

Kreislaufgerechtes Bauen mit Holzskelettbau, Stroh und Lehm

Circular Building with timber-frame construction, straw and clay

Bachelorarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science in Engineering (BSc)

der Fachhochschule FH Campus Wien

Bachelorstudiengang: Architektur - Green Building

Vorgelegt von:

Pelin Korkmaz

Personenkennzeichen

2110733084

Erstbegutachter oder Erstbegutachterin:

Dipl.-Ing. Dr.techn. Tobias Steiner, MEng

Eingereicht am:

13.07.2024

Erklärung:

Ich erkläre, dass die vorliegende Bachelorarbeit von mir selbst verfasst wurde und ich keine anderen als die angeführten Behelfe verwendet bzw. mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

Ich versichere, dass ich dieses Bachelorarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Weiters versichere ich, dass die von mir eingereichten Exemplare (ausgedruckt und elektronisch) identisch sind.

Datum: 13.07.2024

Unterschrift: 

Kurzfassung

Diese Arbeit widmet sich den Prinzipien des kreislauffähigen Bauens im Kontext der Bauindustrie und fokussiert sich insbesondere auf die optimale Nutzung des kreislauffähigen Potenzials des Holzskelettbaus mit den Komponenten Stroh und Lehm. Sie untersucht verschiedene Aspekte, darunter die fundamentale Bedeutung von Holz als nachhaltiges Baumaterial, die innovative Systemlösung des Holzskelettbaus sowie die Integration von Naturbaustoffen in diese Konstruktionen.

Das Ziel des kreislauffähigen Bauens besteht darin, eine Bauweise zu fördern, die nachhaltig und ressourceneffizient ist und den aktuellen Herausforderungen des Klimawandels und der Ressourcenknappheit gerecht wird. Diese Arbeit zeigt auf, wie durch die geschickte Kombination von Holz, Stroh und Lehm eine umweltfreundliche Bauweise realisiert werden kann, die sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile bietet.

Sie analysiert praktische Beispiele, die verdeutlichen, wie diese Prinzipien erfolgreich in der Praxis umgesetzt werden können und welches Potenzial sie für zukünftige Bauvorhaben bieten. Durch die strukturierte Analyse dieser Bauprojekte und die Betrachtung der zugrunde liegenden Prinzipien des kreislauffähigen Bauens trägt diese Arbeit dazu bei, ein tieferes Verständnis dafür zu entwickeln, wie nachhaltige Bauweisen nicht nur theoretisch fundieren, sondern auch in der praktischen Umsetzung effektiv sein können.

Diese Arbeit richtet den Blick auf die Herausforderungen und Chancen einer zukunftsfähigen Bauindustrie, die auf ökologische Nachhaltigkeit und langfristige Ressourcenschonung setzt.

Abstract

This thesis focuses on the principles of circular construction in the context of the construction industry, with a particular emphasis on optimizing the circular potential of timber frame construction using components such as straw and clay. It examines various aspects, including the fundamental importance of wood as a sustainable building material, the innovative system solution of timber frame construction, and the integration of natural building materials into these structures.

The goal of circular construction is to promote a building method that is sustainable, resource-efficient, and meets the current challenges of climate change and resource scarcity. This work demonstrates how an environmentally friendly construction method can be achieved through the skillful combination of wood, straw, and clay, offering both ecological and economic benefits.

It analyzes practical examples that illustrate how these principles can be successfully implemented in practice and the potential they offer for future construction projects. Through the structured analysis of these building projects and the consideration of the underlying principles of circular construction, this work contributes to a deeper understanding of how sustainable building practices can be effective not only in theory but also in practical implementation. It also focuses on the challenges and opportunities of a sustainable construction industry that prioritizes ecological sustainability and long-term resource conservation.

This thesis focuses on the challenges and opportunities of a sustainable construction industry that prioritizes ecological sustainability and long-term resource conservation.

Abkürzungsverzeichnis

A1	nicht brennbare Baustoffe
AV	Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis
B1	schwerentflammbare Baustoffe
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
PEI	Primärenergieintensität

Schlüsselbegriffe

Kaskadennutzung	Cascade use
Kreislaufwirtschaft	Circular economy
Lebenszyklus	Lifecycle
Primärenergieintensität	Primary energy intensity
Ressourcenschonung	Resource conservation
Zirkularität	Circularity
Zirkuläres Bauen	Circular construction

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	I
ABSTRACT	II
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	III
SCHLÜSSELBEGRIFFE	IV
INHALTSVERZEICHNIS	V
1. EINFÜHRUNG KREISLAUFGERECHTES BAUEN	1
1.1. Definition und Ziele des Kreislaufgerechten Bauens	1
1.1.1. Bedeutung des Informationsmanagements	2
1.1.2. Aktueller Stand der Verwertung von Bauabfällen.....	2
1.1.3. Herausforderung durch Ressourcenknappheit	3
1.2. Bedeutung von Kreislaufwirtschaft im Baubereich	3
1.2.1. Probleme des linearen Wirtschaftssystems	4
1.2.2. Denken in Kreisläufen	5
1.2.3. Lebenszyklus von Gebäuden.....	7
1.2.4. Auswirkung auf die Baubranche	7
2. PRINZIPIEN DER NACHHALTIGKEIT IM BAUWESEN	8
2.1.1. Nutzung des Bestands	8
2.1.2. Gute Planung	8
2.1.3. Materialaufwand minimieren	8
2.1.4. Bevorzugung nachwachsender Rohstoffe	9
2.1.5. Bevorzugung recyclingfähiger Materialien	9
2.1.6. Wiederverwendung von Bauteilen ermöglichen	10
2.1.7. Einstoffliche Bauweisen	10
2.1.8. Lösbare Verbindungen von Konstruktionen	10
2.1.9. Verwendung langlebiger Bauteile und Materialien	11
2.1.10. Flächeneffizienz	11
2.1.11. Nutzungsflexibilität	11
2.1.12. Reinigungs- und Instandhaltungsoptimierung	11
2.2. Schichten als Prinzip des kreislaufgerechten Bauens	12
2.2.1. Kreisläufe, Faktor Zeit und Trennbarkeit.....	12
2.2.2. Stewart Brands Schichtenmodell	13
2.2.3. Baukonstruktives Schichtenmodell	14
3. HOLZ ALS BAUMATERIAL	15

3.1.	Historische Bedeutung und Eigenschaften	16
3.2.	Holz im Kontext der Kreislaufwirtschaft	17
4.	HOLZSKELETTBAU ALS SYSTEMLÖSUNG	19
4.1.	Allgemeines	19
4.2.	Konstruktionsteile	20
4.3.	Baustruktur	21
4.3.1.	Rastermaß und Stützenabstand.....	21
4.4.	Skelettbauarten	23
4.4.1.	Doppelträger und Stütze.....	23
4.4.2.	Doppelstütze und Träger.....	24
4.4.3.	Stütze und aufliegender Träger.....	25
4.4.4.	Stütze und anschließender Träger.....	25
4.4.5.	Gabelstütze.....	26
4.5.	Vorteile des Holzskelettbaus	26
5.	INTEGRATION VON WEITEREN NATURBAUSTOFFEN IN HOLZKONSTRUKTIONEN	27
5.1.	Holzkonstruktion mit Stroh	28
5.1.1.	Eigenschaften und Vorteile.....	28
5.1.2.	Verwendung in Holzkonstruktionen.....	30
5.2.	Anwendungsformen von Lehm im Holzbau	31
5.2.1.	Eigenschaften und Vorteile.....	31
5.2.2.	Verwendung in Holzkonstruktionen.....	32
6.	BEWERTUNG DER KREISLAUFFÄHIGKEIT REALISIERTER BAUPROJEKTE	34
6.1.	Das Vivihouse	34
6.1.1.	Materialaufwand minimieren.....	35
6.1.2.	Bevorzugung nachwachsender Rohstoffe.....	35
6.1.3.	Nutzungsflexibilität.....	36
6.1.4.	Lösbare Verbindungen.....	36
6.1.5.	Zusammenfassung.....	36
6.2.	Das S-House	37
6.2.1.	Gute Planung.....	37
6.2.2.	Einstoffliche Bauweisen.....	37
6.2.3.	Nutzungsflexibilität.....	38
6.2.4.	Lösbare Verbindungen.....	38
6.2.5.	Zusammenfassung.....	38
6.3.	Zusammenfassung der Potenziale kreislauffähiger Bauweisen	39
7.	FAZIT	39

QUELLENVERZEICHNIS	41
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	45

1. Einführung Kreislaufgerechtes Bauen

Der globale Rohstoffverbrauch hat bereits die Schwelle von 100 Milliarden Tonnen pro Jahr überschritten und wird in den kommenden Jahren weiter drastisch zunehmen. Mehr als die Hälfte dieses Ressourcenverbrauchs entfällt auf den Bausektor. Bis zum Jahr 2050 wird die Weltbevölkerung voraussichtlich um zwei Milliarden Menschen anwachsen und damit etwa zehn Milliarden erreichen. Dieser Anstieg wird einen enormen Bedarf an Gebäuden und Infrastruktur schaffen, was wiederum die Nachfrage nach Baumaterialien stark erhöhen wird. Viele herkömmliche Baustoffe werden jedoch in den benötigten Mengen nicht mehr verfügbar sein. Ihre Herstellung und ihr Transport erfordern immense Mengen an Energie, die nicht nachhaltig bereitgestellt werden können. Zudem würden die dadurch verursachten Emissionen das Klima weiter belasten und extreme Temperaturen verursachen, die das Überleben erschweren.¹

Eine zukunftsorientierte Bauweise, die die Ressourcen behutsam einsetzt, sollte daher maßgeblich werden. Durch eine sparsame Nutzung der verfügbaren Materialien können die gravierenden sozialen und ökologischen Folgen abgewendet werden. Dies bedeutet, Baumaterialien nicht zu verbrauchen, sondern sie vielmehr zu gebrauchen, indem sie wiederverwendet oder recycelt werden. Diese Prinzipien bilden die Grundlage für das kreislaufgerechte Bauen.²

1.1. Definition und Ziele des Kreislaufgerechten Bauens

Zirkuläres Bauen ist ein Konzept, das weit über Recycling und Abfallwirtschaft hinausgeht. Es stellt ein regeneratives Wirtschaftssystem dar, das darauf abzielt, die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen zu erhalten und gleichzeitig Nutzen und Wohlbefinden für die Menschen zu schaffen. Im Zentrum steht die nachhaltige Planung und Gestaltung von Gebäuden, bei der bereits in der Planungsphase Aspekte wie Abbruch, Wiederaufbau und zukünftige Anpassungen berücksichtigt werden. Eine

¹ Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023. S.9.

² Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023. S.9.

kreislauffähige Gestaltung muss von Anfang an in die Projektplanung und -entwicklung integriert werden. Ziel ist es, die effiziente Nutzung von Ressourcen sicherzustellen, den Lebenszyklus der Komponenten zu verfolgen und eine möglichst geringe Umweltbelastung zu erreichen. Kooperationen zwischen verschiedenen Akteuren, effektives Informationsmanagement und die Integration lokaler Ressourcen sind wesentliche Elemente dieses Ansatzes, der darauf abzielt, Abfälle zu vermeiden und die Wiederverwendung von Materialien zu fördern.³

1.1.1. Bedeutung des Informationsmanagements

Ein effektives Informationsmanagement ist entscheidend, um die Entstehung von Kosten zu verstehen, Ressourcen effizient zu nutzen und den Lebenszyklus der Komponenten zu verfolgen. Informationsmanagement im Baubereich umfasst eine Reihe von Prozessen und Technologien, die darauf abzielen, Daten und Informationen während aller Phasen eines Bauprojekts zu organisieren, zu speichern und zu nutzen. Dies schließt Dokumentation, Kommunikation und finanzielle Details mit ein. Es bietet auch Klarheit darüber, was am Ende der Lebensdauer der Bauteile geschieht und wer im Zweifelsfall haftet, beispielsweise bei der Wiederverwendung von Produkten.⁴

1.1.2. Aktueller Stand der Verwertung von Bauabfällen

Aktuell werden bereits 83% der Bau- und Abbruchabfälle verwertet. Allerdings wird der Großteil dieser Abfälle im Straßenbau oder zur Verschüttung verwendet, was als wertmindernde Nutzung gilt. Ganze Bauteile wie Fenster, Türen, Parkettböden oder Stiegen werden nur selten wiederverwendet. Kreislaufgerechtes Bauen setzt auf die qualitative und quantitative Vermeidung von Abfällen. Qualitative Abfallvermeidung zielt auf die Reduzierung der Abfallmenge, während quantitative Abfallvermeidung die Gefährlichkeit der Abfälle minimiert. Da Gebäude zunehmend komplexer und energieeffizienter werden, steigt der Rohstoffbedarf. Baustoffe sind oft auf

³ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 1 S.10.

⁴ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 1 S.10.

Informationsmanagement im Bauwesen: Wie man Bauprojekte erfolgreich verwaltet. In: <https://biblus.accasoftware.com/de/informationsmanagement-im-bauwesen/> (letzter Zugriff 12.06.2024)

begrenzte Lebensdauern optimiert und es werden möglichst günstige Ausgangsmaterialien verwendet, wobei die Entsorgungskosten meist von den Verbrauchern oder der Gesellschaft getragen werden.⁵

1.1.3. Herausforderung durch Ressourcenknappheit

Die Bauwirtschaft steht vor der Herausforderung begrenzter Ressourcen, insbesondere bei mineralischen Rohstoffen wie Sand, der für Beton benötigt wird. Der weltweite Bauboom gefährdet Ökosysteme, da Sand aus Flussbetten und Kiesgruben langsam knapp wird und verstärkt Sand vom Meeresboden gewonnen wird. Die natürliche Tragfähigkeit der Erde wird bereits überschritten, was durch den ökologischen Fußabdruck illustriert wird. Im Jahr 2019 hätte die Menschheit etwa 1,7 Erden benötigt, um ihren Ressourcenbedarf nachhaltig zu decken. Österreichs Overshoot Day liegt 2019 bereits am 15. April, was bedeutet, dass ab diesem Tag mehr Ressourcen verbraucht werden, als die Natur im ganzen Jahr regenerieren kann.⁶

Kreislaufgerechtes Bauen bietet Ansätze, um den Ressourcenverbrauch und das Abfallaufkommen in der Bauwirtschaft zu reduzieren. Durch eine nachhaltige Planung und die Auswahl geeigneter Materialien können die Umweltauswirkungen der Bauwirtschaft deutlich verringert werden. Die Bauindustrie muss sich stärker auf die Prinzipien des kreislaufgerechten Bauens konzentrieren, um langfristig ökologisch und ökonomisch nachhaltiger zu agieren.⁷

1.2. Bedeutung von Kreislaufwirtschaft im Baubereich

Die Bauwirtschaft ist ein bedeutender Wirtschaftssektor in Österreich, der eine wesentliche Rolle bei der Schaffung von Arbeitsplätzen und lokaler Wertschöpfung spielt. Mit einem Beitrag von etwa 9% zum Bruttoinlandsprodukt der EU und 18 Millionen direkten Arbeitsplätzen ist die Branche ein zentraler Wohlfahrtsfaktor. Allerdings geht dies mit einem erheblichen Ressourcenverbrauch einher: Die Bauwirtschaft verursacht rund 40-50% des gesamten Energie- und Ressourcenverbrauchs

⁵ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 1 S.4f.

⁶ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 1 S.6.

⁷ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 1 S.8f.

in Österreich und etwa 72% des gesamten Abfallaufkommens. Im Jahr 2015 fielen in Österreich rund 10 Millionen Tonnen Bau- und Abbruchabfälle an, wobei 90% dieser Abfälle bei Abbruch, Umbau und Sanierung entstanden.⁸

1.2.1. Probleme des linearen Wirtschaftssystems

Das aktuelle lineare Wirtschaftssystem, das einen kontinuierlich steigenden Ressourcenbedarf und ein zunehmendes Abfallaufkommen aufweist, kann schwerwiegende Auswirkungen auf die Lebens- und Arbeitsbedingungen haben. Ein Wandel ist erforderlich, um die Klimakrise zu bewältigen. Dieser Wandel betrifft die Planung, den Bau, die Nutzung und den Abriss von Gebäuden.⁹

Die Linearwirtschaft ist ein in der Gesellschaft vorherrschendes Wirtschaftsmodell, bei dem der Lebenszyklus von Gütern linear verläuft: Produkte werden produziert, gekauft, genutzt und schließlich weggeworfen und selten recycelt. Dieses Modell steht für eine "Wegwerfgesellschaft", die durch übermäßigen Konsum und Kurzlebigkeit gekennzeichnet ist, anstatt durch bewusstes Kaufverhalten, langlebige Güter und Nachhaltigkeit. Produzenten fokussieren sich oft darauf, möglichst viel zu verkaufen, häufig auf Kosten von Produktqualität und Umwelt. Der dabei entstehende Abfall wird weitgehend ignoriert.¹⁰

Das lineare Wirtschaftsmodell verkürzt die Nutzungsdauer von Gebäuden und Gegenständen, schafft Wohlstand für wenige und Armut für viele und verursacht schädliche Emissionen für Mensch, Tier und Umwelt. Um eine nachhaltige Zukunft zu gestalten, müssen Wege gefunden werden, Wohlstand zu erzielen, ohne den Planeten auszubeuten, und Arbeitsplätze schaffen, ohne die Produktionszahlen und damit den Ressourcenverbrauch zu steigern. Es ist notwendig, Produkte zu gestalten, die funktionell und langlebig sind, und Häuser zu bauen, die zukünftige Generationen nicht belasten. Die Bautätigkeit trägt zur Flächenversiegelung bei, übt

⁸ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 1 S.4.

⁹ Heisel, Felix/Hebel Dirk E.: Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Die Stadt als Rohstofflager. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2021. S. 40.

¹⁰ Zand, Helene: Zukunftsfähig Wirtschaften: Von der Linearwirtschaft zur Kreislaufwirtschaft. In: <https://www.gruenewirtschaft.at/2021/06/11/kreislaufwirtschaft/> (letzter Zugriff: 21.05.2024)

Druck auf Ökosysteme aus und reduziert die Biodiversität. Daher ist eine Betrachtung des gesamten Lebenszyklus von Produkten und Gebäuden notwendig, um die negativen Auswirkungen zu beurteilen, zu vergleichen und Verbesserungspotentiale zu identifizieren.¹¹



Abbildung 1: Lineares Wirtschaftsmodell (In: <https://blog.dgnb.de/auf-dem-weg-zur-circular-economy/> (letzter Zugriff: 17.06.2024))

1.2.2. Denken in Kreisläufen

Die Kreislaufwirtschaft stellt für den Bausektor ein zukunftsweisendes Modell dar, welches auf die maximale Nutzung und Wiederverwertung von Materialien und Produkten abzielt. Im Gegensatz zur traditionellen linearen Wirtschaft, welche auf Produktion, Nutzung und Entsorgung basiert, strebt die Zirkulärwirtschaft eine Verlängerung des Lebenszyklus von Baumaterialien durch Wiederverwendung, Reparatur, Aufarbeitung und Recycling an. Dies führt zu einer Reduktion von Abfällen und einer längeren Nutzung wertvoller Ressourcen in der Wirtschaft, was zu einer nachhaltigeren Bauindustrie führt.¹²

¹¹ Zand, Helene: Zukunftsfähig Wirtschaften: Von der Linearwirtschaft zur Kreislaufwirtschaft. In: <https://www.gruenewirtschaft.at/2021/06/11/kreislaufwirtschaft/> (letzter Zugriff: 21.05.2024)

¹² Zand, Helene: Zukunftsfähig Wirtschaften: Von der Linearwirtschaft zur Kreislaufwirtschaft. In: <https://www.gruenewirtschaft.at/2021/06/11/kreislaufwirtschaft/> (letzter Zugriff: 21.05.2024)

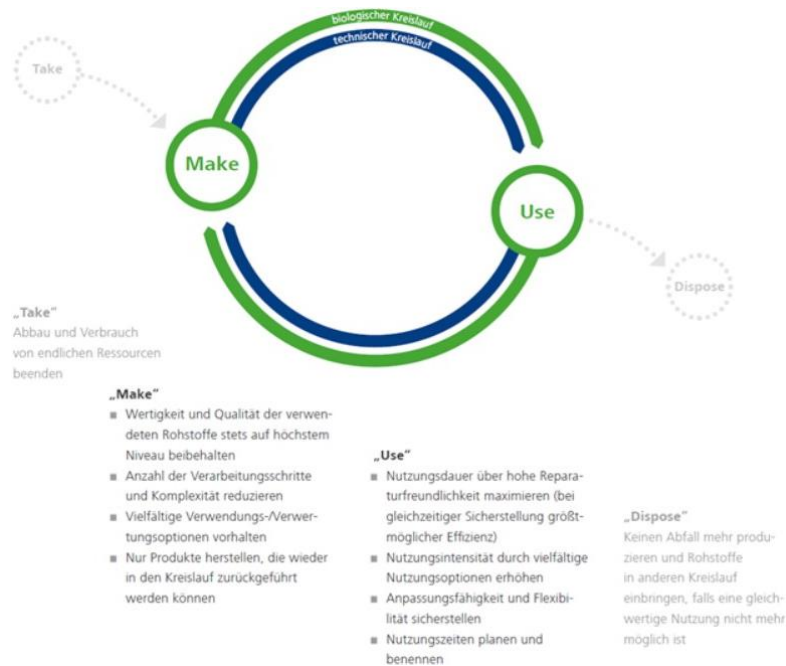


Abbildung 2: Zirkuläres Modell (In: <https://blog.dgnb.de/auf-dem-weg-zur-circular-economy/> (letzter Zugriff: 17.06.2024))

Ein wesentlicher Aspekt der Kreislaufwirtschaft im Bausektor ist das Design von Gebäuden und Infrastrukturen, welches eine leichte Demontage sowie eine Wiederverwendung oder ein Recycling der Materialien ermöglicht. Dies impliziert eine sorgfältige Planung sowie den Einsatz hochwertiger und langlebiger Materialien. Die Zirkulärwirtschaft zielt darauf ab, Ressourcen zu schonen und Materialien durch die Phasen „Make“, „Use“ und „Dispose“ effizient zu nutzen. Im Rahmen des „Make“-Prozesses werden nachhaltige Materialien verwendet, die in den biologischen oder technischen Kreislauf zurückgeführt werden können. In der „Use“-Phase wird die Lebensdauer der Produkte durch Reparaturfreundlichkeit und vielseitige Nutzung maximiert. In der „Dispose“-Phase werden Abfälle vermieden, indem Materialien biologisch abgebaut oder technisch recycelt werden. Das Modell fördert eine nachhaltige Bauwirtschaft, die sich durch eine Minimierung von Abfällen sowie den schonenden Umgang mit Ressourcen auszeichnet.¹³

¹³ Jansen, Felix: Viel zu tun auf dem Weg zur Circular Economy. In: <https://blog.dgnb.de/auf-dem-weg-zur-circular-economy/> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

1.2.3. Lebenszyklus von Gebäuden

Der Lebenszyklus eines Gebäudes umfasst: Rohstoffgewinnung, Produktion von Komponenten, Entwurf/Gestaltung/Design, Errichtung, Nutzung/Betrieb; Renovierung und Abbruch. In einer Kreislaufwirtschaft werden Stoff- und Materialströme in allen Phasen des Lebenszyklus geschlossen, nicht erst am Ende beim Recycling. Diese Herangehensweise geht weit über erweitertes Recycling hinaus.¹⁴

1.2.4. Auswirkung auf die Baubranche

Die Vorteile der Kreislaufwirtschaft im Bausektor sind vielfältig. Sie tragen zur Reduktion von CO₂-Emissionen und Bauabfällen bei und schonen natürliche Ressourcen. Bauunternehmen profitieren durch die Möglichkeit, Materialien mehrfach zu nutzen und durch innovative Geschäftsmodelle, die auf langfristige Nachhaltigkeit ausgelegt sind. Verbraucher und die Gesellschaft insgesamt profitieren von langlebigeren und umweltfreundlicheren Bauwerken, die langfristig Kosteneinsparungen und eine höhere Lebensqualität ermöglichen.¹⁵

Der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft im Bausektor wird durch legislative Initiativen gefördert. Der Aktionsplan der Europäischen Kommission für die Kreislaufwirtschaft von 2020 sowie das österreichische Abfallwirtschaftsgesetz fördern nachhaltige Bauweisen und erweitern die Herstellerverantwortung. Bauunternehmen sind dazu verpflichtet, sich um die Rücknahme und Wiederverwertung von Baumaterialien zu kümmern, um Abfall zu minimieren und Ressourcen zu schonen. Die implementierten Maßnahmen resultieren in einer Vorreiterrolle des Bausektors hinsichtlich nachhaltigen Wirtschaftens und innovativen Bauens.¹⁶

¹⁴ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 1 S.8.

¹⁵ Zand, Helene: Zukunftsfähig Wirtschaften: Von der Linearwirtschaft zur Kreislaufwirtschaft. In: <https://www.gruenewirtschaft.at/2021/06/11/kreislaufwirtschaft/> (letzter Zugriff: 21.05.2024)

¹⁶ Zand, Helene: Zukunftsfähig Wirtschaften: Von der Linearwirtschaft zur Kreislaufwirtschaft. In: <https://www.gruenewirtschaft.at/2021/06/11/kreislaufwirtschaft/> (letzter Zugriff: 21.05.2024)

2. Prinzipien der Nachhaltigkeit im Bauwesen

2.1.1. Nutzung des Bestands

Ressourcenschonung beginnt mit der Weiternutzung vorhandener Gebäude. Jede Nutzung bestehender Bausubstanz sollte Vorrang vor Neubauten haben, da dies nicht nur den Materialeinsatz reduziert, sondern auch die bestehende technische (Verkehr, Energie, Kommunikation) und soziale Infrastruktur (Gesundheitsversorgung, Schulen, Einkaufsmöglichkeiten) weiterhin nutzt. Erst wenn eine Renovierung oder Weiternutzung ausgeschlossen ist, sollte ein Neubau in Betracht gezogen werden. Hierbei sollte die vorhandene Infrastruktur bestmöglich genutzt werden, um die Ressourceneffizienz zu maximieren und eine möglichst dichte Bebauung zu gewährleisten.¹⁷

2.1.2. Gute Planung

Kreislaufgerechtes Bauen erfordert eine detaillierte und sorgfältige Planung, die bereits in den frühen Projektphasen beginnt. Ausschreibungen sollten Vorgaben zur Minimierung von Transportwegen, zur Errichtung von Sortierinseln für Baurestmassen und zur Verwendung von vor Ort vorhandenem Aushubmaterial enthalten. On-Site-Recycling und die Wiederverwendung von Baustoffen und Bauteilen können die Ressourceneffizienz erheblich steigern, besonders wenn rückzubauende Bausubstanz vorhanden ist. Eine umfassende Gebäudedokumentation ist unerlässlich, um während der Nutzung und beim Rückbau genaue Informationen über die bauliche Zusammensetzung und mögliche Schadstoffe zu haben. Digitale Gebäudedepässe und Urban-Mining-Kataster können hierbei unterstützen.¹⁸

2.1.3. Materialaufwand minimieren

Ein reduzierter Materialaufwand senkt die Umweltbelastung. Dies wird durch sorgfältige Planungsentscheidungen bezüglich Baukörpergestaltung, Tragwerksplanung und Materialwahl erreicht. Eine hohe Kompaktheit des Gebäudes ist anzustreben, da ein günstiges Verhältnis von Oberfläche zu Volumen (A/V-Verhältnis) den

¹⁷ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 2 S.12.

¹⁸ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 2 S.12f.

Energieverbrauch senkt und den Materialaufwand minimiert. Freistehende Einfamilienhäuser haben ein höheres A/V-Verhältnis als Reihen- oder Mehrfamilienhäuser.¹⁹

Umweltbelastende unterirdische Bauflächen sollten vermieden werden, sofern sie nicht zwingend notwendig sind. Auch Erdgeschossflächen sind im urbanen Bereich kritisch zu betrachten, wenn sie nicht hochwertig genutzt werden können. Eine aufgeständerte Bauweise minimiert die Flächenversiegelung und reduziert den Materialaufwand durch punktuelle Fundamente.²⁰

Materialwahl und Tragwerksplanung sollten auf Leicht- und Skelettbauten fokussieren, die weniger Baustoffe benötigen und eine höhere Flexibilität bieten. Diese Bauweisen sind besonders bei Büro- und Gewerbebauten verbreitet, da sie besser an sich ändernde Anforderungen angepasst werden können.²¹

2.1.4. Bevorzugung nachwachsender Rohstoffe

Nachwachsende Rohstoffe wie Holz, Stroh, Schafwolle, Hanf und Lehm spielen eine wichtige Rolle in der kreislaufgerechten Bauweise. Diese Materialien sind, unter nachhaltigen Bedingungen, endlos verfügbar. Holz bindet CO₂ und trägt so zur Reduktion von Treibhausgasen bei. Je weniger das Holz bearbeitet wird, desto mehr CO₂ kann langfristig gespeichert werden. Insbesondere im niedriggeschossigen Wohnbau, wo geringere Anforderungen an den Brandschutz bestehen, kann Holz seine CO₂-Speicherkapazität optimal nutzen.²²

2.1.5. Bevorzugung recyclingfähiger Materialien

Um den Abbau von Primärressourcen zu reduzieren, sollten recycelte und recyclingfähige Materialien bevorzugt werden. Metalle wie Stahl, Kupfer und Aluminium lassen sich ohne Qualitätsverlust recyceln, während Kunststoffe und Bitumen je

¹⁹ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 2 S.14.

²⁰ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 2 S.14.

²¹ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 2 S.15.

²² Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 2 S.16.

nach Sortenreinheit unterschiedliche Nachnutzungspotenziale haben. Mineralische Materialien wie Zement und Beton können durch Recycling Primärressourcen wie Kies substituieren. Obwohl Recyclingbaustoffe oft teurer sind als Primärmaterialien, könnten steigende Deponiekosten und Rohstoffknappheit ihren Einsatz fördern. Die lokale Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen und Transportkosten beeinflussen die Wirtschaftlichkeit. Recycling sollte durch ressourcenschonendere Nutzungsstrategien auf Komponenten-, Bauteile- oder Gebäudeebene ergänzt werden.²³

2.1.6. Wiederverwendung von Bauteilen ermöglichen

Direkte Wiederverwendung ist ressourcenschonend, aber in der Praxis selten ohne Schäden möglich. Es gibt jedoch mehrere Hindernisse, die die Wiederverwendung erschweren. Neubauprojekte berücksichtigen oft keine Sekundärnutzung, und kurze Rückbauzeiten sowie fehlende Vermarktungsstrukturen stellen zusätzliche Herausforderungen dar. Zudem erfordern unlösbare Verbindungstechniken und hoher Arbeitsaufwand beträchtliche Ressourcen. Positive Entwicklungen wie Projekte zur Wiederverwendung, Änderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen, beispielsweise die Recycling-Baustoffverordnung in Österreich, sowie Online-Plattformen und Bauteilbörsen fördern die Wiederverwendung.²⁴

2.1.7. Einstoffliche Bauweisen

Komplexe Gebäudeschichten erschweren die sortenreine Trennung beim Rückbau. Einstoffliche Bauweisen (Holz, Lehm, Ziegel, Leichtbeton, Porenbeton) bieten einen Kompromiss zwischen Bauphysik und einfacher Rückbaubarkeit.²⁵

2.1.8. Lösbare Verbindungen von Konstruktionen

Lösbare Verbindungsmittel sind entscheidend für eine einfache Demontage. Temporäre Bauten demonstrieren die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten solcher Verbindungsmittel, besonders der Schrauben. Ähnlich wie bei Gerüsten können Systemlösungen verwendet werden, oder auch unkonventionelle Verbindungsmittel wie

²³ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 2 S.16f.

²⁴ Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023. S.55.

²⁵ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 2 S.20.

Spanngurte oder Kabelbinder. Je nach Materialtyp lassen sich verschiedene Verbindungsmittel optimal einsetzen: Laschen und Seile sind geeignet für Textilien und Membranen, während Schellen und Schrauben ideal für Stahl und Holz sind.²⁶

2.1.9. Verwendung langlebiger Bauteile und Materialien

Materialien sollten auf Wiederverwendbarkeit, Langlebigkeit und geringe Primärenergieintensität (PEI) ausgerichtet sein, wobei die Auswahl der Baustoffe vom Nutzungsszenario abhängt, wie zum Beispiel Metalle, Holz oder Schaumglas. Um die Kreislaufwirtschaft zu fördern, sollten wirtschaftliche Anreize für langlebige Produkte gesetzt werden. Dabei stehen jedoch häufig Kostendruck und kurzfristige Konsumentenentscheidungen im Widerspruch zu diesem Prinzip.²⁷

2.1.10. Flächeneffizienz

Eine hohe Auslastung der verfügbaren Fläche kann durch funktionale und mehrfach nutzbare Räume erreicht werden. Die Optimierung von Verkehrs- und Funktionsflächen sowie angepasste Geschosshöhen bieten sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile.²⁸

2.1.11. Nutzungsflexibilität

Gebäude sollen an verschiedene Nutzungsszenarien angepasst werden können. Maßnahmen wie nutzungsneutrale Räume, flexible Raumaufteilung und Berücksichtigung von Nutzlastreserven bei der statischen Planung erhöhen die Flexibilität.²⁹

2.1.12. Reinigungs- und Instandhaltungsoptimierung

Je nach Gebäudetyp und Nutzung können die Reinigungskosten und -ressourcen erheblich sein. Eine durchdachte Planung ist daher entscheidend. Fenster sollten von innen gereinigt werden können. Pflegeleichte Außenmaterialien wie Holz und

²⁶ Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023. S.54.

²⁷ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 2 S.23ff.

²⁸ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 2 S.25f.

²⁹ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 2 S.27.

Naturstein sind zu bevorzugen, während Beton- und Metallfassaden mehr Aufwand erfordern. Im Innenbereich sollten pflegeintensive Materialien vermieden und schwer zugängliche Bereiche im Grundriss ausgeschlossen werden.³⁰

2.2. Schichten als Prinzip des kreislaufgerechten Bauens

2.2.1. Kreisläufe, Faktor Zeit und Trennbarkeit

Im kreislaufgerechten Bauen muss berücksichtigt werden, dass Gebäude in regelmäßigen Abständen an neue Anforderungen und Veränderungen angepasst werden müssen. Dies erfordert den Austausch von materiellen Ressourcen, wobei der Extremfall der komplette Austausch eines Gebäudes durch einen Ersatzbau ist. Das Gebäude kann als Material- bzw. Rohstofflager betrachtet werden, in dem die verbauten Ressourcen nach ihrer Nutzungsdauer wiederverwendet oder recycelt werden. Dies erfordert eine entsprechende Planungs- und Konstruktionsmethodik.³¹

Die technische und funktionale Beziehung der verschiedenen Bestandteile eines Gebäudes sowie ihr Verhalten über die Zeit müssen verstanden werden. Diese Bestandteile müssen so gestaltet sein, dass sie nach ihrem Lebenszyklus als hochwertige Rohstoffe wieder entnommen werden können. Eine differenzierte Betrachtung der Bauteile ist erforderlich, da diese sehr spezifische Funktionen und variierende Lebensdauern haben.³²

Der Ansatz des rückbaufreundlichen Konstruierens betont die Identifikation und Gestaltung von Schnittstellen, die es ermöglichen, Bauteile entsprechend ihrer Lebensdauer und Zweckbestimmung zu trennen. Materialien sollten sortenrein verbaut und durch Materialpässe dokumentiert werden, um eine optimale Wiederverwendung zu ermöglichen. Verbindungen zwischen Bauteilen müssen so gestaltet

³⁰ Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020. Modul 2 S.27.

³¹ Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023. S.118.

³² Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023. S.118.

sein, dass sie reversibel und leicht trennbar sind, um eine schadensfreie Demontage zu gewährleisten.³³

2.2.2. Stewart Brands Schichtenmodell

Das Schichtenmodell von Stewart Brand in „How Buildings Learn“ unterscheidet sechs „Shearing Layers of Change“:

- Site (Ort): Geografische Lage und äußere Einflüsse, die konstant bleiben.

- Skin (Fassade): Äußere Schutzhülle mit einer Lebensdauer von ca. 20 Jahren.

- Structure (Tragwerk): Fundament und Tragstruktur mit einer Lebensdauer von 30-300 Jahren.

- Services (Gebäudetechnik): Technische Installationen wie Elektrik und Sanitäranlagen mit einer Lebensdauer von 7-15 Jahren.

- Space Plan (Raumlayout): Innenwände und Raumkonfiguration, die sich je nach Nutzung alle 3-30 Jahre ändern können.

- Stuff (Ausstattung): Möbel und Ausstattung mit häufigen Veränderungen.³⁴

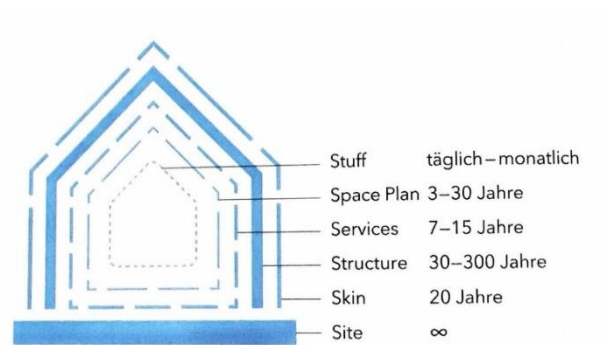


Abbildung 3: Das Gebäude als Schichtenmodell (Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023 S.120.)

Diese Schichten sind für das kreislaufgerechte Bauen von großer Bedeutung, da sie eine flexible Anpassung und langfristige Nutzung ermöglichen. Jede Schicht kann unabhängig von den anderen erneuert oder angepasst werden, was eine effiziente Nutzung von Ressourcen und eine einfache Implementierung von Veränderungen sicherstellt. Durch die Trennung und gezielte Gestaltung der Schichten können Gebäude optimal an veränderte Anforderungen angepasst und

³³ Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023. S.119.

³⁴ Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023. S.120.

Materialien leichter wiederverwendet oder recycelt werden. Dies minimiert den Ressourcenverbrauch und fördert die Nachhaltigkeit im Bauwesen.³⁵

2.2.3. Baukonstruktives Schichtenmodell

Das baukonstruktive Schichtenmodell betont die Notwendigkeit, jede Gebäudeschicht in Bezug auf Funktion und Lebenszyklus maximal effizient zu gestalten. Die Schichten sollten untereinander gut trennbar sein, sodass sie sich einzeln verändern, austauschen oder anpassen lassen, ohne die Lebensdauer des Gesamtsystems zu beeinträchtigen.³⁶

Dieses Modell fokussiert sich auf die wesentlichen Anforderungen eines thermisch abgeschlossenen Gebäudes in gemäßigten Breitengraden. Im Vergleich zu Brands Modell konzentriert es sich auf die Schichten Skin, Structure und Space Plan. Eine Trennung von Baukonstruktion und Haustechnik sowie eine anpassbare Grundstruktur des architektonischen Entwurfs werden als Grundlage vorausgesetzt.³⁷

Ein zeitgenössischer Neubau muss folgende technisch-funktionalen Anforderungen von außen nach innen erfüllen: Schützen, Dämmen, Dichten, Tragen und Bekleiden. Diese Anforderungen bestimmen die Schnittstellen der Schichten:

- Schützen: Äußerste Schicht der Gebäudehülle (Fassadenbekleidung, Dachdeckung) zum Schutz gegen Witterung, Regen und Wind.

- Dämmen: Minimierung von Wärmeverlusten durch Außendämmung, Dämmung zwischen und innerhalb der Tragkonstruktion.

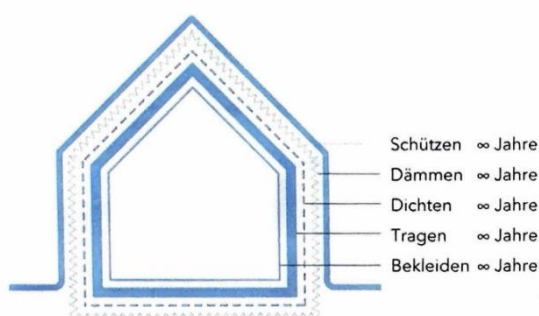


Abbildung 4: Baukonstruktives Schichtenmodell (Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023 S.121.)

³⁵ Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023. S.120.

³⁶ Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023. S.120.

³⁷ Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023. S.121.

- Dichten: Schutz gegen Feuchtigkeit von außen und Dampf von innen durch Folien, Dampfsperren und Windpapiere.
- Tragen: Abtragen der Lasten und Gewährleistung der Standsicherheit durch verschiedene Bauweisen (Filigran- und Massivbau).
- Bekleiden: Sauberer Abschluss der Konstruktion innen, Verbesserung der Raumakustik und Verdeckung von Installationen durch Wandbekleidungen, Abhangdecken und Oberflächen.³⁸

Das vorgeschlagene Modell repräsentiert einen tiefgreifenden Wandel in der Architektur, indem es eine neue Perspektive auf Materialien und Konstruktionen einführt. Während das Shearing-Layers-Modell auf die Schnittstellen im Lebenszyklus eines Gebäudes abzielt und auch in einem linearen Wirtschaftssystem anwendbar bleibt, fokussiert das baukonstruktive Modell auf die technischen und konstruktiven Verbindungen. Das Ziel besteht darin, an diesen Stellen sortenreine und wieder lösbare Verbindungen zu schaffen, um die Lebensdauer der Materialien zu maximieren und ihre endlose Wiederverwertbarkeit zu gewährleisten.³⁹

3. Holz als Baumaterial

Holz ist ein bedeutender und vielseitiger Baustoff, der sich durch seine nachhaltigen Eigenschaften und vielfältigen Verwendungen auszeichnet. Aufgrund seiner technischen Vorzüge und umweltfreundlichen Merkmale erfreut es sich in der Bauindustrie zunehmender Beliebtheit. Holz ist ein nachwachsender Rohstoff, der sich zu 100 % biologisch abbauen lässt und einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leistet, indem es Kohlenstoff speichert und CO₂-Emissionen reduziert. Dieser natürliche Baustoff überzeugt durch seine hohe mechanische Festigkeit, gute Wärme-

³⁸ Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023. S.121.

³⁹ Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023. S.121.

dämmeigenschaften und die Fähigkeit, Feuchtigkeit zu regulieren. Diese Eigenschaften qualifizieren Holz als idealen Baustoff für energieeffiziente und umweltfreundliche Gebäude.⁴⁰

3.1. Historische Bedeutung und Eigenschaften

Holz wächst kontinuierlich nach und kann nachhaltig bewirtschaftet werden. In Österreich wird jede Sekunde ein Kubikmeter Holz erzeugt, wodurch die Versorgungssicherheit gewährleistet und die natürlichen Ressourcen geschont werden. Holz bindet langfristig CO₂ und trägt somit aktiv zum Klimaschutz bei, da es weniger Energie für die Herstellung benötigt als andere Baustoffe. Zusätzlich reduziert Holz die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen.⁴¹

Seine hohe Tragfähigkeit bei geringem Eigengewicht ermöglicht den Bau stabiler und langlebiger Gebäude. Holzbauten benötigen kleinere Fundamente und eignen sich besonders gut für Aufstockungen in urbanen Gebieten. Holz bietet hervorragende Wärmedämmeigenschaften, trägt zu einer hohen Energieeffizienz bei und ist besonders in kalten Regionen vorteilhaft.⁴²

Der Holzsektor schafft zahlreiche Arbeitsplätze, insbesondere in ländlichen Regionen, und ist ein wichtiger Wirtschaftszweig. Intensive Forschung hat neue Holzwerkstoffe wie Brettsperrholz hervorgebracht, die den Holzbau revolutioniert haben. Diese Materialien ermöglichen innovative Bauweisen, einschließlich mehrgeschossiger Gebäude, und erweitern die Einsatzmöglichkeiten von Holz.⁴³

Moderne Berechnungs- und Fertigungsmethoden erlauben es ArchitektInnen und IngenieurInnen, Holz in vielfältigen und innovativen Formen einzusetzen. Von weitgespannten Tragwerken bis zu Hochhäusern ist alles möglich, was Holz zum Inbe-

⁴⁰ Holz als Baustoff: Eigenschaften und Nachhaltigkeit. In: <https://www.jh-profishop.at/at/profi-guide/holz-baustoff/> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁴¹ 10 gute Gründe für Bauen mit Holz. Holzbau-Argumente. In: <https://www.proholz.at/wald-holz-klima/10-gute-gruende-fuer-bauen-mit-holz> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁴² Holz als Baustoff: Eigenschaften und Nachhaltigkeit. In: <https://www.jh-profishop.at/at/profi-guide/holz-baustoff/> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁴³ 10 gute Gründe für Bauen mit Holz. Holzbau-Argumente. In: <https://www.proholz.at/wald-holz-klima/10-gute-gruende-fuer-bauen-mit-holz> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

griff moderner Architektur macht. Der Großteil der Holzbauarbeiten kann in Produktionshallen vorgefertigt werden, was zu einer präzisen, wetterunabhängigen Fertigung und einer schnellen, lärmarmen Bauweise vor Ort führt.⁴⁴

Trotz seiner Brennbarkeit ist das Brandverhalten von Holz gut berechenbar, und Holzbauten sind mindestens so sicher wie andere Bauweisen. Holz schafft ein reguliertes Raumklima, da es Feuchtigkeit aufnehmen und abgeben kann. Es fühlt sich warm an, riecht gut und sorgt für eine angenehme Wohnatmosphäre.⁴⁵

Die Flexibilität von Holz, etwa durch modulare Bausysteme, ermöglicht flexible Erweiterungen, Verkleinerungen sowie einen unkomplizierten Rückbau oder Wiederaufbau. Schließlich bieten gute Wiederverwendungsmöglichkeiten, wie die Nutzung als Rohmaterial oder zur Energiegewinnung, einen zusätzlichen ökologischen Vorteil, indem Holz stets eine Rohstoffquelle bleibt. Diese Eigenschaften fördern die Ressourcenschonung, den Umweltschutz und die Nachhaltigkeit im Bauwesen.⁴⁶

3.2. Holz im Kontext der Kreislaufwirtschaft

Holz spielt in der Kreislaufwirtschaft eine wichtige Rolle. Das Bauen mit Holz bedeutet, mit einem natürlichen Material zu planen, gestalten und konstruieren, das nachwächst, aber dessen Verfügbarkeit begrenzt ist. Um eine effektive Integration in den natürlichen Kreislauf zu gewährleisten, sollte Holz am Ende seines Lebenszyklus vollwertig energetisch genutzt werden können. Holzprodukte sollten idealerweise mehrfach genutzt werden, bis sie wieder nachgewachsen sind.⁴⁷

Die Grundidee der Kaskadennutzung von Holz besteht in der Verlängerung der Nutzungsdauer des Rohstoffs im Wirtschaftskreislauf. Holz soll demnach in möglichst vielen Produktlebenszyklen genutzt werden, bevor es energetisch verwertet wird. Die Kaskadennutzung ist ein Konzept aus der Kreislaufwirtschaft, welches eine

⁴⁴ 10 gute Gründe für Bauen mit Holz. Holzbau-Argumente. In: <https://www.proholz.at/wald-holz-klima/10-gute-gruende-fuer-bauen-mit-holz> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁴⁵ 10 gute Gründe für Bauen mit Holz. Holzbau-Argumente. In: <https://www.proholz.at/wald-holz-klima/10-gute-gruende-fuer-bauen-mit-holz> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁴⁶ Nachhaltig Bauen mit Holz. In: <https://derix.de/nachhaltigkeit-im-holzbau/nachhaltig-bauen-mit-holz/> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁴⁷ Kolb, Josef: Holzbau mit System. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 3. Aktualisierte Auflage. Basel: Birkhäuser 2010. S. 18.

möglichst effiziente und häufige Nutzung von Rohstoffen und Produkten vorsieht. Es ist das Ziel, sämtliche Ressourcen zu verwerten und Abfallstoffe zu vermeiden.⁴⁸

Die Kaskadennutzung von Holz beginnt mit der nachhaltigen Holzernte, gefolgt von der Verarbeitung in Sägewerken, wo Bauholz und Plattenmaterialien entstehen. Nebenprodukte wie Sägespäne und Hackschnitzel werden in der Papier- und Zellstoffindustrie weiterverwendet. Im Holzbau werden langlebige Gebäude errichtet, wobei Altholz recycelt und erneut als Rohstoff genutzt wird. Reststoffe wie Sägespäne

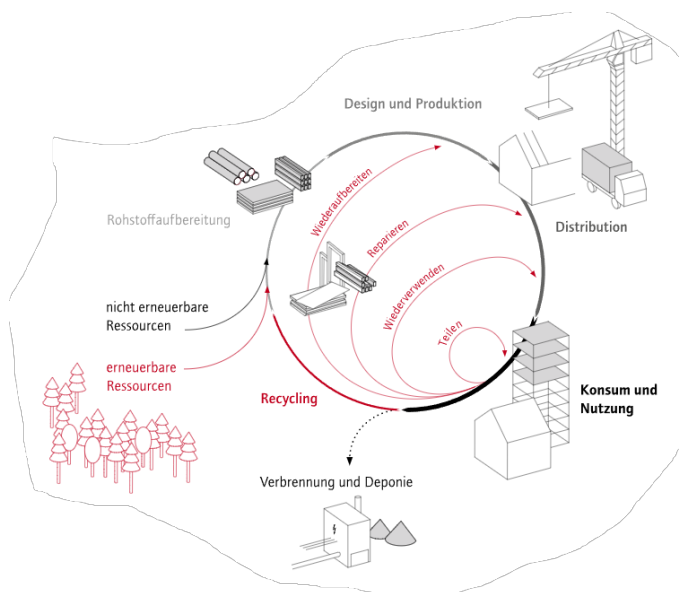


Abbildung 5: Nachwachsende Rohstoffe in der Kreislaufwirtschaft (In: <https://www.proholz.at/zuschnitt/88/kreislaufnutzung-und-holzbau> (letzter Zugriff: 17.06.2024))

dienen der Energieproduktion. Die thermische Verwertung stellt den letzten Schritt in der Kaskadennutzung von Holz dar. Hierbei wird Holz zur Strom- und Wärmeenergieerzeugung verbrannt, wodurch der CO₂-Kreislauf geschlossen wird.⁴⁹

Die Kaskadennutzung von Holz verfolgt mehrere Ziele. Die ökonomische Nutzung des Rohstoffs Holz erfolgt in erster Linie mit dem Ziel, die wirtschaftliche Ausbeute zu maximieren. Dies kann insbesondere durch die Verwertung von Rest- und Recyclingmaterial erfolgen. Im Hinblick auf den Klima- und Umweltschutz wird angestrebt, den Rohstoff Holz so lange wie möglich im Kreislauf zu halten, da dies die Zeit verlängert, in der CO₂ im Holz gebunden bleibt, was wiederum die Klimafreundlichkeit der Holzprodukte erhöht. Des Weiteren führt die ständige Wiederverwertung des bestehenden Rohstoffs zu einer Schonung des Waldes, da die Rodung von

⁴⁸ Dunkler, Kerstin: Kaskadennutzung von Holz – anschaulich erklärt. In: <https://cradle-mag.de/artikel/kaskadennutzung-holz.html> (letzter Zugriff: 12.06.2024)

⁴⁹ Dunkler, Kerstin: Kaskadennutzung von Holz – anschaulich erklärt. In: <https://cradle-mag.de/artikel/kaskadennutzung-holz.html> (letzter Zugriff: 12.06.2024)

Bäumen reduziert wird. Dies kommt sowohl dem Wald als auch der Versorgungssicherheit zugute.⁵⁰

4. Holzskelettbau als Systemlösung

4.1. Allgemeines

Der Holzskelettbau entsteht aus dem Fachwerkbau mit dem Ziel, eine erhöhte Flexibilität bei der Raumaufteilung und großflächigen Verglasung zu ermöglichen. Aus dem herkömmlichen Fachwerkbau bestehend aus Schwelle, Pfosten, Streben, Rähm und der Holzbalkendecke, die tragende, aussteifende und raumbildende Funktionen gleichzeitig erfüllen, entsteht der Holzskelettbau mit bedeutenden Vorteilen. Das tragende Gerüst des Holzskelettbaus ist leicht und schnell mit Holzbauteilen wie Stützen und Horizontalträgern montierbar. Weitere Bauteile erfüllen ausschließlich Ausfachungs- und Aussteifungsfunktionen. Der Konstruktionsraster ist flexibel und kann bis zu einer Spannweite von 8 Metern frei gewählt werden. Aufgrund der rein raumbildenden Funktion der Wände können sie beliebig angeordnet und verschoben werden, was dem Holzskelettbau größtmögliche Planungsfreiheit verleiht. So entsteht eine klare Aufgabentrennung zwischen der tragenden und der raumbildenden Konstruktion. Diese Bauweise ermöglicht eine offene und individuelle Gestaltung der Grundrisse sowie eine flexible und variable Raumaufteilung.⁵¹

Holz erweist sich als optimaler Baustoff für dieses Konstruktionssystem. Sein geringes Gewicht bei gleichzeitig hoher Festigkeit erleichtert den Transport zur Baustelle und ermöglicht eine zügige Montage des Skeletts, was sich positiv auf die Dimensionierung der Fundamente auswirkt. Aufgrund seiner einfachen Bearbeitbarkeit können unkomplizierte Anschlusslösungen für den weiteren Ausbau realisiert werden. Bei Berücksichtigung der materialspezifischen Eigenschaften während der Konstruktion erfordert der Unterhalt des Holzbaus nur geringen Aufwand. Die Resistenz

⁵⁰ Dunkler, Kerstin: Kaskadennutzung von Holz – anschaulich erklärt. In: <https://cradle-mag.de/artikel/kaskadennutzung-holz.html> (letzter Zugriff: 12.06.2024)

⁵¹ Ruske, Wolfgang: Holzskelettbau: Entwicklung, Systeme und Beispiele. 2. Auflage. Stuttgart: Dt. Verl.-Anst. 1981. S.23.

Steiger, Ludwig: Holzbau. Basics Konstruktion Holzbau. 3. Auflage. Basel: Birkhäuser 2013. S.44.

des Holzes gegenüber atmosphärischen Einflüssen trägt ebenfalls zur Langlebigkeit bei. Durch einen hohen Fertigungsgrad ermöglicht Holz nicht nur eine präzise und passgenaue Herstellung, sondern eröffnet auch die Anwendung von Bausystemen bis hin zum Fertighaus. Dieses Bausystem ist sehr vielfältig und eignet sich sowohl für Verwaltungs-, Gewerbe- und Industriebauten als auch für Bildungs-, Wohnbau und Bauten des öffentlichen und privaten Bereichs.⁵²

4.2. Konstruktionsteile

Unter Holzskelettbau wird jene Konstruktion verstanden, die aus Stützen und Trägern in einem bestimmten Raster und Modul ein Tragwerk bildet. Über diesem Primärtragwerk liegt das Sekundärtragwerk aus Sparren- und Balkenlagen. Die raumbildenden Wände sind von den Vertikallasten nicht tragend beeinflusst. Die architektonische Gestalt des Holzskelettbauers ist an den sichtbaren Primär- Sekundär – und Nebentragwerken zu erkennen. Das Nebentragwerk besteht aus Geschoßdecke und Dach.⁵³

Im Holzskelettbau übernimmt das primäre Tragwerk die Lasten aus der Nebenkonstruktion bestehend aus Balken- und Sparrenlagen und leitet sie anschließend in die Fundamente weiter. Bei kleinen Stützweiten ist die Verwendung von Schnittholz sinnvoll, während für größere Spannweiten bevorzugt Brettschichtholz eingesetzt wird. Windkräfte, die auf die Außenbauteile wirken, werden über vertikale Aussteifungssysteme auf die Dach- und Deckenebene und von dort aus in die Fundamente abgeleitet. Die horizontale Aussteifung kann durch Windrispenbänder, Flachstahldiagonalen, Sperrholzplatten, Spanplatten und Massivholzschalungen erfolgen. Die

⁵² Kolb, Josef: Holzbau mit System. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 3. aktualisierte Auflage. Basel: Birkhäuser 2010. S.87.

Ruske, Wolfgang: Holzskelettbau: Entwicklung, Systeme und Beispiele. 2. Auflage. Stuttgart: Dt. Verl.-Anst. 1981. S.23.

⁵³ Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.102.

vertikale Aussteifung wird durch Stahlkreuze, Massivholzdiagonalen, volle Scheiben wie Holzwerkstoffplatten sowie durch massive Einbauten wie Treppenhäuser oder Liftschächte gebildet.⁵⁴

4.3. Baustruktur

4.3.1. Rastermaß und Stützenabstand

Skelettbauten werden in einem horizontalen oder vertikalen Raster geplant. Die Auswahl des Grundmoduls determiniert die Anordnung des Tragwerkes mit Grundriss- und Höhenraster sowie die Konzeption von Holzskelettbauten. Das Rastermaß ist abhängig von den Gegebenheiten des Grundrisses, der Funktionsbestimmung des Baues und von konstruktiven Gegebenheiten. Der entstehende Wiederholungseffekt erleichtert die Planung und Ausführung⁵⁵

Es kann grundsätzlich festgestellt werden, dass die Anordnung der Tragkonstruktion in einem größeren Grundrissraster zwar einen höheren Verbrauch an Holz erfordert, jedoch die Gesamtkosten für das Holzskelett mit einem vergrößerten Rastermaß sinken. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Gesamtkosten eines Tragsystems im Ingenieurholzbau maßgeblich von der Anzahl der erforderlichen Knotenpunkte beeinflusst werden. Die Herstellung dieser Knotenpunkte ist mit einem hohen finanziellen Aufwand verbunden.⁵⁶

Generell ist das Rastermaß frei wählbar und kann anhand individueller Faktoren festgelegt werden. Kriterien zur Festlegung des Rastermaßes umfassen unter anderem Entwurfsansätze, Lage, Gestaltung oder Konstruktive Überlegungen. Grundrastermaße für den Holzskelettbau sind Großraster wie 1250/1250 Millimeter, 2500/2500 Millimeter, 5000/5000 Millimeter, 6250/6250 Millimeter 7500/7500 Millimeter und weitere Größen. Geplant wird mit einer Einheit von 625 Millimeter, sodass

⁵⁴ Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.104.

⁵⁵ Kolb, Josef: Holzbau mit System. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 3. aktualisierte Auflage. Basel: Birkhäuser 2010. S.90.

⁵⁶ Kolb, Josef: Holzbau mit System. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 3. aktualisierte Auflage. Basel: Birkhäuser 2010. S.90.

ein Abstand von 625 Millimeter zwischen den Balken und Beplankungsschichten gegeben ist.⁵⁷

Nachdem das Rastermaß bestimmt worden ist, wird die Konstruktion vorab bemessen, die passende Skelettbauart gewählt und die Knotenpunkte und Ausbaudetails geplant. Dabei werden Wand- und Deckenbauten festgelegt, statische Berechnungen durchgeführt und Ausführungspläne erstellt.⁵⁸

Die Wirtschaftlichkeit des Tragwerks im Holzskelettbau wird maßgeblich von der Wahl des Rastermaßes und der Skelettbauart beeinflusst. Der Abstand zwischen den Stützen ist von entscheidender Bedeutung, da sie an den Schnittpunkten des Rasters im Grundriss platziert werden. Die Stützen selbst sind in Bezug auf die Statik unproblematisch und können aufgrund ihrer hohen Tragfähigkeit in Holzlängsrichtung große Lasten tragen. Es ist wichtig, die Knicklängen der Anschlussdetails sowie die Spannweiten der Unterzüge und Decken zu berücksichtigen.⁵⁹



Abbildung 6: Grundrissraster von 3,6/3,6m (Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. Unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.107.)

⁵⁷ Kolb, Josef: Holzbau mit System. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 3. aktualisierte Auflage. Basel: Birkhäuser 2010. S.90.

⁵⁸ Kolb, Josef: Holzbau mit System. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 3. aktualisierte Auflage. Basel: Birkhäuser 2010. S.90.

⁵⁹ Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.108f.

Kolb, Josef: Holzbau mit System. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 3. aktualisierte Auflage. Basel: Birkhäuser 2010. S.91.

4.4. Skelettbauarten

Innerhalb der Holzbausysteme gibt es verschiedene Bauarten, die sich in der Ausführung von Stützen, Trägern und Verbindungsmitteln unterscheiden. Die Wahl des Konstruktionssystems hängt einerseits von der architektonischen Gestaltung und dem Grundrissraster ab, andererseits von den auftretenden Belastungen. Daher ist es sinnvoll, zunächst ein Grundrissraster zu wählen und das Haupttragwerk vorab zu dimensionieren, um anschließend die geeignete Skelettbauart auszuwählen. Das Tragwerk spielt insbesondere im Holzskelettbau eine entsprechende architektonische Rolle. Die fünf gängigsten Skelettbauarten umfassen „Doppelträger und Stütze“, „Doppelstütze und Träger“, „Stütze und aufliegender Träger“, „Stütze und anschließender Träger“ sowie „Gabelstütze“.⁶⁰

4.4.1. Doppelträger und Stütze

Dieses Baukonzept umfasst einzelne Stützen und zweiteilige Durchlaufträger als Haupttragwerk. Typischerweise werden die Deckenbalken als Nebenträger auf die Hauptträger aufgelegt, was zu einer großen Konstruktionshöhe der Geschosdecken führt. Dieses Prinzip ist auch als Zangenkonstruktion bekannt und aufgrund seiner klaren Konstruktion, die zu einer wirtschaftlichen Gesamtlösung führt, wird es häufig angewendet. Für die Verbindung von Zangen und Stützen sind Zangenköpfe nötig. Die sichtbaren doppelten Zangenköpfe sind gestalterisch sehr geschätzt und prägen dieses Bauprinzip. Allerdings sollte man durchlaufende Zangen oder Träger vermeiden, um möglichst wenige Wanddurchdringungen zu haben. Die Verbindung zwischen Stütze und Hauptträger kann durch Passbolzen, Einlassdübel, Ausplattung der Stütze oder Klebefasten erfolgen. Für das Auflager des Sekundärtragwerks an die Hauptträger ist die Querdruckfläche entscheidend. Die

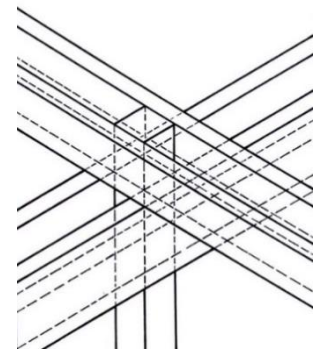


Abbildung 7: Knoten Doppelträger und Stütze (Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. Unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.111.)

⁶⁰ Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.110.

Stabilität dieser Verbindung wird durch den Einsatz von Schlüsselschrauben oder Holzdübeln gewährleistet.⁶¹

4.4.2. Doppelstütze und Träger

Nach wirtschaftlichen Überlegungen kommt die Bauart Doppelträger und Stütze bevorzugt in Anwendung. Die Bauweise mit Doppelstützen und einem Träger wird meist wegen der architektonischen Gestaltungsfreiheit gewählt. Der einteilige Träger wird durch mechanische Verbindungsmittel mit der durchlaufenden zweiteiligen Stütze verbunden. Aufgrund der schlank bemessenen Stützen und Brandschutzanforderungen ist der Einbau eines Füllholzes erforderlich. Dieses läuft bis zum Hauptträger durch und kann auch als Auflager für den Primärträger genutzt werden. Das Sekundärtragwerk in der Geschoßebene wird oberkant bündig angeschlossen. Dabei entsteht eine geringe Konstruktionshöhe. In schubbeanspruchten Deckenschalungen ist es gestattet, die Anordnung auf derselben Ebene zu platzieren, um die Kräfte direkt vom Sekundär- auf das Primärtragwerk zu übertragen. Die vertikalen Kräfte vom Hauptträger können über die Druckfläche des Füllholzes weitergeleitet werden. Zur Sicherung dieser Verbindung kommt eine Bauschraube zum Einsatz. Alternativ zum Füllholz können auch Passbolzen, Einlassdübel oder Ausplattungen an den Stützen als Anschlussmöglichkeit genutzt werden. Der Hauptträger kann durch Zapfen oder Stahlblechteile verbunden werden. Bei dieser Bauweise entstehen ungünstiger Weise ebenfalls zwangsläufig Wanddurchdringungen. Wobei diese vermieden werden können, wenn die Außenwände nicht von außen auf das Tragwerk aufgebaut werden.⁶²

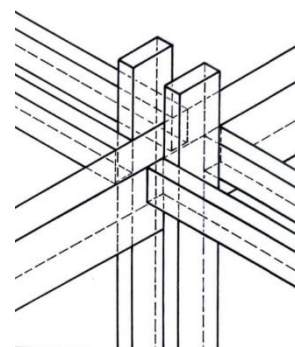


Abbildung 8: Knoten Doppelstütze und Träger (Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.112)

⁶¹ Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.110f.

⁶² Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.112f.

4.4.3. Stütze und aufliegender Träger

Diese Konstruktionsart ist eine sehr einfache Ausführungs- methode und wird oft für eingeschobige Flachdachbauten ange- wandt. Die Träger bieten die Möglichkeit einer Ausführung als Einfeld- oder Mehrfeldträger. Die Balken des Nebentragwerkes werden in ähnlicher Weise wie bei der zuvor erwähnten Bauart (Doppelstütze und Träger) an die Träger des Haupttragwerkes angeschlossen.⁶³

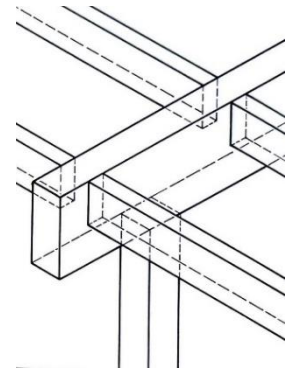


Abbildung 9: Knoten Stütze und aufliegender Träger (Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. Unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.114.)

4.4.4. Stütze und anschließender Träger

Das Haupttraggerüst dieses Bausystems basiert auf durch- laufenden Stützen und Hauptträgern, die als Einfeldträger zwischen den Stützen montiert sind. Die beiden Bauteile, so- wohl der horizontale Träger als auch die vertikale Stütze, werden als einteilige Elemente ausgeführt und liegen in einer horizontalen Ebene. Die Anordnung, bei der die Stütze den äußersten Abschluss des Tragsystems bildet und Stütze und Träger in einer Flucht liegen, eignet sich insbesondere für Bauten, bei denen das Tragskelett auf der inneren Seite der Gebäudehülle positioniert ist. Die Außenwände werden in dieser Bauweise im Nachhinein extern am Tragskelett be- festigt. Die Verbindung zwischen Hauptträger und Stütze wird durch Stahlformteile, Einlassdübel mit Simplexschrauben oder patentierte Ver- bindungssysteme realisiert. Die Vorteile dieses Konstruktionssystems sind vielsei- tig. An jeder Höhenposition oder in derselben Ebene und von allen Seiten sind An- schlüsse möglich. Es entstehen keine Wanddurchdringungen durch horizontale

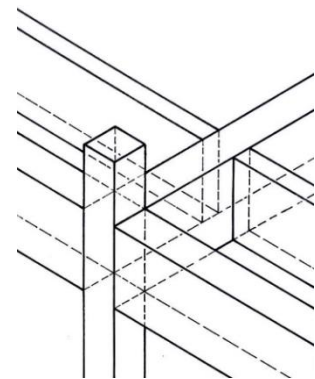


Abbildung 10: Knoten Stütze und anschließender Träger (Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. Unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.115.)

⁶³ Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. unverän- derte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.114.

Traghölzer. Die Balkone oder Vordächer können von außen als eigenständige Sekundärtragwerke konstruiert werden. Die am häufigsten verwendeten Verbindungssysteme für diese Konstruktion werden teilweise in Serie produziert. Diese Verbindungen ermöglichen verdeckte und rundum Anschlüsse, schnelle Montage, hohe Tragfähigkeit, Normierung mit festgelegter Tragfähigkeit und biegesteife Anschlüsse.⁶⁴

4.4.5. Gabelstütze

Der Unterschied zu den vorherigen Skelettbauarten ist, dass bei dieser Konstruktionsart keine rechteckigen oder quadratischen Stützen eingesetzt werden, sondern Stützen mit kreuzförmigem Querschnitt. Das Haupttragssystem besteht aus einteiligen Durchlaufträgern und Kreuzstützen. Die Stützen sind geschoßweise angeordnet und stehen über die Durchlaufträger in Verbindung mit den seitlichen Überlaschungen, die als Gabeln bezeichnet werden. Diese Stützenart bringt den Vorteil, dass der konstruktive Anschluss der Wand erleichtert wird. Der kreuzförmige Querschnitt ermöglicht eine fugenfreie Gebäudehülle. Die vertikale Kraft wird über die Kernfläche der Kreuzstütze übertragen. Die Kraftübertragung der Stützen findet über die Gabeln statt, wofür ein sogenannter Passstoß erforderlich ist. Für die bauliche Stabilität der Verbindung sind Passbolzen oder Bauschrauben notwendig.⁶⁵

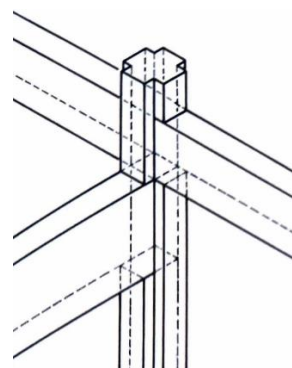


Abbildung 11: Knoten Gabelstütze und Träger (Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. Unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.117.)

4.5. Vorteile des Holzskelettbaus

Der Holzskelettbau weist eine Vielzahl von Vorteilen auf, die ihn zu einer attraktiven Bauweise machen. Ein wesentlicher Vorteil ist die Verwendung von Materialien wie Konstruktionsholz, welches aufgrund seiner Eigenschaften große Spannweiten ermöglicht und modular zusammengebaut werden kann. Die Systematisierung der Gebäudestruktur und ihrer Bauteile erlaubt eine flexible Gestaltung des Grundrisses

⁶⁴ Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.115f.

⁶⁵ Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998. S.117.

und der Fassade. Folglich können spätere Umbaumaßnahmen an einzelnen Wänden problemlos durchgeführt werden, da diese keine lastabtragende Funktion besitzen.⁶⁶

Ein weiterer Vorteil des Holzskelettbbaus besteht in der einfachen Anpassung des Raumkonzepts an veränderte Lebenssituationen. Diesbezüglich sei erwähnt, dass im Falle einer Veränderung der Lebensumstände, beispielsweise im Alter, wenn die Kinder das Haus verlassen haben oder das Büro nicht mehr benötigt wird, umliegende Räume ohne größeren Aufwand erweitert oder umgestaltet werden können.⁶⁷

Moderne Holz-Fertighäuser werden häufig als ingenieurmäßige Skelettbauten errichtet, was den Baufortschritt und die Kosten aufgrund der industriellen Vorfertigung gut kalkulierbar macht. Die einzelnen Gefache (Zwischenräume) werden dabei bereits im Werk mit nachhaltigen Konstruktionen wie Holzplatten und Dämmmaterialien gefüllt. Die Vorfertigung steigert die Effizienz und ermöglicht eine präzise und schnelle Bauweise.⁶⁸

Insgesamt lässt sich festhalten, dass sich der Holzskelettbau durch Flexibilität, Anpassungsfähigkeit und Kosteneffizienz auszeichnet. Dies macht ihn zu einer bevorzugten Wahl für nachhaltiges und zukunftssicheres Bauen.⁶⁹

5. Integration von weiteren Naturbaustoffen in Holzkonstruktionen

Im Kontext der CO₂-Bilanzen von Baustoffen gewinnen regionale Materialien zunehmend an Bedeutung. Dies betrifft nicht nur den Holzbau, sondern auch andere traditionelle Baustoffe wie Stroh und Lehm. Letztere eröffnen neue Chancen im

⁶⁶ Ein Fertighaus in Skelettbauweise. In: <https://www.fertighauswelt.de/magazin/ratgeber/skelettbau> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁶⁷ Ein Fertighaus in Skelettbauweise. In: <https://www.fertighauswelt.de/magazin/ratgeber/skelettbau> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁶⁸ Ein Fertighaus in Skelettbauweise. In: <https://www.fertighauswelt.de/magazin/ratgeber/skelettbau> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁶⁹ Ein Fertighaus in Skelettbauweise. In: <https://www.fertighauswelt.de/magazin/ratgeber/skelettbau> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

Bauwesen. Die regionale Verfügbarkeit wirkt sich positiv auf die Ökobilanz von Stroh aus.⁷⁰

5.1. Holzkonstruktion mit Stroh

5.1.1. Eigenschaften und Vorteile

Stroh als Baumaterial weist eine Vielzahl von herausragenden Eigenschaften auf, die es zu einer attraktiven Wahl für nachhaltiges Bauen machen. Ein wesentlicher Vorteil von Stroh als Baumaterial ist, dass es sich um einen nachwachsenden Rohstoff handelt, der kontinuierlich angebaut werden kann, ohne die Umwelt zu belasten. Die lokale Verfügbarkeit und der minimale Einsatz von Energie während der Herstellung verstärken diesen Aspekt der Nachhaltigkeit. Im Vergleich zu konventionellen Baumaterialien wie Steinwolle weist Stroh eine hohe mechanische Festigkeit auf, wodurch es sich als robustes Baumaterial für tragende Strukturen eignet. Die hohe mechanische Festigkeit des Strohs gewährleistet eine sichere und zuverlässige Verarbeitung.⁷¹

Ein weiterer Vorteil von Stroh ist seine exzellente Wärmedämmung. Stroh ist in der Lage, sowohl im Sommer die Aufheizung von Gebäuden zu reduzieren als auch im Winter eine effiziente Isolation gegen Kälte zu bieten. Diese thermischen Eigenschaften tragen zur Energieeffizienz von Gebäuden bei und können dazu beitragen, Heiz- und Kühlkosten zu reduzieren. Außerdem ist Stroh in der Lage, Feuchtigkeit zu leiten, was zu einer verbesserten Luftzirkulation führt und somit ein angenehmes und gesundes Raumklima fördert.⁷²

⁷⁰ Stroh. In: <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/baustoffe--teile/stroh-4712662> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁷¹ Strohhaus in Grabs: naturnah gebaut, natürlich wohnen. In: <https://www.gantenbein-holzbau.ch/blog/strohhaus-in-grabs-naturnah-gebaut-natuerlich-wohnen/> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁷² Strohhaus in Grabs: naturnah gebaut, natürlich wohnen. In: <https://www.gantenbein-holzbau.ch/blog/strohhaus-in-grabs-naturnah-gebaut-natuerlich-wohnen/> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

Ein weiterer entscheidender Faktor für die Umweltfreundlichkeit von Stroh ist dessen geringe Umweltbelastung während des gesamten Lebenszyklus. Als natürlicher, biologisch abbaubarer Stoff hinterlässt Stroh keine schädlichen Rückstände und trägt nicht zur Verschmutzung bei.⁷³

In Bezug auf die Kosten ist Stroh sogar kostengünstiger als traditionelle Baumaterialien. Die lokale Verfügbarkeit reduziert Transportkosten und minimiert Preisschwankungen. Auch die geringen Unterhaltskosten spielen hier eine Rolle, da Stroh aufgrund seiner natürlichen Eigenschaften keine spezielle Pflege benötigt.⁷⁴

Bei der Verwendung eines organischen Baustoffs ergeben sich häufig Fragen hinsichtlich eines möglichen Schädlingsbefalls, einer Brandgefahr sowie einer Staubfreisetzung im Inneren. Diese Bedenken können für Stroh als Baustoff ausgeräumt werden. Dies ist zum einen auf die hohe Dichte zurückzuführen, die es beispielsweise Mäusen erschwert, sich einzunisten. Des Weiteren wurde die Strohkonstruktion, wie konventionelle Dämmstoffe auch, durch Lochbleche, Gitter und Putze vor schädlichen Einflüssen geschützt. Der gewählte Putz gewährleistet insbesondere, dass eine Strohballenwand bei beidseitiger Anwendung eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten aufweist und der in der Konstruktion vorhandene Staub während der Nutzung des Gebäudes nicht mehr freigesetzt wird.⁷⁵

Neben den ökologischen Vorteilen und den kosteneffizienten Eigenschaften weist Stroh zudem eine bemerkenswerte Kreislauffähigkeit auf. Aufgrund der Möglichkeit der Wiederverwendung und des Recyclings trägt Stroh aktiv zur Schonung von Ressourcen bei. Diese Zirkularität qualifiziert Stroh als zukunftsfähiges Baumaterial, das sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvoll ist und nachhaltiges Bauen unterstützt.⁷⁶

⁷³ Müller, Thomas: Bauen mit Stroh. <https://www.bauen.de/a/nachhaltiger-strohballenbau/> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁷⁴ Strohhaus in Grabs: naturnah gebaut, natürlich wohnen. In: <https://www.gartenbein-holzbau.ch/blog/strohhaus-in-grabs-naturnah-gebaut-natuerlich-wohnen/> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁷⁵ Stroh. In: <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/baustoffe--teile/stroh-4712662> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁷⁶ Trinkert, Angela: Mit Strohbau auf zum Klimaziel. <https://www.bauenmitholz.de/mit-strohbau-auf-zum-klimaziel-16112022> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

5.1.2. Verwendung in Holzkonstruktionen

Beim tragenden Strohballenbau werden gepresste Strohballen wie Bausteine zu lasttragenden Außen- und Innenwänden aufgeschichtet. Die Wände können entweder verputzt oder im Außenbereich als hinterlüftete Holzfassade ausgeführt werden. Diese Konstruktion zeichnet sich durch eine hohe Stabilität sowie hervorragende Dämmeigenschaften aus.⁷⁷

In der Rahmenbauweise erfolgt die Befüllung der vorgefertigten Holzrahmen- oder Holzkastenelemente mit vorgepresstem Stroh. Innerhalb der Gefache erfolgt eine weitere Verdichtung des Strohs, sodass dieses bündig zum Rahmen geschnitten werden kann. Diese Technik erlaubt eine präzise und effiziente Nutzung von Stroh als Dämmmaterial.⁷⁸

Bei der Stroh-Einblasdämmung wird geschnittenes und gereinigtes Stroh mithilfe herkömmlicher Einblasmaschinen in Wände, Dächer, Decken und Fußböden eingebracht. Diese Vorgehensweise gewährleistet eine gleichmäßige und lückenlose Dämmung, wodurch die thermische Effizienz der Gebäudehülle erhöht wird.⁷⁹

Die Herstellung der Strohdämmplatten erfolgt aus gereinigtem und entkeimtem Stroh, welches unter Zufuhr von Wärme und unter Verwendung eines ökologischen Bindemittels in Form gepresst und getrocknet wird. Diese Dämmplatten sind normal entflammbar und können, wie herkömmliche Außen- oder Innenputzträgerplatten verarbeitet werden. Sie stellen eine nachhaltige Alternative zu traditionellen Dämmmaterialien dar und tragen zur Verbesserung der ökologischen Bilanz eines Gebäudes bei.⁸⁰

⁷⁷ Lehm und Stroh als ideale Partner für Holz. Eine Übersicht. In: <https://www.proholz.at/service/zuschnitt/87/lehm-und-stroh-als-ideale-partner-fuer-holz> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁷⁸ Lehm und Stroh als ideale Partner für Holz. Eine Übersicht. In: <https://www.proholz.at/service/zuschnitt/87/lehm-und-stroh-als-ideale-partner-fuer-holz> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁷⁹ Lehm und Stroh als ideale Partner für Holz. Eine Übersicht. In: <https://www.proholz.at/service/zuschnitt/87/lehm-und-stroh-als-ideale-partner-fuer-holz> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁸⁰ Lehm und Stroh als ideale Partner für Holz. Eine Übersicht. In: <https://www.proholz.at/service/zuschnitt/87/lehm-und-stroh-als-ideale-partner-fuer-holz> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

5.2. Anwendungsformen von Lehm im Holzbau

Lehm ist ein mineralischer Baustoff, der gemeinsam mit Holz zu den ältesten Baumaterialien der Menschheit gehört. Er entsteht auf natürliche Weise aus einer Mischung von feinkörnigem Sand, Schluff und Ton. Diese Mischung ist ein Restprodukt verwitterter Gesteine, das sich entweder direkt im Boden ablagert oder zunächst durch Wind und Wasser weitertransportiert wird. Lehmvorkommen sind weltweit zu finden, was zu geringen Umweltbelastungen durch Beschaffung und Transport führt.⁸¹

5.2.1. Eigenschaften und Vorteile

Als natürlicher Baustoff, der mit geringem Energieaufwand verarbeitet werden kann, gewinnt Lehm im Kontext des nachhaltigen Bauens zunehmend an Relevanz. Seine Schadstofffreiheit sowie die Entwicklung effizienter Verarbeitungsmethoden und innovativer Lehmprodukte tragen maßgeblich zu dieser Wiederentdeckung bei. Je nach Anwendungsbereich wird Lehm entweder unverändert genutzt oder mit anderen natürlichen Materialien kombiniert. Diese Eigenschaften machen Lehm zu einem vielseitigen und umweltfreundlichen Baumaterial, das sowohl traditionelle als auch moderne Bauweisen unterstützt.⁸²

Lehm weist von Natur aus eine diffusionsoffene Eigenschaft auf. Dies impliziert, dass der Baustoff sowohl in der Lage ist, Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft aufzunehmen als auch an sie abzugeben. Infolgedessen leistet das Material einen Beitrag zu einem gesunden Raumklima im gesamten Haus. Des Weiteren weist der Baustoff eine hohe Wärmespeicherfähigkeit auf, wodurch im Sommer angenehme Kühle und im Winter eine lange Wärmehaltung in Innenräumen gewährleistet werden kann. Dies führt zu einer Reduktion des Energieverbrauchs, was ein weiteres Argument für nachhaltiges Bauen mit Lehm darstellt. Lehmstoffe eignen sich

⁸¹ Lehm als Baustoff: Vor- und Nachteile für nachhaltige Projekte. In: <https://www.jh-profishop.at/at/profi-guide/lehm-als-baustoff/> (letzter Zugriff 18.06.2024)

⁸² Lehmbau. In: <https://www.baunetzwissen.de/glossar//lehm-bau-3211173> (letzter Zugriff: 18.06.2024)

insbesondere für Gebäude, in denen die Raumluft eine möglichst konstante Luftfeuchtigkeit aufweisen sollte, beispielsweise aufgrund von Denkmalschutzbestimmungen.⁸³

Lehm zeichnet sich durch seine Nichtbrennbarkeit aus, wodurch eine exzellente Brandsicherheit gewährleistet wird. Lehmplatten und Lehmputze weisen mindestens feuerhemmende Eigenschaften auf und können im Holzbau brandschützende Funktionen übernehmen, wodurch sie sich ideal als Materialpartner für Holz eignen.⁸⁴

Die Verwendung von Lehm in Holzkonstruktionen führt zu einer Gewichtszunahme der Aufbauten, was sich positiv auf den Schallschutz auswirkt. Durch die Verwendung von Lehm bei der Herstellung von Bauteilen aus Holz wird deren Schwingungsverhalten reduziert, was zu einer Dämpfung der Schalllängsleitung und einer Verbesserung der akustischen Qualität in Gebäuden führt.⁸⁵

Ein wesentlicher Vorteil von Lehm ist seine exzellente Kompatibilität mit anderen ökologischen Baumaterialien. Lehm wirkt als Feuchtigkeitsschutz für Holz, wodurch eine Verrottung und Schimmelbildung verhindert werden. Zudem trägt er zu einem stabilen und gesunden Raumklima bei. Lehm findet häufig in Kombination mit Stroh als Dämmstoff Anwendung, wodurch sowohl bei Sanierungen als auch bei Neubauten eine effektive und feuerbeständige Dämmung gewährleistet werden kann.⁸⁶

5.2.2. Verwendung in Holzkonstruktionen

Lehmputze werden im Holzbau als Oberflächenschutz sowie zur Verbesserung der Wärmedämmung und Schallschutz eingesetzt. Es gibt verschiedene Arten von Lehmputzen, wie Stampflehm, Wellerlehm und Faserlehm. Diese bestehen aus Lehm, Sand und gegebenenfalls pflanzlichen Fasern, was ihnen zahlreiche Vorteile

⁸³ Lehm als Baustoff: Vor- und Nachteile für nachhaltige Projekte. In: <https://www.jh-profishop.at/at/profi-guide/lehm-als-baustoff/> (letzter Zugriff 18.06.2024)

⁸⁴ Lehm und Stroh als ideale Partner für Holz. Eine Übersicht. In: <https://www.proholz.at/service/zuschnitt/87/lehm-und-stroh-als-ideale-partner-fuer-holz> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁸⁵ Lehm und Stroh als ideale Partner für Holz. Eine Übersicht. In: <https://www.proholz.at/service/zuschnitt/87/lehm-und-stroh-als-ideale-partner-fuer-holz> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

⁸⁶ Lehm als Baustoff: Vor- und Nachteile für nachhaltige Projekte. In: <https://www.jh-profishop.at/at/profi-guide/lehm-als-baustoff/> (letzter Zugriff 18.06.2024)

verleiht. Lehmputze sind nicht brennbar und übernehmen daher wichtige brand-schützende Funktionen. Zudem verleihen sie den leichten Holzstrukturen zusätzli-ches Gewicht, was den Schallschutz erheblich verbessert. Sie sind in diversen Aus-führungen erhältlich, von klassischen braunen Lehmputzen, die gestrichen werden, bis hin zu farbigen Lehmdünnlagenputzen, deren Farbigeit aus der natürlichen Farbpalette des Tons resultiert. Für eine hohe Luftfeuchtesorption und Festigkeit gemäß DIN 18947 sind Lehmputze in verschiedenen Festigkeits- und Sorptions-klassen verfügbar.⁸⁷

Lehmsteine können im Handstrich-, Press- oder Strangpressverfahren hergestellt werden, wobei der Lehm in Formen gepresst und nach dem Abziehen der Oberflä- che getrocknet wird. Diese Steine werden nicht gebrannt und besitzen Eigenschaf- ten, die sich positiv auf das Raumklima auswirken, wie gute Wärme- und Luftfeuch- tigkeitsspeicherung. Im bewitterten Außenbereich müssen sie durch mineralischen Putz geschützt werden. Lehmvollsteine bieten eine gute Schalldämmwirkung, wäh- rend Leichtlehmsteine durch Zuschlagstoffe wie Strohhäcksel oder Holzspäne eine bessere Wärmedämmung erzielen. Lehmsteine eignen sich für die Ausfachung von Fachwerkkonstruktionen, Außen- und Innenwänden sowie zur Beschwerung in Holzbalkendecken und als Speichermasse im Holzbau. Sie werden in verschiedene Anwendungsklassen unterteilt, je nach Feuchteeinwirkung und Verwendungszweck, und können bei ausreichender Festigkeit auch für tragendes Mauerwerk ver- wendet werden. Lehmsteine sind leicht zu verarbeiten, was sie zu einer kostengüns- tigen Alternative für Arbeiten in Eigenleistung macht.⁸⁸

Lehmplatten finden vielfältige Anwendung im Innen- und Außenbereich, wo sie ähn- lich wie übliche Trockenbauplatten für Wand- und Deckenverkleidungen eingesetzt werden. Außerdem eignen sie sich für Fußboden- oder Dachaufbauten und können bei ausreichender Stärke selbsttragende Trennwände im Trockenbau bilden. Die

⁸⁷ Lehm- und Holzbau: eine ideale Kombination. In: <https://www.dabonline.de/2021/10/28/lehm- bau-holzbau-kombination-leichtlehm-fachwerk-bausteine-platten-daemmung/> (letzter Zugriff: 18.06.2024)

Holz und Lehm. In: https://dachverband-lehm.de/pdf/DVL_Holz-und-Lehm_webversion.pdf (letzter Zugriff: 19.06.2024)

⁸⁸ Lehmsteine. Vielfältiger und wohngesunder Lehmstoff im Innenbereich. In: <https://www.oeko- logisch-bauen.info/baustoffe/lehmstoffe/lehmsteine/> (letzter Zugriff: 18.06.2024)

Herstellung erfolgt durch Vermischung von Lehm mit Stroh, Hanf oder Holzwolle, welche anschließend in die gewünschte Form gepresst werden. Ein innenliegendes Gittergewebe gewährleistet eine zusätzliche Stabilität. Lehmplatten finden im Trockenbau und Innenausbau Anwendung, beispielsweise als Trennwände, Putzträgerplatten oder zur Dämmung. Sie können Gipskartonplatten ersetzen und sind je nach Verarbeitung in der Brandschutzklasse B1 (brennbar) oder A1 (nicht brennbar) eingestuft. In vielen Fällen werden die Produkte mit Armierungen aus Schilfrohrmatten, Stroh, Kokosfasern oder Sägespänen versehen, um eine höhere Stabilität zu gewährleisten. Zudem wird von einigen Herstellern ein Füllmaterial hinzugefügt, um das Gewicht der Platten zu reduzieren.⁸⁹

6. Bewertung der Kreislauffähigkeit realisierter Bauprojekte

In diesem Kapitel werden verschiedene Bauprojekte anhand der im Kapitel „Prinzipien der Nachhaltigkeit im Bauwesen“ erläuterten Prinzipien auf ihre Kreislauffähigkeit bewertet. Dabei liegt der Fokus darauf, wie gut die Projekte den Anforderungen an ressourcenschonendes und nachhaltiges Bauen gerecht werden. Insbesondere werden Projekte untersucht, die innovative Ansätze in den Bereichen Materialaufwand, Planung, Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Nutzungsflexibilität und lösbare Verbindungstechniken demonstrieren.

6.1. Das Vivihouse

Zu den analysierten Projekten gehört das Vivihouse, ein innovatives, modulares Bausystem, dessen Konstruktion auf einer Holzskelettbauweise basiert und speziell für die Nutzung ökologischer Rohstoffe optimiert worden ist. Es werden Strohballen als Dämmstoff sowie Holzrahmen und Lehmputze verwendet, um gesunde

⁸⁹ Lehm und Stroh als ideale Partner für Holz. Eine Übersicht. In: <https://www.proholz.at/service/zuschnitt/87/lehm-und-stroh-als-ideale-partner-fuer-holz> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

Lehm als Baustoff: Vor- und Nachteile für nachhaltige Projekte. In: <https://www.jh-profishop.at/at/profi-guide/lehm-als-baustoff/> (letzter Zugriff 18.06.2024)

Heß, Thomas/Schmidt, Ralf-Ingo: Lehmbauplatten: So geht ökologischer Trockenbau. In: <https://www.haus.de/bauen/lehmbauplatten-30532> (letzter Zugriff: 18.06.2024)

Wohn- und Arbeitsräume zu schaffen. Das System zeichnet sich durch seine Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Grundstücke und Nutzungsmöglichkeiten sowie seine Fähigkeit zur Demontage und zum Wiederaufbau an neuen Standorten aus. Darüber hinaus ermöglicht es den Selbstbau durch Bauworkshops und digitalen Fertigungstechniken, wodurch die Baukosten erheblich gesenkt werden können. Das Vivihouse steht für ökologischen Wohnraum mit geringem Energieverbrauch, Kosteneffizienz und hoher Flexibilität.⁹⁰



Abbildung 12: Das Vivihouse (In: <https://www.iba-wien.at/projekte/projekt-detail/project/vivihouse> (letzter Zugriff: 19.06.2024))

6.1.1. Materialaufwand minimieren

Das Vivihouse nutzt eine Holzskelettbauweise, welche eine Reduktion der benötigten Baustoffe sowie eine hohe Flexibilität ermöglicht. Diese Bauweise ist ressourcenschonend, da sie den Materialaufwand durch kompakte Baukörper und effiziente Nutzung von Leichtbaustoffen reduziert. Die Verwendung von Strohballen als Dämmstoff und Lehmputz unterstreicht den Aspekt der Nachhaltigkeit aufgrund der naturbasierten und lokal verfügbaren Baustoffe, die zum Einsatz kommen.⁹¹

6.1.2. Bevorzugung nachwachsender Rohstoffe

Es wird besonders Wert auf den Einsatz nachwachsender Rohstoffe wie Holz, Stroh und Lehm. Die Verwendung von Holzrahmen und einer Holzskelettbauweise gewährleistet nicht nur die strukturelle Integrität des Gebäudes, sondern auch die Bindung von Kohlenstoffdioxid. Strohballen werden als Dämmstoff eingesetzt, da sie als Nebenprodukt der Landwirtschaft lokal verfügbar sind und ökologisch vorteilhaft erzeugt werden. Der Einsatz von Lehm



Abbildung 13: Einsatz von Lehm im Modulbau (In: <https://baubiologie.at/strohballenbau/neue-vivihouse-workshops-im-juni-und-september/> (letzter Zugriff: 19.06.2024))

⁹⁰ Bringt den Holzbau zurück in die Stadt!. In: <https://www.iba-wien.at/projekte/projekt-detail/project/vivihouse> (letzter Zugriff: 19.06.2024)

⁹¹ Vivihouse entwickelt nachhaltige Holzhäuser der Zukunft. In: <https://futurezone.at/science/vivihouse-entwickelt-nachhaltige-holzhaeuser-der-zukunft/400021696> (letzter Zugriff: 19.06.2024)

als Putz ermöglicht die Nutzung seiner wärmespeichernden und feuchtigkeitsregulierenden Eigenschaften. Diese Materialien sind unter nachhaltigen Bedingungen in großem Umfang verfügbar und tragen zu einer ressourcenschonenden Bauweise bei.⁹²

6.1.3. Nutzungsflexibilität

Eine hohe Nutzungsflexibilität zeichnet das Vivihouse aus. Das modulare Baukastensystem erlaubt die Anpassung des Gebäudes an unterschiedliche Grundstücke und Nutzungen sowie dessen Demontage und Wiederaufbau an einem anderen Ort. Die daraus resultierende Flexibilität gewährleistet eine langfristige Nutzbarkeit sowie eine Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Anforderungen und Lebensstile.⁹³

6.1.4. Lösbare Verbindungen

Stahlknotenpunkte und weitere lösbare Verbindungstechniken ermöglichen eine einfache De- und Remontage der Bauteile. Dies erleichtert nicht nur den Rückbau, sondern fördert auch die Kreislaufwirtschaft durch die Wiederverwendung der Baumaterialien und die Minimierung von Abfall.⁹⁴

6.1.5. Zusammenfassung

Das Vivihouse stellt ein herausragendes Beispiel für kreislaufgerechtes Bauen dar. Durch die Minimierung des Materialaufwands, die Bevorzugung nachwachsender Rohstoffe, die hohe Nutzungsflexibilität und die Verwendung lösbarer Verbindungen wird eine nachhaltige Bauweise gefördert. Das System bietet ökologische und ökonomische Vorteile und trägt zur Reduktion von Umweltbelastungen bei.

⁹² Wetzlmayr, Sarah: Bauprojekt Vivihouse: Ein guter Rahmen für Neues. In: <https://thegap.at/ein-guter-rahmen-fuer-neues/> (letzter Zugriff: 19.06.2024)

Vivihouse entwickelt nachhaltige Holzhäuser der Zukunft. In: <https://futurezone.at/science/vivihouse-entwickelt-nachhaltige-holzhaeuser-der-zukunft/400021696> (letzter Zugriff: 19.06.2024)

⁹³ Bringt den Holzbau zurück in die Stadt!. In: <https://www.iba-wien.at/projekte/projekt-detail/project/vivihouse> (letzter Zugriff: 19.06.2024)

⁹⁴ Vivihouse entwickelt nachhaltige Holzhäuser der Zukunft. In: <https://futurezone.at/science/vivihouse-entwickelt-nachhaltige-holzhaeuser-der-zukunft/400021696> (letzter Zugriff: 19.06.2024)

6.2. Das S-House

Das S-House in Böheimkirchen, entwickelt in Zusammenarbeit mit der TU Wien, stellt ein innovatives, nachhaltiges Forschungs- und Experimentalgebäude dar, welches vielfach preisgekrönt worden ist. Das S-House definiert neue Standards im kreislauffähigen Bauen, indem es eine Holzskellettstruktur mit Strohballen als effektiver Dämmung und einem Lehmputz verbindet. Das Passivhaus verzichtet auf konventionelle Heizungen und nutzt stattdessen einen Biomasse-Speicherofen. Durch passive Solartechnologie wird eine erhebliche Reduzierung des Energieverbrauchs erreicht. Das Gebäude demonstriert die effiziente Nutzung nachwachsender Rohstoffe und erlaubt einen einfachen, ökologischen Rückbau. Die kompakte, zentrierte Architektur sowie die Integration biologischer und metallfreier Konstruktionselemente kennzeichnen das Gebäude als Beispiel für eine ganzheitliche und radikale Nachhaltigkeit, die auch auf europäischer Ebene Anerkennung gefunden hat.⁹⁵



Abbildung 14: Das S-House (In: <https://www.scheicher.at/projekt/shouse/> (letzter Zugriff: 22.06.2024))

6.2.1. Gute Planung

Durch eine durchdachte Planung, die sowohl ökologische als auch ökonomische Aspekte berücksichtigt, zeichnet sich das S-House aus. Die Planung umfasste die Optimierung der Gebäudeform für passive Solarnutzung, die Minimierung der Flächenversiegelung sowie die Integration in die bestehende Topografie und Vegetation. Die ganzheitliche Planung trägt maßgeblich zur Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit des Gebäudes bei.⁹⁶

6.2.2. Einstoffliche Bauweisen

Das S-House basiert auf einer einstofflichen Bauweise, bei der konsequent auf nachwachsende und biologisch abbaubare Materialien wie Holz und Stroh zurück-

⁹⁵ S HOUSE. In: <https://www.scheicher.at/projekt/shouse/> (letzter Zugriff: 22.06.2024)

⁹⁶ S HOUSE. In: <https://www.scheicher.at/projekt/shouse/> (letzter Zugriff: 22.06.2024)

gegriffen wird. Holz findet dabei Verwendung für die tragende Struktur und Fassadenelemente, während Strohballen als hervorragendes Dämmmaterial dienen. Beide Materialien können am Ende ihrer Lebensdauer einfach wiederverwendet oder recycelt werden. Des Weiteren wurde auf den Einsatz metallischer Verbindungselemente verzichtet und stattdessen Holzwerkstoffe verwendet.⁹⁷

6.2.3. Nutzungsflexibilität

Als multifunktionales Gebäude konzipiert, kann das S-House als Büro, Schulungszentrum sowie als Demonstrationsbau genutzt werden. Die Möglichkeit der Anpassung des Gebäudes an unterschiedliche Anforderungen sowie die Option der Optimierung seiner Nutzung im Laufe der Zeit tragen maßgeblich zur langfristigen Nachhaltigkeit bei.⁹⁸

6.2.4. Lösbare Verbindungen

Ein wesentliches Merkmal des S-House ist die Verwendung von lösbaren Verbindungen und Konstruktionen. Die Integration von bionischen Schrauben aus Holzwerkstoff anstelle von metallenen Verbindungselementen erleichtert den Rückbau und die Wiederverwendung der Bauteile. Dies trägt nicht nur zur Nachhaltigkeit des Gebäudes bei, sondern ermöglicht auch eine einfache Trennung und Wiederverwertung der Materialien am Ende ihrer Nutzungsdauer, wodurch die Abfallmenge minimiert wird.⁹⁹

6.2.5. Zusammenfassung

Das S-House demonstriert, wie durch eine vorausschauende Planung der gesamte Lebenszyklus eines Gebäudes berücksichtigt werden kann, um die Zirkularität zu maximieren. Der ganzheitliche Ansatz, der die Energieeffizienz, die Verwendung nachhaltiger Materialien sowie die Planung für den Rückbau umfasst, definiert neue Standards im Bereich des nachhaltigen Bauens und demonstriert, wie durchdachte architektonische Konzepte zur Reduzierung des ökologischen Fußabdrucks beitragen können.

⁹⁷ S HOUSE. In: <https://www.scheicher.at/projekt/shouse/> (letzter Zugriff: 22.06.2024)

⁹⁸ S HOUSE. In: <https://www.scheicher.at/projekt/shouse/> (letzter Zugriff: 22.06.2024)

⁹⁹ S HOUSE. In: <https://www.scheicher.at/projekt/shouse/> (letzter Zugriff: 22.06.2024)

6.3. Zusammenfassung der Potenziale kreislauffähiger Bauweisen

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Realisierung kreislauffähiger Bauprojekte durch den Einsatz von Holzskelettbau, Stroh und Lehm nicht nur möglich, sondern bereits vielfach erfolgt ist. Die genannten Materialien eignen sich in besonderem Maße für nachhaltiges und ökologisches Bauen, da sie sowohl nachwachsen als auch eine geringe Umweltbelastung aufweisen und einfach recycelt oder wiederverwendet werden können. Projekte wie das Vivihouse und das S-House demonstrieren in exemplarischer Weise, wie durch innovative Ansätze und eine durchdachte Planung kreislauffähige Gebäude geschaffen werden können. In Anbetracht des fortschreitenden Klimawandels und der zunehmenden Ressourcenknappheit erweisen sich solche Bauweisen nicht nur als zukunftsfähig, sondern auch als entscheidend für die nachhaltige Entwicklung der gebauten Umwelt.

7. Fazit

In den einleitenden Kapiteln wird die Bedeutung der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen hervorgehoben und auf die Herausforderungen der Ressourcenknappheit und die Notwendigkeit eines langfristig nachhaltigen Bauens hingewiesen. Die Analyse von zwölf Prinzipien wie Materialaufwand, Einsatz nachwachsender Rohstoffe und Nutzungsflexibilität verdeutlicht die Komplexität und die Notwendigkeit eines integrativen Ansatzes.

Der Baustoff Holz und die Holzskelettbauweise bieten hier vielversprechende Lösungsansätze. Die Integration von Naturbaustoffen wie Stroh und Lehm in Holzkonstruktionen ermöglicht eine ressourceneffiziente und umweltfreundliche Bauweise, die sowohl die Kreislauffähigkeit als auch die Langlebigkeit der Gebäude unterstützt. Die beiden analysierten Projekte Vivihouse und S-House sind hervorragende Beispiele für die Umsetzung dieser Prinzipien in die Praxis. Sie zeigen, dass kreislauffähiges Bauen nicht nur theoretisch fundiert ist, sondern auch praktische und wirtschaftliche Vorteile bietet.

In Zeiten vom Klimawandel und Ressourcenknappheit ist es unerlässlich, dass zukünftige Bauprojekte diesen nachhaltigen Ansätzen folgen. Die Verwendung von Holz, Stroh und Lehm in Verbindung mit durchdachten Bauweisen und innovativen

Technologien zeigt einen gangbaren Weg auf, der sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvoll ist. Die Arbeit unterstreicht die Bedeutung einer ganzheitlichen, nachhaltigen Planung und des Einsatzes nachwachsender Rohstoffe, um das Bauen zukunftsfähig zu gestalten.

Einige Aspekte, wie die vollständige Lebenszyklusanalyse von Gebäuden oder die Integration digitaler Planungsmethoden, werden in dieser Arbeit nicht behandelt, da sie den Rahmen sprengen würden, sind aber dennoch von großer Bedeutung. Es ist festzustellen, dass in diesen Bereichen noch Potenzial für weitere Untersuchungen besteht. Zukünftige Arbeiten könnten sich verstärkt auf diese Themen konzentrieren, um ein noch tieferes Verständnis der Zirkularität im Bauwesen zu erlangen.

Der Trend zum nachhaltigen Bauen und zur Verwendung nachwachsender Rohstoffe verstärkt sich, insbesondere durch neue gesetzliche Vorgaben und ein wachsendes Umweltbewusstsein. Entwicklungen wie die OIB-Richtlinie 7 und Vorgaben der EU unterstützen diesen Trend und bieten zusätzliche Anreize. Allerdings gibt es auch Hemmnisse, wie die Notwendigkeit einer breiten Marktakzeptanz und die Anpassung bestehender Bauvorschriften. Insgesamt zeigt sich, dass zirkuläres Bauen eine realistische und notwendige Strategie ist, um die Bauwirtschaft nachhaltiger und ressourceneffizienter zu gestalten. Die erarbeiteten Grundlagen und Beispiele bieten eine solide Basis für zukünftige Projekte und Entwicklungen in diesem Bereich

Quellenverzeichnis

Printquellen

Hebel, Dirk E.: Sortenrein Bauen. Methode, Material, Konstruktion. München: Edition Detail 2023.

Heisel, Felix und Hebel, Dirk E.: Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Die Stadt als Rohstofflager. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2021.

Kolb, Josef: Holzbau mit System. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 3. aktualisierte Auflage. Basel: Birkhäuser 2010.

Kolb, Josef: Systembau mit Holz. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 4. unveränderte Auflage. Dietikon: Baufachverlag AG Zürich 1998.

Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich. Wien: TU Wien. Skriptum. SS 2020.

Ruske, Wolfgang: *Holzskelettbau: Entwicklung, Systeme und Beispiele*. 2. Auflage. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt 1981.

Steiger, Ludwig: *Holzbau. Basics Konstruktion Holzbau*. 3. Auflage. Basel: Birkhäuser 2013.

Internetquellen

Bauen mit Stroh. In: <https://www.bauen.de/a/nachhaltiger-strohballenbau/> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

Bringt den Holzbau zurück in die Stadt!. In: <https://www.iba-wien.at/projekte/projekt-detail/project/vivihouse> (letzter Zugriff: 19.06.2024)

Ein Fertighaus in Skelettbauweise. In: <https://www.fertighauswelt.de/magazin/ratgeber/skelettbau> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

Heß, Thomas und Schmidt, Ralf-Ingo: Lehmbauplatten: So geht ökologischer Trockenbau. In: <https://www.haus.de/bauen/lehmbauplatten-30532> (letzter Zugriff: 18.06.2024)

Holz als Baustoff: Eigenschaften und Nachhaltigkeit. In: <https://www.jh-profishop.at/at/profi-guide/holz-baustoff/> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

Holz und Lehm. In: https://dachverband-lehm.de/pdf/DVL_Holz-und-Lehm_webversion.pdf (letzter Zugriff: 19.06.2024)

Informationsmanagement im Bauwesen: Wie man Bauprojekte erfolgreich verwaltet. In: <https://biblus.accasoftware.com/de/informationsmanagement-im-bauwesen/> (letzter Zugriff 12.06.2024)

Jansen, Felix: Viel zu tun auf dem Weg zur Circular Economy. In: <https://blog.dgnb.de/auf-dem-weg-zur-circular-economy/> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

Kaskadennutzung von Holz – anschaulich erklärt. In: <https://cradle-mag.de/artikel/kaskadennutzung-holz.html> (letzter Zugriff: 12.06.2024)

Lehm als Baustoff: Vor- und Nachteile für nachhaltige Projekte. In: <https://www.jh-profishop.at/at/profi-guide/lehm-als-baustoff/> (letzter Zugriff 18.06.2024)

Lehmbau. In: <https://www.baunetzwissen.de/glossar//lehmbau-3211173> (letzter Zugriff: 18.06.2024)

Lehmbau und Holzbau: eine ideale Kombination. In: <https://www.dabonline.de/2021/10/28/lehmbau-holzbau-kombination-leichtlehm-fachwerk-bausteine-platten-daemmung/> (letzter Zugriff: 18.06.2024)

Lehmsteine. Vielfältiger und wohngesunder Lehmstoff im Innenbereich. In: <https://www.oekologisch-bauen.info/baustoffe/lehmbaustoffe/lehmsteine/> (letzter Zugriff: 18.06.2024)

Müller, Thomas: Bauen mit Stroh. In: <https://www.bauen.de/a/nachhaltiger-strohballenbau/> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

Nachhaltig Bauen mit Holz. In: <https://derix.de/nachhaltigkeit-im-holzbau/nachhaltig-bauen-mit-holz/> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

S HOUSE. In: <https://www.scheicher.at/projekt/shouse/> (letzter Zugriff: 22.06.2024)

Stroh. In: <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/baustoffe--teile/stroh-4712662> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

Strohhaus in Grabs: naturnah gebaut, natürlich wohnen. In: <https://www.gantenbein-holzbau.ch/blog/strohhaus-in-grabs-naturnah-gebaut-natuerlich-wohnen/> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

Trinkert, Angela: Mit Strohbau auf zum Klimaziel. In: <https://www.bauenmit-holz.de/mit-strohbau-auf-zum-klimaziel-16112022> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

Vivihouse entwickelt nachhaltige Holzhäuser der Zukunft. In: <https://future-zone.at/science/vivihouse-entwickelt-nachhaltige-holzhaeuser-der-zukunft/400021696> (letzter Zugriff: 19.06.2024)

Wetzlmayr, Sarah: Bauprojekt Vivihouse: Ein guter Rahmen für Neues. In: <https://thegap.at/ein-guter-rahmen-fuer-neues/> (letzter Zugriff: 19.06.2024)

Zand, Helene: Zukunftsfähig Wirtschaften: Von der Linearwirtschaft zur Kreislaufwirtschaft. In: <https://www.gruenewirtschaft.at/2021/06/11/kreislaufwirtschaft/> (letzter Zugriff: 21.05.2024)

10 gute Gründe für Bauen mit Holz. Holzbau-Argumente. In: <https://www.proholz.at/wald-holz-klima/10-gute-gruende-fuer-bauen-mit-holz> (letzter Zugriff: 17.06.2024)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lineares Wirtschaftsmodell	5
Abbildung 2: Zirkuläres Modell	6
Abbildung 3: Das Gebäude als Schichtenmodell.....	13
Abbildung 4: Baukonstruktives Schichtenmodell	14
Abbildung 5: Nachwachsende Rohstoffe in der Kreislaufwirtschaft.....	18
Abbildung 6: Grundrissraster von 3,6/3,6m	22
Abbildung 7: Knoten Doppelträger und Stütze	23
Abbildung 8: Knoten Doppelstütze und Träger.....	24
Abbildung 9: Knoten Stütze und aufliegender Träger.....	25
Abbildung 10: Knoten Stütze und anschließender Träger	25
Abbildung 11: Knoten Gabelstütze und Träger.....	26
Abbildung 12: Das Vivihouse.....	35
Abbildung 13: Einsatz von Lehm im Modulbau.....	35
Abbildung 14: Das S-House	37

