in dem das Thema der Nachhaltigkeit behandelt wird, folgt mit der Vorstellung der Ökobilanzierung das wichtigste Werkzeug zur Beschreibung der ökologischen Qualitäten eines Bauteils beziehungsweise Bauwerks. Die Basis für den ökologischen Vergleich schafft der in Kapitel 4 definierte Systementwurf.

Als Grundlage dafür dienen die zuvor analysierten Referenzobjekte, welche auf deren Tragwerkskonstruktion und deren ökologische Qualitäten untersucht werden. Nach der Erarbeitung des Systementwurfs folgt die statische Dimensionierung sowie die Mengenermittlung der unterschiedlichen Bauweisen. Durch die Entwicklung des Systementwurfs und der daraus resultierenden Dimensionierung der Bauweisen kann eine einheitliche Grundlage für den ökobilanziellen Vergleich der unterschiedlichen Tragwerkskonstruktionen bei gleicher Ausgangsbasis geschaffen werden. Dies ist für einen ökologischen Vergleich zwingend notwendig.

Um einen ersten Eindruck zu gewinnen, werden zu Beginn der ökologischen Bilanzierung die Ausgangsmaterialien der unterschiedlichen Bauweisen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg miteinander verglichen. Dies erfolgt mithilfe geeigneter Datenbanken. In dieser Arbeit stammen die Datensätze zum Großteil aus der ÖKOBAUDAT, für die zuvor definierten Wirkungskategorien (erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf sowie die Summe der beiden Kategorien) und Umweltindikatoren (Treibhauspotential und Versauerungspotential). Die einzelnen Datensätze aus der Herstellungs-, Bau-, Nutzungs- und Entsorgungsphase können zusammengefasst und anhand zuvor definierten Annahmen (Systemgrenzen) verglichen werden. Die Analyse

beziehungsweise die ökologische Bilanzierung der Baustoffe zeigt eine eindeutige Richtung in die des vermehrten Einsatzes von Holzwerkstoffen. Durch die ökologische Bilanzierung der Baustoffe kann ein erster Eindruck gewonnen werden, wie sich in etwa die ökologische Bilanzierung der Bauweisen verhalten wird.

Auch beim ökologischen Vergleich der Bauweisen ist der Ausgangspunkt der Gleiche. Zu Beginn werden wieder die Systemgrenzen festgelegt und die Umweltindikatoren beziehungsweise Wirkungskategorien definiert. Die Ergebnisse für die einzelnen Wirkungskategorien und Umweltindikatoren spiegeln die ökologischen Vergleiche der Baustoffe wieder.

So schneiden auch im Bauweisenvergleich die Tragwerkskonstruktionen mit Holzanteil deutlich besser ab. Insbesondere beim Vergleich des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs und des Treibhauspotentials zeichnen sich die Holzbauweisen durch positive Bilanzwerte aus. Diese Wirkungskategorien sind auch immer wieder im Mittelpunkt der Nachhaltigkeitsdiskussion.

Deutlich schlechter schneidet die reine Stahlbetonbauweise ab. Sie weist bei allen Kategorien, vor allem beim nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf und beim Treibhauspotential, die schlechtesten Bilanzierungswerte auf. Dies ist vor allem der hohen Masse und der daraus resultierenden größeren Betonquerschnitte geschuldet. Zwischen den Bauweisen mit Holzanteil und der reinen Stahlbetonvariante liegt die Stahlbauvariante. Die Bilanzierungswerte für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf und das Treibhauspotential liegen bei der Stahlbauweise in einem ähnlichen Bereich wie die der Bauweisen mit Holzanteil. Stahl besticht vor allem durch eine hohe Festigkeit und kann damit besonders schlanke und materialeffiziente, leichte Konstruktionen erzielen.

Betrachtet man rein den ökologischen Vergleich der Bauweisen, ohne zusätzlich die ökonomischen und soziokulturellen Aspekte miteinfließen zu lassen, so wäre aus ökologischer Sicht eine Bauweise mit Holzanteil zu bevorzugen beziehungsweise zu empfehlen.

Da jedoch bei einer ganzheitlichen Betrachtung auch die beiden anderen Aspekte in die Bewertung miteinfließen sollten, wird neben dem ökologischen Vergleich der

Bauweisen auch noch der ökonomische Aspekt betrachtet. So werden die verschiedenen Varianten anhand mehrerer ökonomischer Faktoren verglichen. Bei den ökonomischen Faktoren sind es vor allem die Baukosten, welche als bestimmende Kraft auftreten. Auch beim ökonomischen Vergleich schneiden die Bauweisen mit Holzanteil deutlich besser ab. Ausschlaggebend dafür ist zum einen das geringe Eigengewicht der Holzbaustoffe im Gegensatz zu den Beton- und Stahlbaustoffen, was sich auch indirekt auf den Baustofftransport auswirkt und zum anderen die niedrigeren Baukosten. Aus diesem Grund wird sowohl aus ökologischer als auch ökonomischer Sicht und in Anbetracht der definierten Randbedingungen eine Bauweise mit Holzanteil empfohlen. In weiterer Folge wäre es sinnvoll, das in dieser Arbeit entwickelte Bewertungssystem um weitere Bauweisen sowie zusätzliche Konstruktionsvarianten zu erweitern. Jedoch ist es wichtig auch bei zusätzlichen Ergänzungen die gleiche Ausgangsbasis beziehungsweise die selben Parameter zu verwenden. Werden Änderungen in der Ausgangssituation vorgenommen, so müssen auch seine Parameter neu angepasst werden. Dies bedeutet also, sobald es wesentliche Änderungen im System gibt, ist eine Neubetrachtung aus ökologischer und ökonomischer Sicht zwingend notwendig.

8 VERZEICHNISSE

8.1 LITERATURVERZEICHNIS

- [Holz] Holzabsatzfonds (Hrsg.): Holzbau Handbuch. Industrie- und Gewerbebau in Holz.Reihe 1, Teil 3, Folge 11, Bonn, 2006
- abgerufen am 08.01.2022 über:
https://informationsdienst-holz.de/fileadmin/Publikationen/2_Holzbau_Handbuch/R01_T03_F11_Industrie-_und_Gewerbebau_2008.pdf,
- [LaRu] Laviola, Christian/Rustom, Sima (Hrsg.): Planungsleitfaden Zukunft Industriebau. Ganzheitliche Integration und Optimierung des Planungs- und Realisierungsprozesses für zukunftsweisende und nachhaltige Industriebäude. Teil E: Strukturen zukunftsfähiger Industriebauten, Stuttgart, 2011
- abgerufen am 08.01.2022 über:
https://www.irbnet.de/daten/baufo/20118035375/Abschlussbericht_Teil_3.pdf
- [Haller] Haller, Mike: Eurobuild in steel: aktuelle Entwicklungen im Gewerbebau = Eurobuild in steel: current trends in industrial and commercial buildings, Düsseldorf, 2008
- [Hierlein] Hierlein, Elisabeth u.a. (Hg.): Betonfertigteile im Geschoss- und Hallenbau. Grundlagen für die Planung, Bonn, 2009
- abgerufen am 08.01.2022 über:
https://www.fdb-fertigteilbau.de/fileadmin/user_upload/broschueren/Geschoss_und_Hallenbau.pdf
- [GrKo] Grimm, Friedrich/Kocker, Ronald: Hallen aus Stahl. Planungsleitfaden, Düsseldorf, 2011
- abgerufen am 08.01.2022 über:
https://bauforumstahl.de/upload/documents/HallenausStahl_Planungsleitfaden.pdf

- [oib 1] OIB (Österreichisches Institut für Bautechnik): OIB Richtlinie 1 - Mechanische Festigkeit und Standsicherheit, 2019
abgerufen am 12.01.2022, über:
https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_1_12.04.19_0.pdf, abgerufen am 08.01.2021
- [oib 2] OIB (Österreichisches Institut für Bautechnik): OIB Richtlinie 2 - Brandschutz
abgerufen am 12.01.2022, über:
https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_2_12.04.19_0.pdf
- [oib 2.1] OIB (Österreichisches Institut für Bautechnik): OIB Richtlinie 2 - Brandschutz bei Betriebsbauten
abgerufen am 12.01.2022, über:
https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_2.1_12.04.19_0.pdf
- [oib 2.1.1] OIB (Österreichisches Institut für Bautechnik): OIB Richtlinie 2 - Brandschutz bei Betriebsbauten - Erläuternde Bemerkungen
abgerufen am 12.01.2022, über:
https://www.oib.or.at/sites/default/files/erlaeuternde_bemerkungen_richtlinie_2.1_12.04.19.pdf
- [Pech] Pech, Anton/Kolbitsch, Andreas/Zach, Frank (Hg.): Tragwerke, Bd. 2, Wien, 2007
- [Bmi] BMI (Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat) (Hg.): Leitfaden nachhaltiges Bauen, Berlin, 2019
abgerufen am 12.01.2022, über:
<https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/leitfaden-nachhaltiges-bauen.html>

- [Immo] Steffens Frank: Digitale Planung und Vorfertigung im Bauwesen, 2016
abgerufen am 12.01.2022, über:
<https://www.immoclick24.de/modernisierung/serien/bauvorhaben/digitale-planung-und-vorfertigung-im-bauwesen/>
- [Goger] Goger, Gerald/Piskernik, Melanie/Urban, Harald (Hg.): Studie:Potenziale der Digitalisierung im Bauwesen, 2017, Wien
abgerufen am 12.01.2022, über:
<https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/potenziale-digitalisierung-im-bauwesen-langfassung.pdf>
- [Hauge] Haugender, Michael/Stift, Florian (Hg.): Nachhaltigkeit im Industriebau. Lebenszyklusorientierte Planung als Schlüssel zur Energieeffizienz, 2016, Wien
abgerufen am 12.01.2022, über:
https://www.dbz.de/artikel/dbz_Industriebau_Nachhaltigkeit_im_Industriebau_Lebenszyklusorientierte_Planung_2603080.html
- [ElJo] EL khouli, Sebastian/John, Viola/Zeumer, Martin (Hg.): Nachhaltig konstruieren. Vom Tragwerksentwurf bis zur Materialwahl: Gebäude ökologisch bilanzieren und optimieren, 2014, Freiburg
- [KlTe] Kloibhofe, Teresa: Ökologische Bilanzierung. Vergleich der Materialien Holz, Stahl & Stahlbeton anhand eines funktionalen Gebäudes unter Kriterien der Ressourceneffizienz, 2016, Wien
- [ScPf] Schneider, Patricia/Pfoh, Sandra/Grimm, Franziska (Hg.): Leitfaden 01 Ökologische Kenndaten Baustoffe und Bauteile, München

Normen

EN ISO14040:Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen

EN ISO 14044: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen

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

ÖNORM EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte

8.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb: 1. Ganzheitliche Planungsphasen
eigene Darstellung in Anlehnung an [Holz], S.22
- Abb: 2. Gestaltungsobjekte der Fabrik
eigene Darstellung in Anlehnung an [Holz], S.22
- Abb: 3. Basisanforderungen
eigene Darstellung in Anlehnung an [Holz], S. 23
- Abb: 4. Der Kubus als Raumeinheit
eigene Darstellung in Anlehnung an [Holz], S.26
- Abb: 5. Prozessmittelmodell
[Holz], S. 26
- Abb: 6. Erweiterte Anforderungen
eigene Darstellung in Anlehnung an [Holz], S. 27]
- Abb: 7. Der Kubus als Raumeinheit
eigene Darstellung in Anlehnung an [Holz], S. 27
- Abb: 8. Groblayout + Zusammenführung
eigene Darstellung in Anlehnung an [Holz], S. 27
- Abb: 9. Schnittprofile
eigene Darstellung in Anlehnung an [Holz], S. 33
- Abb: 10. Einschiffige Halle mit Satteldachbinder
eigene Darstellung in Anlehnung an [Hierlein], S.31
- Abb: 11. Zweischiffige Halle mit Parallelbinder
eigene Darstellung in Anlehnung an [Hierlein], S.31
- Abb: 12. Halle mit Zwischendecke
eigene Darstellung in Anlehnung an [Hierlein], S.31
- Abb: 14. Halle mit Kranbahn
eigene Darstellung in Anlehnung an [Hierlein], S.31
- Abb: 13. Halle mit steilem Dach
eigene Darstellung in Anlehnung an [Hierlein], S.31
- Abb: 15. Hohe Halle (h>10 m)
eigene Darstellung in Anlehnung an [Hierlein], S.31
- Abb: 16. Beispiel für Binder und Stützen
[GrKo], S.12
- Abb: 17. Beispiel Rahmentragwerk
[GrKo], S.16
- Abb: 18. Beispiel Bogentragwerk
[GrKo], S.20
- Abb: 19. Beispiel räumliches Tragwerk
[GrKo], S.24
- Abb: 20. Längsaussteifung einer Rahmenhalle mit Kreuzverbänden und tragender Giebelwand im Endfeld
[GrKo], S.24
- Abb: 21. Längsaussteifung einer Rahmenhalle mit Kreuzverbänden und Endrahmen für Erweiterung
[GrKo], S.09
- Abb: 22. Auflager Durchlaufpfette
[GrKo], S.10
- Abb: 23. Gelenkiger Stützenfuß
[GrKo], S.10
- Abb: 24. Eingespannter Stützenfuß
[GrKo], S.10
- Abb: 25. Zweischaliger Wandaufbau
Quelle: https://bauforumstahl.de/upload/publications/Dach-%20und%20Wandkonstruktionen%20aus%20Stahl_2016.pdf, 2015, S.33
- Abb: 26. Einschaliger Dachaufbau
Quelle: https://bauforumstahl.de/upload/publications/Dach-%20und%20Wandkonstruktionen%20aus%20Stahl_2016.pdf, 2015, S.33
- Abb: 27. Belichtungsvarianten
[GrKo], S.30
- Abb: 28. Klassische Dimensionen der Nachhaltigkeit
eigene Darstellung in Anlehnung an [Bmi], S.15
- Abb: 29. Phasen einer Ökobilanz
eigene Darstellung in Anlehnung an [Bmi], S.15
- Abb: 30. Toni Behr „Fassade“
<https://www.brueeninghoff.de/unternehmen/newsroom/aktuelles/news/ideale-rahmenbedingungen-fuer-die-praezisionsfertigung/>
- Abb: 31. Gebäudekomplex
<https://www.brueeninghoff.de/unternehmen/newsroom/aktuelles/news/ideale-rahmenbedingungen-fuer-die-praezisionsfertigung/>

- Abb: 32. Tragwerk
<https://www.brueeninghoff.de/unternehmen/newsroom/aktuelles/news/ideale-rahmenbedingungen-fuer-die-praezisionsfertigung/>
- Abb: 33. Produktionshalle
<https://www.brueeninghoff.de/unternehmen/newsroom/aktuelles/news/ideale-rahmenbedingungen-fuer-die-praezisionsfertigung/>
- Abb: 34. Smar-Tech
<https://www.schaffitzel.de/hallenbau/produktionshallen/330-hms>
- Abb: 35. Grundriss
<https://zeroarchitektur.com/smar-tech/>
- Abb: 36. Ansicht
<https://zeroarchitektur.com/smar-tech/>
- Abb: 39. Schnitt
<https://zeroarchitektur.com/smar-tech/>
- Abb: 37. Produktionshalle
<https://zeroarchitektur.com/smar-tech/>
- Abb: 38. Tragwerk
<https://www.schaffitzel.de/hallenbau/produktionshallen/330-hms>
- Abb: 40. Produktionshalle mit Büro
<https://fh-finnholz.com/project/neubau-einer-produktionshalle-mit-buero.html>
- Abb: 41. Produktionshalle
<https://fh-finnholz.com/project/neubau-einer-produktionshalle-mit-buero.html>
- Abb: 42. Produktionshalle Innenraum
<https://fh-finnholz.com/project/neubau-einer-produktionshalle-mit-buero.html>
- Abb: 43. Tragwerk 3D Perspektive
<https://allgemeinebauzeitung.de/abz/kombination-von-stahlbeton-und-holz-produktionshalle-mit-zweigeschossigem-buerotrakt-gestaltet-22692.html>
- Abb: 44. Tragwerk Ausführung
<https://fh-finnholz.com/project/neubau-einer-produktionshalle-mit-buero.html>
- Abb: 45. Produktionshalle
<https://www.f64architekten.de/projekte/sortiert/chronologisch/detail/betriebsgebaeude-fa-elobau-in-probstzella/>
- Abb: 46. Grundriss
<https://www.f64architekten.de/projekte/sortiert/chronologisch/detail/betriebsgebaeude-fa-elobau-in-probstzella/>
- Abb: 47. Produktionshalle
<https://fh-finnholz.com/project/neubau-einer-produktionshalle-mit-buero.html>
- Abb: 48. Tragwerk Produktionshalle
<https://www.f64architekten.de/projekte/sortiert/chronologisch/detail/betriebsgebaeude-fa-elobau-in-probstzella/>
- Abb: 49. Querschnitt
<https://www.f64architekten.de/projekte/sortiert/chronologisch/detail/betriebsgebaeude-fa-elobau-in-probstzella/>
- Abb: 50. Produktionshalle, Verwaltung und Silo
[Holz] S. 184
- Abb: 51. Baukörper Zimmerei kompakt
[Holz] S. 186
- Abb: 52. Isometrie Tragwerk
[Holz] S. 187
- Abb: 53. Tragwerk Produktionshalle
[Holz] S. 185
- Abb: 54. Produktionshalle
[GrKo] S. 38
- Abb: 55. Ansicht Giebelwand
[GrKo] S. 39
- Abb: 56. Isometrie Tragwerk
[GrKo] S. 39
- Abb: 57. Ansicht Nord
[GrKo] S. 38

- Abb: 58. Grundriss Tragwerksplan - Referenzobjekt 1 eigene Darstellung
- Abb: 59. Grundriss Tragwerksplan - Referenzobjekt 2 eigene Darstellung
- Abb: 60. Grundriss Tragwerksplan - Referenzobjekt 3 eigene Darstellung
- Abb: 61. Grundriss Tragwerksplan - Referenzobjekt 4 eigene Darstellung
- Abb: 62. Grundriss Tragwerksplan - Referenzobjekt 6 eigene Darstellung
- Abb: 63. Grundriss Tragwerksplan - Referenzobjekt 5 eigene Darstellung
- Abb: 64. Kubus als Raumeinheit Kategorie 1-4 eigene Darstellung in Anlehnung [Holz] S. 26
- Abb: 65. Kubus als Raumeinheit Kategorie 5-8 eigene Darstellung in Anlehnung [Holz] S. 26
- Abb: 66. Zusammenführung Prozess und Raum eigene Darstellung in Anlehnung [Holz] S. 27
- Abb: 67. Lageplan Systementwurf eigene Grafik
- Abb: 68. Fokus Produktionshalle eigene Grafik
- Abb: 69. Achsraster Systementwurf eigene Grafik
- Abb: 70. Grundriss Systementwurf eigene Grafik
- Abb: 71. Tragwerkskonstruktion Systementwurf eigene Grafik
- Abb: 72. Brandschutz Systementwurf eigene Grafik
- Abb: 73. Gebäudehülle Systementwurf eigene Grafik
- Abb: 74. Fundamente
<https://www.beton.org/wissen/wirtschaftshochbau/fundamente>
- Abb: 75. Stahltragwerk eigene Grafik
- Abb: 76. Schnitt Stahltragwerk eigene Grafik
- Abb: 77. BSH-Tragwerk eigene Grafik
- Abb: 78. Schnitt BSH-Tragwerk eigene Grafik
- Abb: 79. STB - Tragwerk eigene Grafik
- Abb: 80. Schnitt STB-Tragwerk eigene Grafik
- Abb: 81. Mischbauweise Tragwerk eigene Grafik
- Abb: 82. Schnitt Mischbauweise - Tragwerk eigene Grafik
- Abb: 83. BSH - Tragwerk (Fachwerk) eigene Grafik
- Abb: 84. Schnitt BSH - Tragwerk (Fachwerk) eigene Grafik
- Abb: 85. Lebenszyklusphasen eines Gebäudes [EiJo] S. 37
- Abb: 86. Lebenszyklusphasen Szenario A - C eigene Darstellung
- Abb: 87. Lebenszyklusphasen Szenario A - D eigene Darstellung

8.3 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle: 01. Vor- und Nachteile von Geschossbauten [LaRu], S. 68	Tabelle: 18. Massenermittlung Mischbauweise - Tragwerk eigene Tabelle
Tabelle: 02. Vor- und Nachteile von Flachbauten [LaRu], S. 70	Tabelle: 19. Massenermittlung BSH - Tragwerk (Fachwerk) eigene Tabelle
Tabelle: 03. Vor- und Nachteile von Hallenbauten [LaRu], S. 69	Tabelle: 20. Vergleich Bauweisen eigene Tabelle
Tabelle: 04. Merkmale von Industriebautypen [LaRu], S. 71	Tabelle: 21. PENRT pro m ³ des jeweiligen Baustoffs eigene Tabelle
Tabelle: 05. OIB-Richtlinien [oib], https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien	Tabelle: 22. Summe PENRT (Szenario) pro m ³ des jeweiligen Baustoffs eigene Tabelle
Tabelle: 06. Gliederung der Eurocodes [Pech], S. 19	Tabelle: 23. PERT pro m ³ des jeweiligen Baustoffs eigene Tabelle
Tabelle: 07. Übersicht Nachhaltigkeitsbewertung eigene Tabelle	Tabelle: 24. Summe PERT (Szenario) pro m ³ des jeweiligen Bau- stoffs eigene Tabelle
Tabelle: 08. Übersicht Nachhaltigkeitsbewertung eigene Tabelle	Tabelle: 25. Summe PE pro m ³ des jeweiligen Baustoffs eigene Tabelle
Tabelle: 09. Übersicht Nachhaltigkeitsbewertung eigene Tabelle	Tabelle: 26. Summe PE (Szenario) pro m ³ des jeweiligen Baustoffs eigene Tabelle
Tabelle: 10. Übersicht Nachhaltigkeitsbewertung eigene Tabelle	Tabelle: 27. GWP pro m ³ des jeweiligen Baustoffs eigene Tabelle
Tabelle: 11. Übersicht Nachhaltigkeitsbewertung eigene Tabelle	Tabelle: 28. Summe GWP (Szenario) pro m ³ des jeweiligen Baus- toffs eigene Tabelle
Tabelle: 12. Übersicht Nachhaltigkeitsbewertung eigene Tabelle	Tabelle: 29. AP pro m ³ des jeweiligen Baustoffs eigene Tabelle
Tabelle: 13. Übersicht Referenzbeispiele eigene Tabelle	Tabelle: 30. Summe AP (Szenario) pro m ³ des jeweiligen Baustoffs eigene Tabelle
Tabelle: 14. Bauweisen eigene Tabelle	Tabelle: 31. Mengenermittlung Bauweisen eigene Tabelle
Tabelle: 15. Massenermittlung Stahltragwerk eigene Tabelle	Tabelle: 32. PENRT Bauweisen eigene Tabelle
Tabelle: 16. Massenermittlung BSH-Tragwerk eigene Tabelle	Tabelle: 33. PENRT Szenario Bauweisen eigene Tabelle
Tabelle: 17. Massenermittlung STB-Tragwerk eigene Tabelle	

Tabelle: 34. PERT Bauweisen
eigene Tabelle

Tabelle: 35. PERT Szenario Bauweisen
eigene Tabelle

Tabelle: 36. PE Bauweisen
eigene Tabelle

Tabelle: 37. PE Szenario Bauweisen
eigene Tabelle

Tabelle: 38. GWP Bauweisen
eigene Tabelle

Tabelle: 39. GWP Szenario A-C Prozent Bauweisen
eigene Tabelle

Tabelle: 40. GWP Szenario Bauweisen
eigene Tabelle

Tabelle: 41. AP Bauweisen
eigene Tabelle

Tabelle: 42. AP Szenario Bauweisen
eigene Tabelle

Tabelle: 43. Baumasse Bauweisen
eigene Tabelle

Tabelle: 44. Baukosten Bauweisen
eigene Tabelle

Tabelle: 45. Baukosten BGF Bauweisen
eigene Tabelle

Tabelle: 46. Transport Bauweisen
eigene Tabelle

Tabelle: 47. Konstruktionshöhe Bauweisen
eigene Tabelle

Tabelle: 48. GWP Bauweisen
eigene Tabelle

9 ANHANG

Dimensionierung Bauweisen

Massenermittlung Bauweisen

Ökologische Wertermittlung Baustoffe + Bauweisen

Ökonomische Wertermittlung

Umweltproduktdeklarationen

Bauweise I (Stahlbau)

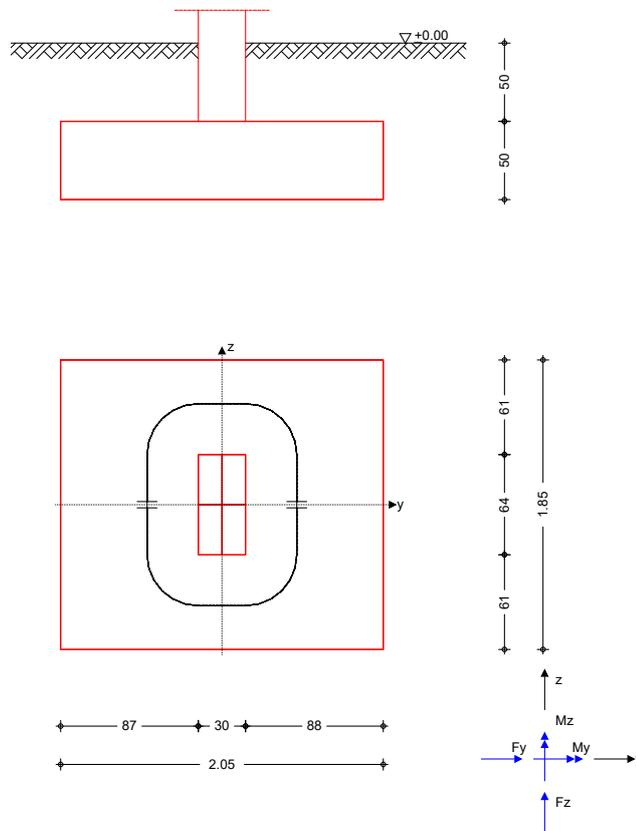
Fundament



Proj. Bez. Gebäudevariante I
 Projekt Stahlbau - Zweigelenrahmen
 mb BauStatik S511.de 2020.044

Pos. R01.1 Gründung

System Einzelfundament
 M 1:35



Abmessungen	h	z _F	Material	b _y /b _z		
Mat./Querschnitt	[m]	[m]	[-]	[m]		
	0.50	1.00	C 30/37	2.05/1.85		
Stützenabmessung			c _y =	0.30 m		
			c _z =	0.64 m		
Überschüttung			h _ü =	0.50 m		
Baugrund	Schicht	h	γ	γ'	φ _k	c _k
		[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]
	Boden	999.00	18.0	10.0	25.0	0.0

Studienversion

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.



Rahmen

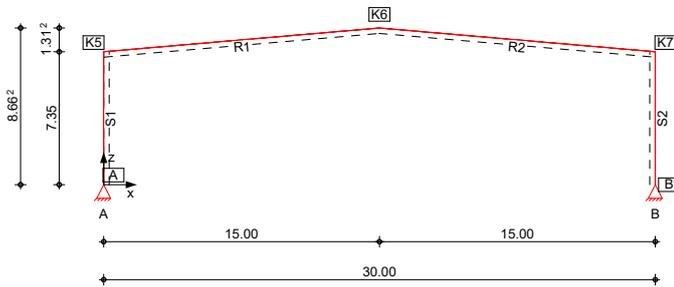


Proj. Bez. Gebäudevariante I
 Projekt Stahlbau - Zweigelenrahmen
 mb BauStatik S630.de 2020.044

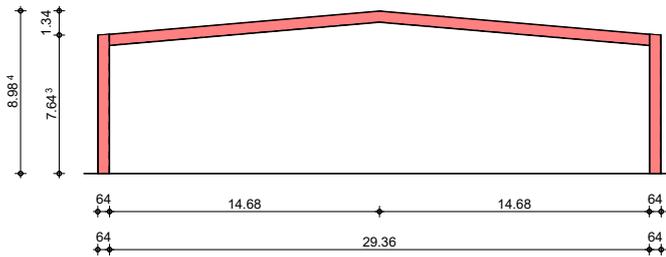
Pos. Rahmen 01 Zweigelenrahmen

System Stabwerk

M 1:300



M 1:300



Stabdefinition	Stab	l [m]	Lage [°]	Achse	Material	Querschnitt
	S1, S2	7.35	0.0	fest	S 235	HEA 650
	R1, R2	15.06	0.0	fest	S 235	HEA 650

Stabendgelenke Alle Stäbe sind druck-, zug- und biegesteif angeschlossen.

Auflagerdefinition global	Lager	$K_{T,x}$ [kN/m]	$K_{T,z}$ [kN/m]	$K_{R,y}$ [kNm/rad]
	A	fest	fest	frei
	B	fest	fest	frei

Lasteinzugsbreiten	links	$L_{B,li} =$	3.00	m
	rechts	$L_{B,re} =$	3.00	m

Dachneigungen	Hauptschiff links	$\phi =$	2.00	°
	Hauptschiff rechts	$\phi =$	2.00	°

Einwirkungen Einwirkungen nach DIN EN 1990:2010-12

Gk	Eigenlasten
Qk.S	Ständige Einwirkungen
	Schnee

Studienversion

Bauweise II (Brettschichtholz)

Fundament



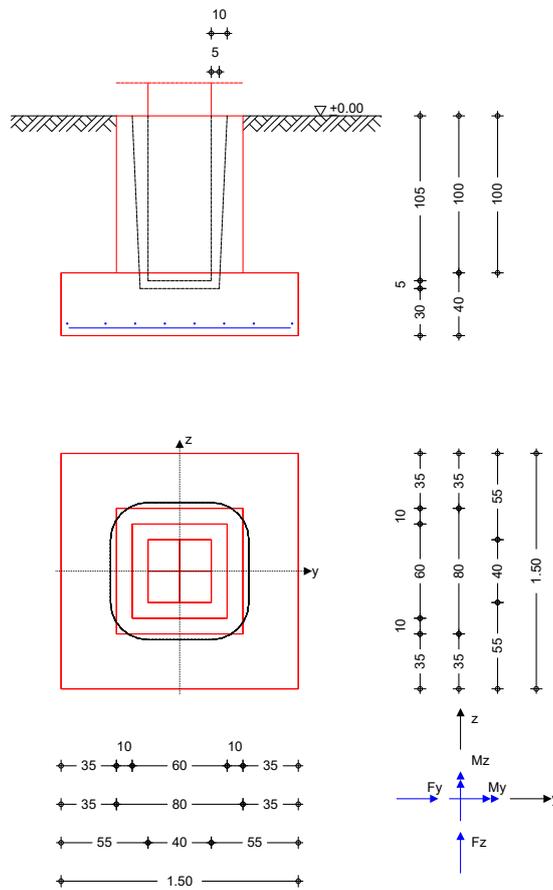
Proj.Bez. BSH Stütze + BSH Binder
 Projekt Systementwurf Holzbauweise
 mb BauStatik S511.de 2020.044

Seite
 Position FU Stütze
 Datum 03.12.2020

Pos. FU Stütze Stahlbeton-Blockfundament mit Aussparung (Becher)

System Einzelfundament mit glattem Köcher

M 1:35



Abmessungen
 Mat./Querschnitt

h	zF	Material	b _y /b _z
[m]	[m]	[-]	[m]
0.40	1.40	C 30/37	1.50/1.50

Stützenabmessung	c _y =	0.40	m
	c _z =	0.40	m
Einbindetiefe Stütze	k _t =	1.05	m
Fugenhöhe	f _h =	5.00	cm
Fugenbreite	f _b =	5.00	cm
Köcherhöhe	k _h =	1.10	m
Köcherbreite	k _{c_y} =	0.80	m

Studienversion

Stütze



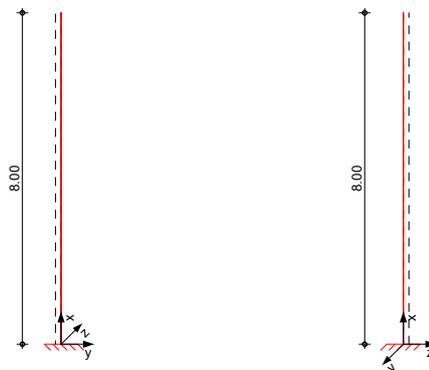
Proj.Bez. Gebäudevariante II
 Projekt BSH Stütze + BSH Binder
 mb BauStatik S400.de 2020.044

Pos. Stütze BSH Holz-Pendelstütze

System Kragstütze aus Holz nach DIN EN 1995-1-1

System

M 1:115



Abmessungen	I	Material	b_y/b_z
Mat./Querschnitt	[m]		[cm]
	8.00	BSH GL28c	40/40

Nutzungsklasse 1 beheizte Innenräume

Belastungen Belastungen auf das System

Streckenlasten
in x-Richtung

Gleichlasten

Einw. Gk

Komm.	a	s	q_u	q_o
	[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]
Eigengew	0.00	8.00		0.59

Punktlasten
in x-Richtung

Einzellasten

Einw. Gk

Komm.	a	F_x	e_y	e_z
	[m]	[kN]	[cm]	[cm]
(a) Binder BSH	8.00	101.22	0.0	0.0

Einw. Qk.S.A

(a) Binder BSH	8.00	116.74	0.0	0.0
----------------	------	--------	-----	-----

Einw. Qk.S.B

(a) Binder BSH	8.00	72.97	0.0	0.0
----------------	------	-------	-----	-----

Einw. Qk.S.C

(a) Binder BSH	8.00	102.15	0.0	0.0
----------------	------	--------	-----	-----

Einw. Qk.W.000

(a) Binder BSH	8.00	-29.75	0.0	0.0
----------------	------	--------	-----	-----

Einw. Qk.W.090

(a) Binder BSH	8.00	-30.11	0.0	0.0
----------------	------	--------	-----	-----

Einw. Qk.W.180

(a) Binder BSH	8.00	-27.17	0.0	0.0
----------------	------	--------	-----	-----

Einw. Qk.W.270

(a) Binder BSH	8.00	-27.10	0.0	0.0
----------------	------	--------	-----	-----

(a) aus Pos. 'Binder BSH', Lager 'A'

Streckenlasten
in z-Richtung

Gleichlasten

Einw. Gk

Komm.	a	s	q_u	q_o
	[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]
GKWA	0.00	8.00		0.20

Einw. Qk.W

	0.00	8.00		0.32
--	------	------	--	------

Studienversion

Binder

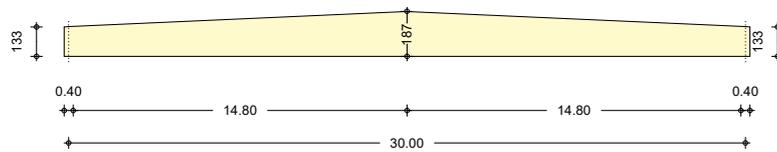


Proj.Bez. Gebäudevariante II
 Projekt BSH Stütze + BSH Binder
 mb BauStatik S170.de 2020.044

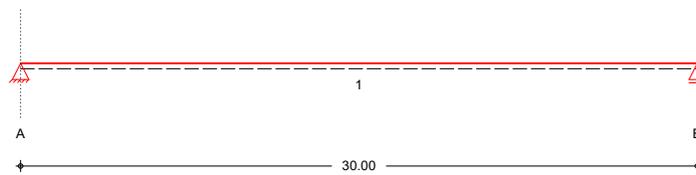
Pos. Binder BSH Holz-Satteldachbinder

System Satteldachträger

M 1:245



M 1:245



Abmessungen
 Mat./Querschnitt

Feld	l [m]	x [m]	Mat.	b [cm]	h [cm]
1	30.00	0.00	BSH GL28c	26.0	135.0
		15.00		26.0	266.2
		30.00		26.0	135.0

Auflager

Aufl.	x [m]	b [cm]	$K_{T,z}$ [kN/m]
A	0.00	40.00	starr
B	30.00	40.00	starr

Der Träger ist kontinuierlich gegen Kippen gehalten.

Dachgeometrie

Satteldach			
Dachneigungswinkel	$\alpha_l =$	2.00	°
	$\alpha_r =$	2.00	°
Lamellendicke	t =	3.00	cm

Bauteillage

Abstand zum Ortgang	$a_{ov} =$	6.00	m
Lasteinzugsbreite links	$b_l =$	3.00	m
Lasteinzugsbreite rechts	$b_r =$	3.00	m

Einwirkungen

Einwirkungen nach DIN EN 1990:2010-12

Gk

Eigenlasten
 Ständige Einwirkungen

Qk.S

Schnee
 Schnee- und Eislasten für Orte bis NN + 1000 m
 Qk.S min/max Werte
 Qk.S.A Fall (i)
 Qk.S.B Fall (ii)
 Qk.S.C Fall (iii)

Studienversion

Bauweise III (Stahlbeton)

Fundament

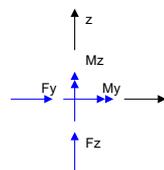
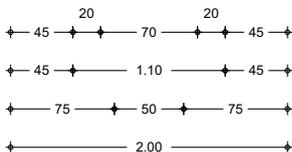
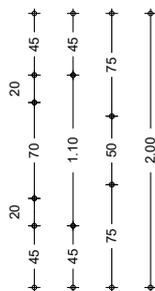
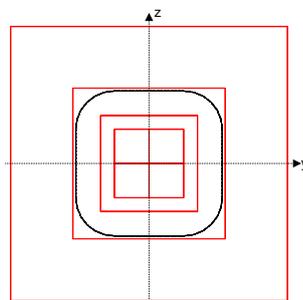
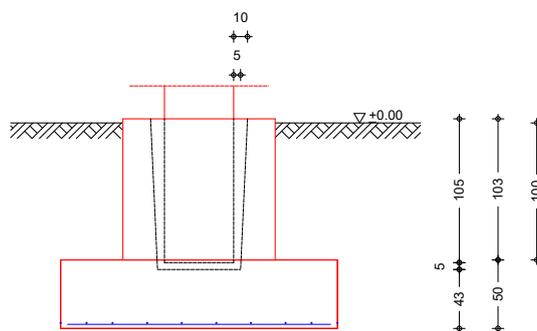


Proj. Bez. Gebäudevariante III
 Projekt STB Stütze + STB Binder
 mb BauStatik S511.de 2020.044

Pos. STB-FU Stahlbeton-Köcherfundament

System Einzelfundament mit verzahntem Köcher

M 1:40



Abmessungen
 Mat./Querschnitt

h [m]	z _F [m]	Material [-]	b _y /b _z [m]
0.50	1.50	C 30/37	2.00/2.00

Stützenabmessung	c _y =	0.50	m
	c _z =	0.50	m
Einbindetiefe Stütze	k _t =	1.05	m
Fugenhöhe	f _h =	5.00	cm
Fugenbreite	f _b =	5.00	cm

Studienversion

Stütze



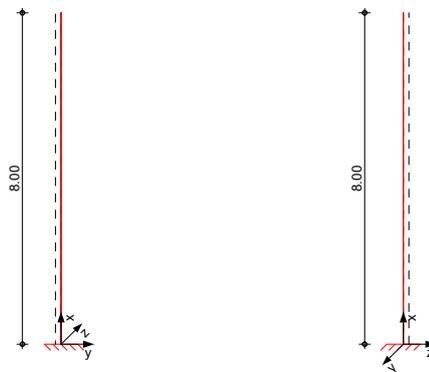
Proj.Bez. STB-Halle
 Projekt Systementwurf - Stahlbetonhalle
 mb BauStatik S402.de 2020.044

Pos. STB-Stütze 1 Stahlbetonstütze

System Kragstütze aus Stahlbeton nach DIN EN 1992-1-1

System

M 1:115



Abmessungen	l	l _w	Material	b _y /b _z
Mat./Querschnitt	[m]	[m]		[cm]
	8.00	8.00	C 30/37	50/50

Einwirkungen Einwirkungen nach DIN EN 1990:2010-12

Gk	Eigenlasten
Qk.S	Ständige Einwirkungen Schnee Schnee- und Eislasten für Orte bis NN + 1000 m
Qk.W	Wind Windlasten
	Qk.W min/max Werte

Belastungen Belastungen auf das System

Punktlasten in x-Richtung	Einzellasten				
	Komm.	a	F _x	e _y	e _z
		[m]	[kN]	[cm]	[cm]
Einw. Gk	Eigengew	8.00	43.75		
Einw. Qk.S	(a) STB-Binder	8.00	185.33	0.0	0.0

(a) aus Pos. 'STB-Binder', Lager 'A'

Streckenlasten in y-Richtung	Gleichlasten				
	Komm.	a	s	q _u	q _o
		[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]
Einw. Gk		0.00	8.00		0.20
Einw. Qk.W		0.00	8.00		0.32

Studienversion

Binder



Proj.Bez. **Gebäudevariante II**
 Projekt **STB Stütze + STB Binder**
 mb BauStatik S350.de 2020.044

Pos. STB-Binder	Fertigteilträger, DIN EN 1992-1-1					
System	Satteldachträger					
M 1:250	System (Endzustand)					
M 1:250						
M 1:70						
Abmessungen	Feld	l	x	Material	QS	b/h
Mat./Querschnitt		[m]	[m]			[cm]
	1	30.00	0.00	C 30/37	1	60.0/140.0
	1		15.00		2	60.0/269.0
	1		30.00		1	60.0/140.0
Auflager	Lager	x	b	t	Art	
		[m]	[cm]	[cm]		
	A	0.00	50.0	50.0	G. m. Sch.	
	B	30.00	50.0	50.0	G. m. Sch.	
	G. m. Sch.:		Gabellagerung mit Querschott			
Dachgeometrie	Satteldach					
	Dach-, Obergurtneigung links				$\delta_{li} =$	2.0 °
	Dach-, Obergurtneigung rechts				$\delta_{re} =$	2.0 °

Studienversion

Bauweise IV (Mischbau)

Fundament

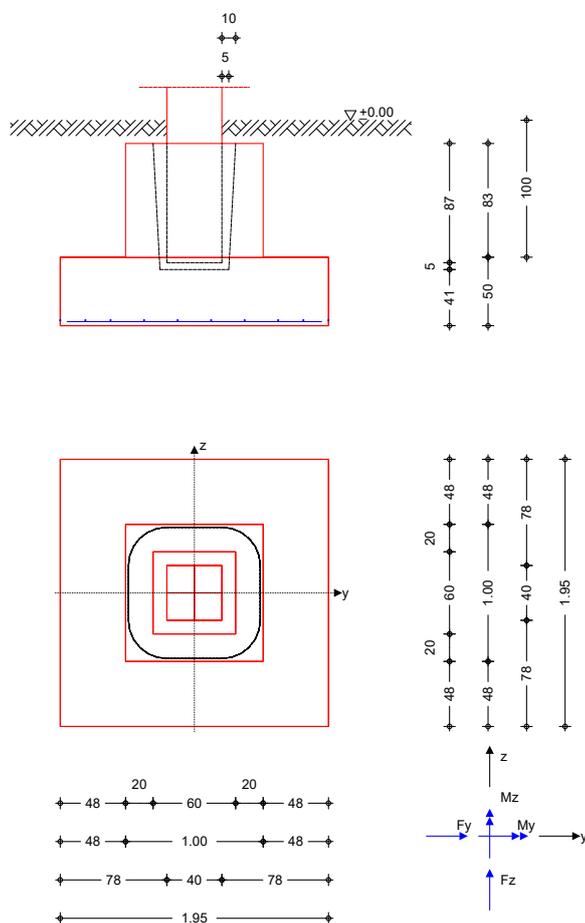


Proj.Bez. Gebäudevariante IV
 Projekt STB Stütze + BSH Binder
 mb BauStatik S511.de 2020.044

Pos. STB-FU Stahlbeton-Köcherfundament

System Einzelfundament mit verzahntem Köcher

M 1:40



Abmessungen Mat./Querschnitt	h [m]	z _F [m]	Material [-]	b _y /b _z [m]
	0.50	1.50	C 30/37	1.95/1.95
Stützenabmessung			c _y =	0.40 m
			c _z =	0.40 m
Einbindetiefe Stütze			k _t =	0.87 m
Fugenhöhe			f _h =	5.00 cm
Fugenbreite			f _b =	5.00 cm

Studienversion

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.



Stütze



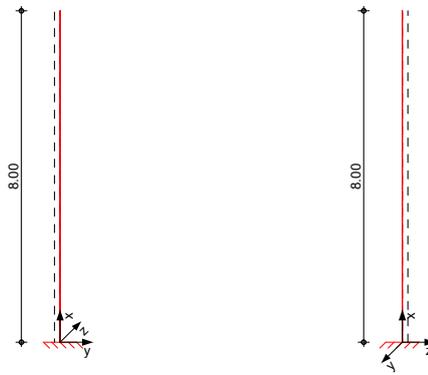
Proj.Bez. **Gebäudevariante IV**
 Projekt **STB Stütze + BSH Binder**
 mb BauStatik S402.de 2020.044

Pos. STB-STütze **Stahlbetonstütze**

System Kragstütze aus Stahlbeton nach DIN EN 1992-1-1

System

M 1:115



Abmessungen Mat./Querschnitt	I [m]	Material	b _y /b _z [cm]
	8.00	C 30/37	30/30

Einwirkungen Einwirkungen nach DIN EN 1990:2010-12

Gk	Eigenlasten
Qk.S	Ständige Einwirkungen
	Schnee
	Schnee- und Eislasten für Orte bis NN + 1000 m
	Qk.S min/max Werte
	Qk.S.A Fall (i)
	Qk.S.B Fall (ii)
	Qk.S.C Fall (iii)
Qk.W	Wind
	Windlasten
	Qk.W min/max Werte
	Qk.W.000 Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$
	Qk.W.090 Anströmrichtung $\theta = 90^\circ$
	Qk.W.180 Anströmrichtung $\theta = 180^\circ$
	Qk.W.270 Anströmrichtung $\theta = 270^\circ$

Belastungen Belastungen auf das System

Punktlasten in x-Richtung	Einzellasten				
	Komm.	a [m]	F _x [kN]	e _y [cm]	e _z [cm]
Einw. Gk	Eigengew	8.00	15.75		
	(a) BSH Binder	8.00	101.22	0.0	0.0
Einw. Qk.S.A	(a) BSH Binder	8.00	116.74	0.0	0.0
Einw. Qk.S.B	(a) BSH Binder	8.00	72.97	0.0	0.0

Studienversion

Binder

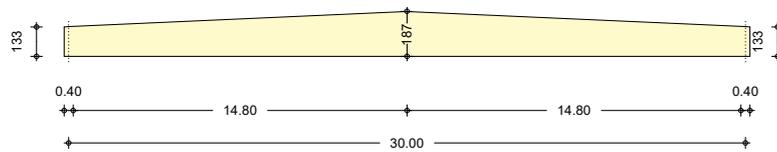


Proj. Bez. Gebäudevariante II
 Projekt BSH Stütze + BSH Binder
 mb BauStatik S170.de 2020.044

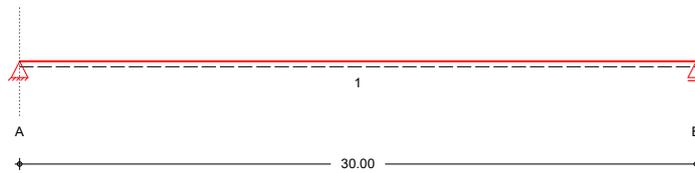
Pos. Binder BSH Holz-Satteldachbinder

System Satteldachträger

M 1:245



M 1:245



Abmessungen
 Mat./Querschnitt

Feld	l [m]	x [m]	Mat.	b [cm]	h [cm]
1	30.00	0.00	BSH GL28c	26.0	135.0
		15.00		26.0	266.2
		30.00		26.0	135.0

Auflager

Aufl.	x [m]	b [cm]	$K_{T,z}$ [kN/m]
A	0.00	40.00	starr
B	30.00	40.00	starr

Der Träger ist kontinuierlich gegen Kippen gehalten.

Dachgeometrie

Satteldach			
Dachneigungswinkel	$\alpha_l =$	2.00	°
	$\alpha_r =$	2.00	°
Lamellendicke	t =	3.00	cm

Bauteillage

Abstand zum Ortgang	$a_{ov} =$	6.00	m
Lasteinzugsbreite links	$b_l =$	3.00	m
Lasteinzugsbreite rechts	$b_r =$	3.00	m

Einwirkungen

Einwirkungen nach DIN EN 1990:2010-12

Gk

Eigenlasten
 Ständige Einwirkungen

Qk.S

Schnee
 Schnee- und Eislasten für Orte bis NN + 1000 m
 Qk.S min/max Werte
 Qk.S.A Fall (i)
 Qk.S.B Fall (ii)
 Qk.S.C Fall (iii)

Studienversion

Bauweise V (Fachwerk)

Fundament

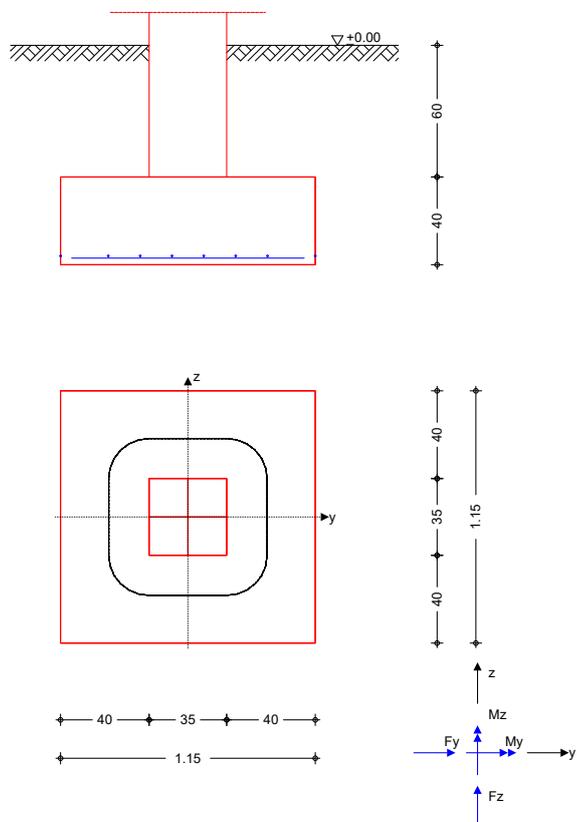


Proj.Bez. Gebäudevariante V
 Projekt BSH Stütze + BSH Fachwerkbinder
 mb BauStatik S511.de 2020.044

Pos. Fundament Stahlbeton-Köcherfundament

System Einzelfundament

M 1:25



Abmessungen	h	z _F	Material	b _y /b _z
Mat./Querschnitt	[m]	[m]	[-]	[m]
	0.40	1.00	C 30/37	1.15/1.15

Stützenabmessung	c _y =	0.35	m
	c _z =	0.35	m
Überschüttung	h _ü =	0.60	m

Baugrund	Schicht	h	γ	γ'	φ _k	c _k
		[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]
	Boden	999.00	18.0	10.0	25.0	0.0

Belastungen

Studienversion

Stütze



Proj.Bez. Gebäudevariante V
 Projekt BSH Stütze + BSH Fachwerkbinder
 mb BauStatik S400.de 2020.044

Pos. Stütze	Holz-Pendelstütze															
System	Pendelstütze aus Holz nach DIN EN 1995-1-1															
M 1:115	<p>System</p>															
Abmessungen	<table border="1"> <thead> <tr> <th>I</th> <th>Material</th> <th>b_y/b_z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[m]</td> <td></td> <td>[cm]</td> </tr> <tr> <td>8.00</td> <td>NH C24</td> <td>30/40</td> </tr> </tbody> </table>	I	Material	b_y/b_z	[m]		[cm]	8.00	NH C24	30/40						
I	Material	b_y/b_z														
[m]		[cm]														
8.00	NH C24	30/40														
	Nutzungsklasse 1 beheizte Innenräume															
Einwirkungen	Einwirkungen nach DIN EN 1990:2010-12															
Gk	Eigenlasten															
Qk.S	Ständige Einwirkungen															
	Schnee															
	Schnee- und Eislasten für Orte bis NN + 1000 m															
	Qk.S min/max Werte															
	Qk.S.A Fall (i)															
	Qk.S.B Fall (ii)															
	Qk.S.C Fall (iii)															
Qk.W	Wind															
	Windlasten															
	Qk.W min/max Werte															
	Qk.W.000 Anströmrichtung $\theta = 0^\circ$															
	Qk.W.090 Anströmrichtung $\theta = 90^\circ$															
	Qk.W.180 Anströmrichtung $\theta = 180^\circ$															
	Qk.W.270 Anströmrichtung $\theta = 270^\circ$															
Belastungen	Belastungen auf das System															
Streckenlasten	Gleichlasten															
in x-Richtung	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Komm.</th> <th>a</th> <th>s</th> <th>q_u</th> <th>q_o</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>[m]</td> <td>[m]</td> <td>[kN/m]</td> <td>[kN/m]</td> </tr> <tr> <td>Einw. Gk</td> <td>Eigengew</td> <td>0.00</td> <td>8.00</td> <td>0.50</td> </tr> </tbody> </table>	Komm.	a	s	q_u	q_o		[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]	Einw. Gk	Eigengew	0.00	8.00	0.50
Komm.	a	s	q_u	q_o												
	[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]												
Einw. Gk	Eigengew	0.00	8.00	0.50												

Studienversion

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.



Binder

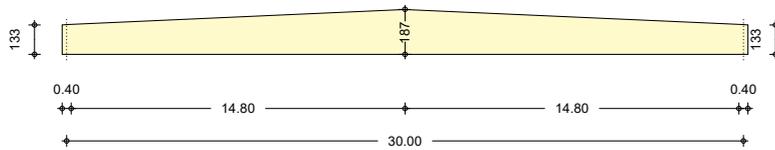


Proj. Bez. Gebäudevariante II
 Projekt BSH Stütze + BSH Binder
 mb BauStatik S170.de 2020.044

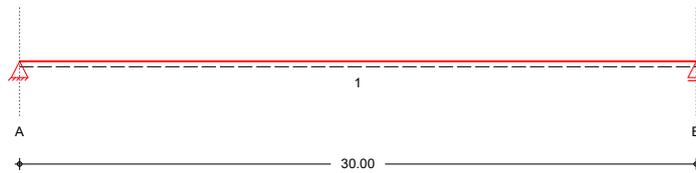
Pos. Binder BSH Holz-Satteldachbinder

System Satteldachträger

M 1:245



M 1:245



Abmessungen Mat./Querschnitt	Feld	l [m]	x [m]	Mat.	b [cm]	h [cm]
	1	30.00	0.00	BSH GL28c	26.0	135.0
			15.00		26.0	266.2
			30.00		26.0	135.0

Auflager	Aufl.	x [m]	b [cm]	K _{T,z} [kN/m]
	A	0.00	40.00	starr
	B	30.00	40.00	starr

Der Träger ist kontinuierlich gegen Kippen gehalten.

Dachgeometrie	Satteldach	Dachneigungswinkel	$\alpha_l =$	2.00	°
			$\alpha_r =$	2.00	°
		Lamellendicke	t =	3.00	cm

Bauteillage	Abstand zum Ortgang	a _{ov} =	6.00	m
	Lasteinzugsbreite links	b _l =	3.00	m
	Lasteinzugsbreite rechts	b _r =	3.00	m

Einwirkungen Einwirkungen nach DIN EN 1990:2010-12

Gk Eigenlasten
 Ständige Einwirkungen

Qk.S Schnee
 Schnee- und Eislasten für Orte bis NN + 1000 m
 Qk.S min/max Werte
 Qk.S.A Fall (i)
 Qk.S.B Fall (ii)
 Qk.S.C Fall (iii)

Studienversion

Massenermittlung

Bauweise I (Stahlbau)

Abmessungen:	<table border="1"><thead><tr><th colspan="5">Zweigelenrahmen [Stahl]</th></tr><tr><th>Stäbe</th><th>Länge [m]</th><th>Material</th><th>Querschnitt</th><th>Gewicht [kg/m]</th></tr></thead><tbody><tr><td>S1</td><td>7,00</td><td>S235</td><td>HEA 650</td><td>190</td></tr><tr><td>S2</td><td>7,00</td><td>S235</td><td>HEA 650</td><td>190</td></tr><tr><td>R1</td><td>15,00</td><td>S235</td><td>HEA 650</td><td>190</td></tr><tr><td>R2</td><td>15,00</td><td>S235</td><td>HEA 650</td><td>190</td></tr><tr><td></td><td>44,00</td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>					Zweigelenrahmen [Stahl]					Stäbe	Länge [m]	Material	Querschnitt	Gewicht [kg/m]	S1	7,00	S235	HEA 650	190	S2	7,00	S235	HEA 650	190	R1	15,00	S235	HEA 650	190	R2	15,00	S235	HEA 650	190		44,00			
Zweigelenrahmen [Stahl]																																								
Stäbe	Länge [m]	Material	Querschnitt	Gewicht [kg/m]																																				
S1	7,00	S235	HEA 650	190																																				
S2	7,00	S235	HEA 650	190																																				
R1	15,00	S235	HEA 650	190																																				
R2	15,00	S235	HEA 650	190																																				
	44,00																																							
Anzahl:	16 St.																																							
Menge [kg]:	8360 kg																																							
Gesamtmenge[to]:	133,76 to																																							
Abmessungen:	<table border="1"><thead><tr><th colspan="5">Blockfundament [STB C25/30]</th></tr><tr><th>Länge [m]</th><th>Breite [m]</th><th>Höhe [m]</th><th>Volumen [m³]</th><th>Gewicht [kg/m³]</th></tr></thead><tbody><tr><td>2</td><td>1,8</td><td>0,6</td><td>2,16</td><td>2500</td></tr></tbody></table>					Blockfundament [STB C25/30]					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m³]	Gewicht [kg/m³]	2	1,8	0,6	2,16	2500																				
Blockfundament [STB C25/30]																																								
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m³]	Gewicht [kg/m³]																																				
2	1,8	0,6	2,16	2500																																				
Anzahl:	32 St.																																							
Menge [kg]:	5400 kg																																							
Gesamtmenge[to]:	172,80 to																																							
Abmessungen:	<table border="1"><thead><tr><th colspan="5">Bewehrung [Bst 500] Blockfundament</th></tr><tr><th>Länge [m]</th><th>Breite [m]</th><th>Höhe [m]</th><th>Volumen [m³]</th><th>Bst 500 [kg/m³]</th></tr></thead><tbody><tr><td>2</td><td>1,8</td><td>0,6</td><td>2,16</td><td>50</td></tr></tbody></table>					Bewehrung [Bst 500] Blockfundament					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m³]	Bst 500 [kg/m³]	2	1,8	0,6	2,16	50																				
Bewehrung [Bst 500] Blockfundament																																								
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m³]	Bst 500 [kg/m³]																																				
2	1,8	0,6	2,16	50																																				
Anzahl:	32 St.																																							
Menge [kg]:	108 kg																																							
Gesamtmenge[to]:	3,46 to																																							

Massenermittlung

Bauweise II (BSH)

Abmessungen:	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">BSH-Binder [GLC 28]</th> </tr> <tr> <th>Länge [m]</th> <th>Breite [m]</th> <th>Höhe [m]</th> <th>Volumen [m³]</th> <th>Gewicht [kg/m³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30</td> <td>0,24</td> <td>1,34/1,87/1,34</td> <td>11,83</td> <td>390</td> </tr> </tbody> </table>					BSH-Binder [GLC 28]					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]	30	0,24	1,34/1,87/1,34	11,83	390					
BSH-Binder [GLC 28]																									
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]																					
30	0,24	1,34/1,87/1,34	11,83	390																					
Anzahl:	16 St.																								
Menge [kg]:	4613,7 kg																								
Gesamtmenge[to]:	73,82 to																								
Abmessungen:	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">BSH Stütze [GLC 28]</th> </tr> <tr> <th>Länge [m]</th> <th>Breite [m]</th> <th>Höhe [m]</th> <th>Volumen [m³]</th> <th>Gewicht [kg/m³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,40</td> <td>0,40</td> <td>8,00</td> <td>1,28</td> <td>390</td> </tr> </tbody> </table>					BSH Stütze [GLC 28]					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]	0,40	0,40	8,00	1,28	390					
BSH Stütze [GLC 28]																									
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]																					
0,40	0,40	8,00	1,28	390																					
Anzahl:	32 St.																								
Menge [kg]:	499,2 kg																								
Gesamtmenge[to]:	15,97 to																								
Abmessungen:	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Köcherfundament STB Ortbeton [C25/30]</th> </tr> <tr> <th>Länge [m]</th> <th>Breite [m]</th> <th>Höhe [m]</th> <th>Volumen [m³]</th> <th>Gewicht [kg/m³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,45</td> <td>1,45</td> <td>0,5</td> <td>1,05125</td> <td>2500</td> </tr> </tbody> </table>					Köcherfundament STB Ortbeton [C25/30]					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]	1,45	1,45	0,5	1,05125	2500					
Köcherfundament STB Ortbeton [C25/30]																									
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]																					
1,45	1,45	0,5	1,05125	2500																					
Anzahl:	32 St.																								
Menge [kg]:	2628,125 kg																								
Gesamtmenge[to]:	84,10 to																								
Abmessungen:	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Köcherhals Oberndorfer Typ K10 [C30/37]</th> </tr> <tr> <th>Länge [m]</th> <th>Breite [m]</th> <th>Höhe [m]</th> <th>Volumen [m³]</th> <th>Gewicht [kg]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,2</td> <td>0,2</td> <td>0,8</td> <td>0,13</td> <td>1300</td> </tr> </tbody> </table>					Köcherhals Oberndorfer Typ K10 [C30/37]					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg]	0,2	0,2	0,8	0,13	1300					
Köcherhals Oberndorfer Typ K10 [C30/37]																									
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg]																					
0,2	0,2	0,8	0,13	1300																					
Anzahl:	32 St.																								
Menge [kg]:	1300 kg																								
Gesamtmenge[to]:	41,60 to																								
Abmessungen:	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Bewehrung [Bst 500] Köcherfundament</th> </tr> <tr> <th>Länge [m]</th> <th>Breite [m]</th> <th>Höhe [m]</th> <th>Volumen [m³]</th> <th>Bst 500 [kg/m³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,45</td> <td>1,45</td> <td>0,5</td> <td>1,05125</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>0,2</td> <td>0,8</td> <td>0,13</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table>					Bewehrung [Bst 500] Köcherfundament					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Bst 500 [kg/m ³]	1,45	1,45	0,5	1,05125	50	0,2	0,2	0,8	0,13	50
Bewehrung [Bst 500] Köcherfundament																									
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Bst 500 [kg/m ³]																					
1,45	1,45	0,5	1,05125	50																					
0,2	0,2	0,8	0,13	50																					
Anzahl:	32 St.																								
Menge [kg]:	59,0625 kg																								
Gesamtmenge[to]:	1,89 to																								

Massenermittlung

Bauweise III (STB)

Abmessungen:

Stahlbeton Binder T-Querschnitt [C30/37]				
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]
30	0,19/0,60	1,38/1,91/1,38	12,48	2500

Anzahl: 16 St.
Menge [kg]: 31200 kg
Gesamtmenge[to]: 499,20 to

Abmessungen:

Bewehrung [Bst 500] Stahlbeton Binder				
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Bst 500 [kg/m ³]
30	0,19	1,38/1,91/1,38	12,48	200

Anzahl: 16 St.
Menge [kg]: 2496 kg
Gesamtmenge[to]: 39,94 to

Abmessungen:

Stahlbeton Stütze [C30/37]				
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]
0,50	0,50	8,00	2	2500

Anzahl: 32
Menge [kg]: 5000 kg
Gesamtmenge[to]: 160,00 to

Abmessungen:

Bewehrung [Bst 500] Stahlbeton Stütze				
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Bst 500 [kg/m ³]
0,50	0,50	7,00	1,75	120

Anzahl: 32 St.
Menge [kg]: 210 kg
Gesamtmenge[to]: 6,72 to

Massenermittlung

Bauweise III (STB)

Abmessungen:	Köcherfundament STB [C25/30]				
	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m³]	Gewicht [kg/m³]
	2	2	0,5	2	2500
Anzahl:	32 St.				
Menge [kg]:	5000 kg				
Gesamtmenge[to]:	160,00 to				
Abmessungen:	Köcherhals Oberndorfer Typ K10 [C30/37]				
	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m³]	Gewicht [kg/m³]
	0,2	0,2	0,8	0,13	1300
Anzahl:	32 St.				
Menge [kg]:	1300 kg				
Gesamtmenge[to]:	41,60 to				
Abmessungen:	Bewehrung [Bst 500] Fertigteilköcher				
	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m³]	Bst 500 [kg/m³]
	2	2	0,5	2	50
	0,25	0,25	1,0	1,00	50
Anzahl:	32 St.				
Menge [kg]:	150 kg				
Gesamtmenge[to]:	4,80 to				

Massenermittlung

Bauweise IV (Mischbau)

Abmessungen:	BSH-Binder [GLC 28]				
	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m³]	Gewicht [kg/m³]
	30	0,24	1,35/2,66/1,35	11,83	390
Anzahl:	16 St.				
Menge [kg]:	4613,7 kg				
Gesamtmenge[to]:	73,82 to				
Abmessungen:	Stahlbeton Stütze [C30/37]				
	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m³]	Gewicht [kg/m³]
	0,40	0,40	8,00	1,28	2500
Anzahl:	32 St.				
Menge [kg]:	3200 kg				
Gesamtmenge[to]:	102,40 to				
Abmessungen:	Bewehrung [Bst 500] Stahlbeton Stütze				
	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m³]	Bst 500 [kg/m³]
	0,40	0,40	8,00	1,28	120
Anzahl:	32 St.				
Menge [kg]:	153,6 kg				
Gesamtmenge[to]:	4,92 to				

Massenermittlung

Bauweise IV (Mischbau)

Abmessungen:	<table border="1"><thead><tr><th colspan="5">Köcherfundament STB [C25/30]</th></tr><tr><th>Länge [m]</th><th>Breite [m]</th><th>Höhe [m]</th><th>Volumen [m³]</th><th>Gewicht [kg/m³]</th></tr></thead><tbody><tr><td>1,8</td><td>1,8</td><td>0,5</td><td>1,62</td><td>2500</td></tr></tbody></table>					Köcherfundament STB [C25/30]					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]	1,8	1,8	0,5	1,62	2500					
Köcherfundament STB [C25/30]																									
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]																					
1,8	1,8	0,5	1,62	2500																					
Anzahl:	32 St.																								
Menge [kg]:	4050 kg																								
Gesamtmenge[to]:	129,60 to																								
Abmessungen:	<table border="1"><thead><tr><th colspan="5">Köcherhals Oberndorfer Typ K10 [C30/37]</th></tr><tr><th>Länge [m]</th><th>Breite [m]</th><th>Höhe [m]</th><th>Volumen [m³]</th><th>Gewicht [kg]</th></tr></thead><tbody><tr><td>0,2</td><td>0,2</td><td>0,8</td><td>0,13</td><td>1300</td></tr></tbody></table>					Köcherhals Oberndorfer Typ K10 [C30/37]					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg]	0,2	0,2	0,8	0,13	1300					
Köcherhals Oberndorfer Typ K10 [C30/37]																									
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg]																					
0,2	0,2	0,8	0,13	1300																					
Anzahl:	32 St.																								
Menge [kg]:	1300 kg																								
Gesamtmenge[to]:	41,60 to																								
Abmessungen:	<table border="1"><thead><tr><th colspan="5">Bewehrung [Bst 500] Fertigteilköcher</th></tr><tr><th>Länge [m]</th><th>Breite [m]</th><th>Höhe [m]</th><th>Volumen [m³]</th><th>Bst 500 [kg/m³]</th></tr></thead><tbody><tr><td>1,8</td><td>1,8</td><td>0,4</td><td>1,296</td><td>50</td></tr><tr><td>0,2</td><td>0,2</td><td>0,8</td><td>0,13</td><td>50</td></tr></tbody></table>					Bewehrung [Bst 500] Fertigteilköcher					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Bst 500 [kg/m ³]	1,8	1,8	0,4	1,296	50	0,2	0,2	0,8	0,13	50
Bewehrung [Bst 500] Fertigteilköcher																									
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Bst 500 [kg/m ³]																					
1,8	1,8	0,4	1,296	50																					
0,2	0,2	0,8	0,13	50																					
Anzahl:	32 St.																								
Menge [kg]:	71,3 kg																								
Gesamtmenge[to]:	2,28 to																								

Massenermittlung

Bauweise V (Fachwerk)

Abmessungen:	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">BSH Fachwerk Binder [GL 30h]</th> </tr> <tr> <th>Länge [m]</th> <th>Breite [m]</th> <th>Höhe [m]</th> <th>Volumen [m³]</th> <th>Gewicht [kg/m³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30</td> <td>0,28</td> <td>1,00/1,53/1,00</td> <td>8,73</td> <td>430</td> </tr> </tbody> </table>					BSH Fachwerk Binder [GL 30h]					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]	30	0,28	1,00/1,53/1,00	8,73	430					
BSH Fachwerk Binder [GL 30h]																									
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]																					
30	0,28	1,00/1,53/1,00	8,73	430																					
Anzahl:	16 St.																								
Menge [kg]:	3753,9 kg																								
Gesamtmenge[to]:	60,06 to																								
Abmessungen:	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">BSH Stütze [BSH GL 30h]</th> </tr> <tr> <th>Länge [m]</th> <th>Breite [m]</th> <th>Höhe [m]</th> <th>Volumen [m³]</th> <th>Gewicht [kg/m³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,30</td> <td>0,30</td> <td>8,00</td> <td>0,72</td> <td>430</td> </tr> </tbody> </table>					BSH Stütze [BSH GL 30h]					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]	0,30	0,30	8,00	0,72	430					
BSH Stütze [BSH GL 30h]																									
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]																					
0,30	0,30	8,00	0,72	430																					
Anzahl:	32 St.																								
Menge [kg]:	309,6 kg																								
Gesamtmenge[to]:	9,91 to																								
Abmessungen:	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Köcherfundament STB Ortbeton [C25/30]</th> </tr> <tr> <th>Länge [m]</th> <th>Breite [m]</th> <th>Höhe [m]</th> <th>Volumen [m³]</th> <th>Gewicht [kg/m³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,2</td> <td>1,2</td> <td>0,5</td> <td>0,72</td> <td>2500</td> </tr> </tbody> </table>					Köcherfundament STB Ortbeton [C25/30]					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]	1,2	1,2	0,5	0,72	2500					
Köcherfundament STB Ortbeton [C25/30]																									
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg/m ³]																					
1,2	1,2	0,5	0,72	2500																					
Anzahl:	32 St.																								
Menge [kg]:	1800 kg																								
Gesamtmenge[kg]:	57,60 to																								
Abmessungen:	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Köcherhals Oberndorfer Typ K 10 [C30/37]</th> </tr> <tr> <th>Länge [m]</th> <th>Breite [m]</th> <th>Höhe [m]</th> <th>Volumen [m³]</th> <th>Gewicht [kg]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,2</td> <td>0,2</td> <td>0,8</td> <td>0,13</td> <td>1300</td> </tr> </tbody> </table>					Köcherhals Oberndorfer Typ K 10 [C30/37]					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg]	0,2	0,2	0,8	0,13	1300					
Köcherhals Oberndorfer Typ K 10 [C30/37]																									
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Gewicht [kg]																					
0,2	0,2	0,8	0,13	1300																					
Anzahl:	32 St.																								
Menge [kg]:	1300 kg																								
Gesamtmenge[to]:	41,60 to																								
Abmessungen:	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Bewehrung [Bst 500] Köcherfundament</th> </tr> <tr> <th>Länge [m]</th> <th>Breite [m]</th> <th>Höhe [m]</th> <th>Volumen [m³]</th> <th>Bst 500 [kg/m³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,2</td> <td>1,2</td> <td>0,5</td> <td>0,72</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>0,2</td> <td>0,8</td> <td>0,14</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table>					Bewehrung [Bst 500] Köcherfundament					Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Bst 500 [kg/m ³]	1,2	1,2	0,5	0,72	50	0,2	0,2	0,8	0,14	50
Bewehrung [Bst 500] Köcherfundament																									
Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Volumen [m ³]	Bst 500 [kg/m ³]																					
1,2	1,2	0,5	0,72	50																					
0,2	0,2	0,8	0,14	50																					
Anzahl:	32 St.																								
Menge [kg]:	43 kg																								
Gesamtmenge[to]:	1,38 to																								

Ökologische Wertermittlung

Berechnung Baustoffe

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.

Brettschichtholz			Sachbilanz			Wirkungsbilanz	
Lebenszyklusphase	V [m³]	Dichte [kg/m³]	PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	∑ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ e/m³]
Herstellung A1-A3	1	460	1576,30	10305,00	11881,30	-639,35	0,41
End-of-Life C3/C4	1	460	18,46	-7809,00	-7790,54	750,00	0,001
Recyclingpotential	1	460	-5761,00	-1510,00	-7271,00	-394,70	-0,36
			PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	∑ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ e/m³]
Gesamt (ohne D)			1594,76	2496,00	4090,76	110,65	0,411
Gesamt (A+C+D)			-4166,24	986,00	-3180,24	-284,05	0,051
Beton C 25/30			Sachbilanz			Wirkungsbilanz	
Lebenszyklusphase	V [m³]	Dichte [kg/m³]	PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	∑ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ e/m³]
Herstellung A1-A3	1	2400	999,00	190,00	1189,00	197,00	0,29
End-of-Life C3/C4	1	2400	283,60	34,50	318,10	21,11	0,07
Recyclingpotential	1	2400	-279,00	-94,10	-373,10	-21,40	-0,05
			PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	∑ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ e/m³]
Gesamt (ohne D)			1282,60	224,50	1507,10	218,11	0,36
Gesamt (A+C+D)			1003,60	130,40	1134,00	196,71	0,31
Beton C 30/37			Sachbilanz			Wirkungsbilanz	
Lebenszyklusphase	V [m³]	Dichte [kg/m³]	PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	∑ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ e/m³]
Herstellung A1-A3	1	2400	1100,00	204,00	1304,00	219,00	0,32
End-of-Life C3/C4	1	2400	283,60	34,50	318,10	21,11	0,07
Recyclingpotential	1	2400	-279,00	-94,10	-373,10	-21,40	-0,05
			PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	∑ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ e/m³]
Gesamt (ohne D)			1383,60	238,50	1622,10	240,11	0,39
Gesamt (A+C+D)			1104,60	144,40	1249,00	218,71	0,34
Baustahl (S235)			Sachbilanz			Wirkungsbilanz	
Lebenszyklusphase	V [m³]	Dichte [kg/m³]	PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	∑ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ e/m³]
Herstellung A1-A3	1	7850	11470,00	1516,00	12986,00	1125,00	2,16
End-of-Life C3/C4	1	7850	32,20	10,92	43,12	1,84	0,005
Recyclingpotential	1	7850	-3973,00	19,75	-3953,25	-413,00	-0,81
			PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	∑ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ e/m³]
Gesamt (ohne D)			11502,20	1526,92	13029,12	1126,84	2,165
Gesamt (A+C+D)			7529,20	1546,67	9075,87	713,84	1,355
Bewehrungsstahl			Sachbilanz			Wirkungsbilanz	
Lebenszyklusphase	V [m³]	Dichte [kg/m³]	PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	∑ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ e/m³]
Herstellung A1-A3	1	7850	6570,00	2010,00	8580,00	442,00	0,03
End-of-Life C3/C4	1	7850	192,51	1,60	194,11	9,39	0,002
Recyclingpotential	1	7850	0,00	0,00	0,00	0,00	0
			PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	∑ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ e/m³]
Gesamt (ohne D)			6762,51	2011,60	8774,11	451,39	0,032
Gesamt (A+C+D)			6762,51	2011,60	8774,11	451,39	0,032

Ökologische Wertermittlung

Berechnung Bauweisen

Bauweise I (Stahl)							
Bauteil	Menge [m³]		PENRT [MJ]	PERT [MJ]	Σ PE [MJ]	GWP [kgCO ₂]	AP [kgSO ₂]
Zweigelenrahmen	17,04		195.997	26.019	222.016	19.201	37
Fundamente	69,12		88.653	15.517	104.171	15.076	25
Bewehrung	0,44		2.976	885	3.861	199	0,01
Gesamt			287.626	42.421	330.048	34.476	62
Bauteil	Modul		PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	Σ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ /m³]
Zweigelenrahmen	Szenario (A-C)		11502,20	1526,92	13029,12	1126,84	2,165
Fundamente	Szenario (A-C)		1282,60	224,50	1507,10	218,11	0,36
Bewehrung	Szenario (A-C)		6762,51	2011,60	8774,11	451,39	0,032
Bauweise II (BSH)							
Bauteil	Menge [m³]		PENRT [MJ]	PERT [MJ]	Σ PE [MJ]	GWP [kgCO ₂]	AP [kgSO ₂]
Stützen	40,96		65.321	102.236	167.558	4.532	17
Binder	189,28		301.856	472.443	774.299	20.944	78
Fundamente	33,6		43.095	7.543	50.639	7.328	12,10
Bewehrung	0,24		1.623	483	2.106	108	0,01
Gesamt			411.896	582.705	994.601	32.913	107
Bauteil	Modul		PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	Σ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ /m³]
Stützen	Szenario (A-C)		1594,76	2496,00	4090,76	110,65	0,411
Binder	Szenario (A-C)		1594,76	2496,00	4090,76	110,65	0,411
Fundament Köcher	Szenario (A-C)		1282,60	224,50	1507,10	218,11	0,36
Fundament Köcherhals	Szenario (A-C)		1383,60	238,50	1622,10	240,11	0,39
Bewehrung	Szenario (A-C)		6762,51	2011,60	8774,11	451,39	0,032
Bauweise III (STB)							
Bauteil	Menge [m³]		PENRT [MJ]	PERT [MJ]	Σ PE [MJ]	GWP [kgCO ₂]	AP [kgSO ₂]
Stützen	64		88.550	15.264	103.814	15.367	25
Binder	199,68		276.277	47.624	323.901	47.945	78
Fundamente	68,16		87.422	15.302	102.724	14.866	24,54
Bewehrung	6,56		44.362	13.196	57.558	2.961	0,21
Gesamt			496.612	91.386	587.997	81.140	128
Bauteil	Modul		PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	Σ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ /m³]
Stützen	Szenario (A-C)		1383,60	238,50	1622,10	240,11	0,39
Binder	Szenario (A-C)		1383,60	238,50	1622,10	240,11	0,39
Fundament Köcher	Szenario (A-C)		1282,60	224,50	1507,10	218,11	0,36
Fundament Köcherhals	Szenario (A-C)		1383,60	238,50	1622,10	240,11	0,39
Bewehrung	Szenario (A-C)		6762,51	2011,60	8774,11	451,39	0,032
Bauweise IV (Mischbauweise)							
Bauteil	Menge [m³]		PENRT [MJ]	PERT [MJ]	Σ PE [MJ]	GWP [kgCO ₂]	AP [kgSO ₂]
Stützen (STB)	40,96		56.672	9.769	66.441	9.835	16
Binder (BSH)	189,28		301.856	472.443	774.299	20.944	78
Fundamente	56		71.826	12.572	84.398	12.214	20,16
Bewehrung	0,92		6.222	1.851	8.072	415	0,03
Gesamt			436.576	496.635	933.210	43.408	114
Bauteil	Modul		PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	Σ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ /m³]
Stützen (STB)	Szenario (A-C)		1383,60	238,50	1622,10	240,11	0,39
Binder (BSH)	Szenario (A-C)		1594,76	2496,00	4090,76	110,65	0,411
Fundament Köcher	Szenario (A-C)		1282,60	224,50	1507,10	218,11	0,36
Fundament Köcherhals	Szenario (A-C)		1383,60	238,50	1622,10	240,11	0,39
Bewehrung	Szenario (A-C)		6762,51	2011,60	8774,11	451,39	0,032
Bauweise V (Holz-Fachwerk)							
Bauteil	Menge [m³]		PENRT [MJ]	PERT [MJ]	Σ PE [MJ]	GWP [kgCO ₂]	AP [kgSO ₂]
Stützen	23		36.679	57.408	94.087	2.545	9
Binder	139,68		222.756	348.641	571.397	15.456	57
Fundamente	27,2		34.887	6.106	40.993	5.933	9,79
Bewehrung	0,18		1.217	362	1.579	81	0,01
Gesamt			295.540	412.518	708.057	24.014	77
Bauteil	Modul		PENRT [MJ/m³]	PERT [MJ/m³]	Σ PE [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ /m³]	AP [kgSO ₂ /m³]
Stützen	Szenario (A-C)		1594,76	2496,00	4090,76	110,65	0,411
Binder	Szenario (A-C)		1594,76	2496,00	4090,76	110,65	0,411
Fundament Köcher	Szenario (A-C)		1282,60	224,50	1507,10	218,11	0,36
Fundament Köcherhals	Szenario (A-C)		1383,60	238,50	1622,10	240,11	0,39
Bewehrung	Szenario (A-C)		6762,51	2011,60	8774,11	451,39	0,032

Ökonomische Wertermittlung

Berechnung Bauweisen

Bauweise I (Stahl)	
Bauteil	Menge [to]
Zweigelenrahmen	133,6
Fundamente	172,8
Bewehrung	3,46
Gesamt	309,86

Transport	5
-----------	---

Konstruktionshöhe	8,18
-------------------	------

Kosten	min. Preis	Differenz	max. Preis
	186.480	90.892	277.372

Kosten	min. Preis	Differenz	max. Preis
	69	34	103

Bauweise III (STB)	
Bauteil	Menge [to]
Stützen	160
Binder	499,2
Fundamente	201,6
Bewehrung	51,16
Gesamt	911,96

Transport	29
-----------	----

Konstruktionshöhe	8,91
-------------------	------

Kosten	min. Preis	Differenz	max. Preis
	231.168	29.098	260.266

Kosten	min. Preis	Differenz	max. Preis
	86	11	96

Bauweise II (BSH)	
Bauteil	Menge [to]
Stützen	15,97
Binder	73,82
Fundamente	125,7
Bewehrung	1,89
Gesamt	217,38

Transport	5
-----------	---

Konstruktionshöhe	8,88
-------------------	------

Kosten	min. Preis	Differenz	max. Preis
	167.381	22.150	189.532

Kosten	min. Preis	Differenz	max. Preis
	62	8	70

Bauweise IV (Mischbauweise)	
Bauteil	Menge [to]
Stützen	102,4
Binder	73,82
Fundamente	171,2
Bewehrung	7,2
Gesamt	354,62

Transport	9
-----------	---

Konstruktionshöhe	8,88
-------------------	------

Kosten	min. Preis	Differenz	max. Preis
	176.700	23.163	199.863

Kosten	min. Preis	Differenz	max. Preis
	65	9	74

Bauweise V (Holz)	
Bauteil	Menge [to]
Stützen	9,91
Binder	60,06
Fundamente	109,2
Bewehrung	1,38
Gesamt	180,55

Transport	5
-----------	---

Konstruktionshöhe	8,53
-------------------	------

Kosten	min. Preis	Differenz	max. Preis
	194.480	25.496	219.976

Kosten	min. Preis	Differenz	max. Preis
	72	9	81

Umweltproduktdeklaration

Beton C25/30



5. LCA: Ergebnisse

Die Wirkungsabschätzungsergebnisse stellen nur relative Aussagen dar. Sie machen keine Aussagen über Endpunkte der Wirkungskategorien, Überschreitungen von Schwellenwerten, Sicherheitsmargen oder über Risiken. Für die Berechnung wurden CML-Faktoren der Version Oktober 2012 verwendet.

ANGABE DER SYSTEMGRENZEN (X = IN ÖKOBILANZ ENTHALTEN; MND = MODUL NICHT DEKLARIERT; MNR = MODUL NICHT RELEVANT)

Produktionsstadium m					Nutzungsstadium							Entsorgungsstadium			Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze	
Stadium der Errichtung des Bauwerks	Nutzung/Anwendung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Rückbau/Abriß	Transport	Abfallbehandlung		Beseitigung				
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	X	X	MND	MNR	MNR	MNR	MND	MND	X	X	X	MND	X

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – UMWELTAUSWIRKUNGEN nach EN 15804+A1: 1 m³

Konstruktionsbeton C 25/30

Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	C1	C2	C3	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	197,00	3,90	1,08	-10,00	3,10	12,00	6,01	-21,40
ODP	[kg CFC11-Äq.]	5,36E-8	7,67E-13	4,71E-12	0,00E+0	6,09E-13	2,37E-12	1,31E-11	-1,32E-10
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	2,87E-1	9,93E-3	1,60E-3	0,00E+0	3,00E-2	3,21E-2	1,13E-2	-4,73E-2
EP	[kg (PO ₄) ³⁻ -Äq.]	5,35E-2	2,35E-3	2,57E-4	0,00E+0	6,53E-3	7,65E-3	2,17E-3	-8,86E-3
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,30E-2	-3,35E-3	1,11E-4	0,00E+0	3,18E-3	-1,11E-2	9,74E-4	-2,79E-3
ADPE	[kg Sb-Äq.]	6,43E-4	4,13E-7	5,36E-7	0,00E+0	3,28E-7	1,28E-6	1,97E-6	-8,60E-6
ADPF	[MJ]	900,00	52,50	10,50	0,00	41,70	163,00	68,40	-227,00

Legende: GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP = Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – nicht fossile Ressourcen (ADP – Stoffe); ADPF = Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen – fossile Brennstoffe (ADP – fossile Energieträger)

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – INDIKATOREN ZUR BESCHREIBUNG DES RESSOURCENEINSATZES nach EN 15804+A1: 1 m³ Konstruktionsbeton C 25/30

Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	C1	C2	C3	D
PERE	[MJ]	190,00	3,50	5,89	0,00	2,80	11,00	20,70	-94,10
PERM	[MJ]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERT	[MJ]	190,00	3,50	5,89	0,00	2,80	11,00	20,70	-94,10
PENRE	[MJ]	999,00	52,70	13,66	0,00	41,90	163,00	78,70	-279,00
PENRM	[MJ]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PENRT	[MJ]	999,00	52,70	13,66	0,00	41,90	163,00	78,70	-279,00
SM	[kg]	23,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2400,00
RSF	[MJ]	183,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NRSF	[MJ]	348,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FW	[m ³]	0,80	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,28

Legende: PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht-erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen

Umweltproduktdeklaration

Beton C30/37



5. LCA: Ergebnisse

Die Wirkungsabschätzungsergebnisse stellen nur relative Aussagen dar. Sie machen keine Aussagen über Endpunkte der Wirkungskategorien, Überschreitungen von Schwellenwerten, Sicherheitsmargen oder über Risiken. Für die Berechnung wurden CML-Faktoren der Version Oktober 2012 verwendet.

ANGABE DER SYSTEMGRENZEN (X = IN ÖKOBLANZ ENTHALTEN; MND = MODUL NICHT DEKLARIERT; MNR = MODUL NICHT RELEVANT)

Produktionsstadium			Stadium der Errichtung des Bauwerks		Nutzungsstadium							Entsorgungsstadium				Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	X	X	MND	MNR	MNR	MNR	MND	MND	X	X	X	MND	X

ERGEBNISSE DER ÖKOBLANZ – UMWELTAUSWIRKUNGEN nach EN 15804+A1: 1 m³

Konstruktionsbeton C 30/37

Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	C1	C2	C3	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	219,00	4,50	1,08	-10,00	3,10	12,00	6,01	-21,40
ODP	[kg CFC11-Äq.]	5,97E-8	8,81E-13	4,71E-12	0,00E+0	6,09E-13	2,37E-12	1,31E-11	-1,32E-10
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,17E-1	1,14E-2	1,60E-3	0,00E+0	3,00E-2	3,21E-2	1,13E-2	-4,73E-2
EP	[kg (PO ₄) ³⁻ -Äq.]	5,91E-2	2,69E-3	2,57E-4	0,00E+0	6,53E-3	7,65E-3	2,17E-3	-8,86E-3
POCP	[kg Ethen-Äq.]	2,58E-2	-3,82E-3	1,11E-4	0,00E+0	3,18E-3	-1,11E-2	9,74E-4	-2,79E-3
ADPE	[kg Sb-Äq.]	7,11E-4	4,75E-7	5,36E-7	0,00E+0	3,28E-7	1,28E-6	1,97E-6	-8,60E-6
ADPF	[MJ]	997,00	60,40	10,50	0,00	41,70	163,00	68,40	-227,00

Legende: GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP = Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – nicht fossile Ressourcen (ADP – Stoffe); ADPF = Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen – fossile Brennstoffe (ADP – fossile Energieträger)

ERGEBNISSE DER ÖKOBLANZ – INDIKATOREN ZUR BESCHREIBUNG DES RESSOURCENEINSATZES nach EN 15804+A1: 1 m³ Konstruktionsbeton C 30/37

Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	C1	C2	C3	D
PERE	[MJ]	204,00	4,10	5,89	0,00	2,80	11,00	20,70	-94,10
PERM	[MJ]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERT	[MJ]	204,00	4,10	5,89	0,00	2,80	11,00	20,70	-94,10
PENRE	[MJ]	1100,00	60,60	13,66	0,00	41,90	163,00	78,70	-279,00
PENRM	[MJ]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PENRT	[MJ]	1100,00	60,60	13,66	0,00	41,90	163,00	78,70	-279,00
SM	[kg]	23,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2400,00
RSF	[MJ]	204,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NRSF	[MJ]	388,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FW	[m ³]	0,93	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,28

Legende: PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht-erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen

Umweltproduktdeklaration

Brettschichtholz BSH



5. LCA: Ergebnisse

ANGABE DER SYSTEMGRENZEN (X = IN ÖKOBILANZ ENTHALTEN; MND = MODUL NICHT DEKLARIERT; MNR = MODUL NICHT RELEVANT)

Produktionsstadium					Stadium der Errichtung des Bauwerks	Nutzungsstadium							Entsorgungsstadium				Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze
Rohstoffversorgung	Transport	Herstellung	Transport vom Hersteller zum Verwendungsort	Montage	Nutzung/Anwendung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Rückbau/Abriß	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	MND	X	MND	MND	MNR	MNR	MNR	MND	MND	MND	X	X	MND	X	

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – UMWELTAUSWIRKUNGEN nach EN 15804+A1: 1 m³ Brettschichtholz

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A5	C2	C3	D
GWP	[kg CO ₂ -Äq.]	-6,60E+2	6,26E+0	1,44E+1	4,42E+0	5,36E-1	7,49E+2	-3,95E+2
ODP	[kg CFC11-Äq.]	1,58E-12	1,05E-15	6,59E-13	1,16E-15	8,99E-17	1,80E-13	-9,20E-12
AP	[kg SO ₂ -Äq.]	3,17E-1	2,64E-2	6,04E-2	6,73E-4	2,27E-3	6,64E-3	-3,61E-1
EP	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	7,46E-2	6,73E-3	1,29E-2	8,89E-5	5,77E-4	1,08E-3	-5,61E-2
POCP	[kg Ethen-Äq.]	1,99E-2	-1,09E-2	3,57E-2	3,05E-5	-9,36E-4	4,39E-4	-3,18E-2
ADPE	[kg Sb-Äq.]	2,11E-5	4,89E-7	1,40E-5	1,42E-7	4,19E-8	1,80E-6	-9,38E-5
ADPF	[MJ]	1,04E+3	8,60E+1	2,39E+2	1,03E+0	7,38E+0	4,18E+1	-5,13E+3

Legende: GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP = Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – nicht fossile Ressourcen (ADP – Stoffe); ADPF = Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen – fossile Brennstoffe (ADP – fossile Energieträger)

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – INDIKATOREN ZUR BESCHREIBUNG DES RESSOURCENEINSATZES nach EN 15804+A1: 1 m³ Brettschichtholz

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	A5	C2	C3	D
PERE	[MJ]	1,06E+3	5,01E+0	1,40E+3	2,14E-1	4,29E-1	2,96E+1	-1,51E+3
PERM	[MJ]	7,84E+3	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	-7,84E+3	0,00E+0
PERT	[MJ]	8,90E+3	5,01E+0	1,40E+3	2,14E-1	4,29E-1	-7,81E+3	-1,51E+3
PENRE	[MJ]	1,13E+3	8,63E+1	2,59E+2	5,73E+1	7,40E+0	5,49E+1	-5,76E+3
PENRM	[MJ]	4,38E+1	0,00E+0	5,62E+1	-5,62E+1	0,00E+0	-4,38E+1	0,00E+0
PENRT	[MJ]	1,17E+3	8,63E+1	3,15E+2	1,15E+0	7,40E+0	1,11E+1	-5,76E+3
SM	[kg]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
RSF	[MJ]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	7,84E+3
NRSF	[MJ]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	4,38E+1
FW	[m ³]	5,50E-1	8,47E-3	5,84E-1	1,01E-2	7,26E-4	1,60E-2	1,07E+0

Legende: PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht-erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen

Umweltproduktdeklaration

Baustahl



5. LCA: Ergebnisse

ANGABE DER SYSTEMGRENZEN (X = IN ÖKOBILANZ ENTHALTEN; MND = MODUL NICHT DEKLARIERT; MNR = MODUL NICHT RELEVANT)

Produktionsstadium			Stadium der Errichtung des Bauwerks		Nutzungsstadium							Entsorgungsstadium			Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze	
Rohstoffversorgung	Transport	Herstellung	Transport vom Hersteller zum Verwendungsort	Montage	Nutzung/Anwendung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Rückbau/Abriß	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	MND	MND	MND	MND	MNR	MNR	MNR	MND	MND	MND	MND	X	MND	X

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – UMWELTAUSWIRKUNGEN nach EN 15804+A1: 1 Tonne Baustahl

Parameter	Einheit	A1-A3	C3	D
Globales Erwärmungspotenzial	[kg CO ₂ -Äq.]	1,13E+3	1,84E+0	-4,13E+2
Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht	[kg CFC11-Äq.]	1,96E-9	6,85E-12	1,62E-6
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser	[kg SO ₂ -Äq.]	2,16E+0	5,84E-3	-8,07E-1
Eutrophierungspotenzial	[kg (PO ₄) ³ -Äq.]	2,19E-1	6,69E-4	-6,66E-2
Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon	[kg Ethen-Äq.]	4,02E-1	4,01E-4	-1,78E-1
Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen - nicht fossile Ressourcen	[kg Sb-Äq.]	4,92E-4	8,92E-7	-8,92E-4
Potenzial für die Verknappung abiotischer Ressourcen - fossile Brennstoffe	[MJ]	1,02E+4	2,04E+1	-3,94E+3

ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – INDIKATOREN ZUR BESCHREIBUNG DES RESSOURCENEINSATZES nach EN 15804+A1: 1 Tonne Baustahl

Parameter	Einheit	A1-A3	C3	D
Erneuerbare Primärenergie als Energieträger	[MJ]	1,52E+3	1,09E+1	1,98E+1
Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung	[MJ]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
Total erneuerbare Primärenergie	[MJ]	1,52E+3	1,09E+1	1,98E+1
Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger	[MJ]	1,15E+4	3,22E+1	-3,97E+3
Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung	[MJ]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
Total nicht erneuerbare Primärenergie	[MJ]	1,15E+4	3,22E+1	-3,97E+3
Einsatz von Sekundärstoffen	[kg]	7,86E+2	0,00E+0	0,00E+0
Erneuerbare Sekundärbrennstoffe	[MJ]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
Nicht-erneuerbare Sekundärbrennstoffe	[MJ]	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen	[m ³]	4,19E+0	1,49E-2	-7,15E-2

Umweltproduktdeklaration

Brettschichtholz BSH

BAU-EPD-MARIENHUETTE-2020-1-ECOINVENT-Baustahl



5 LCA: Ergebnisse

Tabelle 16: Ergebnisse der Ökobilanz Umweltauswirkungen

Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1	C2	C3	C4	D ¹
GWP-Prozess	kg CO ₂ äquiv	4,42E+2	4,01E+1	1,22E+1	0,00E+0	7,72E-01	8,05E+0	5,74E-01	0,00E+0	0,00E+0
GWP C-Gehalt ²	kg CO ₂ äquiv	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
GWP Summe	kg CO ₂ äquiv	4,42E+2	4,01E+1	1,22E+1	0,00E+0	7,72E-01	8,05E+0	5,74E-01	0,00E+0	0,00E+0
ODP	kg CFC-11 äquiv	4,21E-05	7,30E-06	1,92E-06	0,00E+0	7,65E-07	1,49E-06	1,04E-07	0,00E+0	0,00E+0
AP	kg SO ₂ äquiv	3,00E-02	9,95E-04	4,12E-04	0,00E+0	2,47E-05	1,90E-04	6,16E-06	0,00E+0	0,00E+0
EP	kg PO ₄ ³⁻ äquiv	2,95E-01	1,29E-02	6,70E-03	0,00E+0	9,11E-04	2,46E-03	9,39E-04	0,00E+0	0,00E+0
POCP	kg C ₂ H ₄ äquiv	6,16E-02	6,17E-03	1,83E-03	0,00E+0	4,01E-04	1,23E-03	1,15E-04	0,00E+0	0,00E+0
ADPE	kg Sb äquiv	1,09E-03	2,37E-04	5,24E-05	0,00E+0	1,10E-06	4,81E-05	3,83E-07	0,00E+0	0,00E+0
ADPF	MJ H _u	5,56E+3	6,04E+2	1,76E+2	0,00E+0	5,97E+1	1,22E+2	8,33E+0	0,00E+0	0,00E+0
Legende	GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP = Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe									

Tabelle 17: Ergebnisse der Ökobilanz Ressourceneinsatz

Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1	C2	C3	C4	D
PERE	MJ H _u	2,01E+03	1,11E+01	3,83E+01	0,00E+00	2,35E-01	1,32E+0	4,95E-02	0,00E+0	0,00E+0
PERM	MJ H _u	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
PERT	MJ H _u	2,01E+03	1,11E+01	3,83E+01	0,00E+00	2,35E-01	1,32E+0	4,95E-02	0,00E+0	0,00E+0
PENRE	MJ H _u	6,57E+03	6,16E+02	1,95E+02	0,00E+00	6,01E+1	1,24E+2	8,41E+0	0,00E+0	0,00E+0
PENRM	MJ H _u	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
PENRT	MJ H _u	6,57E+03	6,16E+02	1,95E+02	0,00E+00	6,01E+1	1,24E+2	8,41E+0	0,00E+0	0,00E+0
SM	kg	1,12E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
RSF	MJ H _u	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
NRSF	MJ H _u	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0	0,00E+0
FW	m ³	INA*	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA	INA
Legende	PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen									



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.



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.