

Fast + Epp

| LaubÖkoLet

ENTWICKLUNG EINER WIRTSCHAFTLICHEN, **ÖKOLOGISCHEN**
UND RESSOURCENSCHONENDEN HOLZSKE**LETT**BAUWEISE
MIT **LAUBHOLZ**



© Foto Fast + Epp

LEITFADEN



© Foto Fast + Epp

**Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum
und Verbraucherschutz Baden-Württemberg**

**Förderprogramm „Upscale Holz – Forschung,
Holzbauoffensive Baden-Württemberg“**

Gefördert durch  **Baden-Württemberg
Ministerium für Ernährung,
Ländlichen Raum und Verbraucherschutz**

Aktenzeichen: 54-8654.00 LaubÖkoLet
Bewilligungszeitraum: 01.07.2022 bis 30.06.2024

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2024

Fast + Epp Fast + Epp GmbH,
Darmstadt/ Stuttgart

Forschungsteam: Dr.-Ing. Jochen Stahl; Christian Rosen-
kranz, M.Sc.; Lukas Krone, M.Eng.; Til Waschkowitz,
M.Sc.; Hanna Beerenwinkel, M.Sc.; Peter Zengerle

Ansprechpartner: Dr.-Ing. Jochen Stahl

Zuarbeit von/mit Unterstützung von:

blrm Architekt*innen GmbH

Autoren/Bearbeiter:

Jannes Wurps, Dipl.-Ing. Architekt BDA;
Tobias Bor, M.Sc. Architekt

Ingenieurbüro Blödt (Bauphysik)

Autoren/Bearbeiter: Adrian Blödt,
Dipl. Wirtschaftsingenieur, Bauphysiker M.BP

KURZBESCHREIBUNG

Die Bausubstanz zu erhalten und umzunutzen, anstatt abzureißen und neuzubauen, muss zukünftig zur praktizierten Regel werden und nicht die Ausnahme sein. Insbesondere bei Wohnbauten unterliegen die Anforderungen dem gesellschaftlichen Wandel, so dass eine flexible und ökonomische Umnutzung bereits bei der Planung des Tragwerks berücksichtigt werden sollte. Durch eine Holzskelettbauweise in Laubholz kann nicht nur die Grundrissflexibilität gewährleistet, sondern auch der klimaangepasste Waldumbau zu Mischwäldern unterstützt werden. Es entsteht ein zukunftsfähiges Tragwerkskonzept zur Schaffung von bezahlbarem Wohnraum, der kostengünstig und dennoch qualitativ hochwertig ist. Zur innerstädtischen Verdichtung wird die Konzeption auf Basis nachwachsender Rohstoffe bis zur Gebäudeklasse 5 erarbeitet. Im Sinne des zirkulären Bauens werden dabei fast ausschließlich Holz-Holz-Verbindungen gewählt, um durch eine einfache Demontage und Wiederverwendung von Bauteilen Ressourcen zu schonen und Abfall zu reduzieren.

In einem ersten Schritt werden die Schwierigkeiten, aber auch Chancen beim Bauen mit Laubholz und beim Bau von Holzskelettbauten herausgearbeitet. Hierbei werden die Unterschiede zu dem weit verbreiteten Baustoff Nadelholz berücksichtigt. Außerdem wird die Situation auf dem deutschen Wohnungsmarkt gesichtet und Erfahrungen von Planenden und Investoren in Experteninterviews gesammelt. Die entwickelten Konzepte sollen durch die kurze Bauzeit mithilfe von vorgefertigten Holzbauteilen sowohl eine Antwort auf die aktuell angespannte Lage des Wohnungsmarktes liefern als auch durch die flexible Umnutzung und Rückbaubarkeit den Lebenszyklus der Gebäude und ihrer Bauteile verlängern.

Aus den Erkenntnissen werden zwei Konzepte für unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten entwickelt, welche neben dem Tragwerk auch architektonische, bauphysikalische und gebäudetechnische Rahmenbedingungen mitberücksichtigen. Die Holzprodukte werden entsprechend ihrer Stärken bei den Konzepten eingesetzt. Hierbei werden nicht nur materialspezifische Parameter, wie Festigkeiten und Abbrandraten berücksichtigt, sondern auch ein Kostenvergleich und eine Ökobilanzierung durchgeführt.

Als erstes Konzept wird eine kombinierte Wohn- und Büronutzung betrachtet. Mit Hilfe einer parametrischen Bemessung werden unterschiedliche Materialien und Raster variiert, die Ergebnisse analysiert und daraus ein möglichst materialeffizientes Stützenraster gewählt. Es entsteht ein schlankes, platzsparendes Primärtragwerk, das mit verschiedenen Laubholzarten (Buche, Esche oder Eiche) und verschiedenen Laubholzprodukten (Brettschichtholz, Stabschichtholz und Furnierschichtholz) umgesetzt werden kann. Hierdurch kann auf den dynamischen Holzmarkt reagiert, regionale Verfügbarkeiten berücksichtigt und das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis je nach Markt- und Ortslage ausgewählt werden.

Das zweite Konzept zielt auf eine effiziente, multifunktionale Nutzung urbaner Flächen zur Nachverdichtung ab. Die Idee ist, das Stützenraster über Parkplatzebenen ohne aufwendige Abfangebene bis zum Dachgeschoss des Holzgebäudes fortzuführen. Es entsteht ein Raster, welches eine Nutzung von Wohnen, Büro, Einzelhandel, Kindertagesstätten und PKW-Stellplätzen ermöglicht. Hierzu wird ein innovativer Anschluss entwickelt, der eine geringe Konstruktionshöhe mit Hilfe von deckengleichen Unterzügen aus Laubholz erreicht.



INHALT

1 EINLEITUNG	5
2 HOLZSKELETTBAUWEISE	7
2.1 Im urbanen Wohnungsbau	7
2.2 Mit Laubholz	9
2.3 Kosten- und Materialvergleich	9
2.4 Nachhaltigkeit	13
3 KONZEPTENTWICKLUNG	15
3.1 Konzeptauswahl	17
4 KONZEPT 1 – MATERIALEFFIZIENTES STÜTZENRASTER	18
4.1 Gewählte Rahmenbedingungen	19
4.1.1 Nutzung	19
4.1.2 Geometrie/ Anzahl Stockwerke	20
4.1.3 Technische Gebäudeausrüstung	21
4.1.4 Brandschutz	21
4.2 Deckensysteme	23
4.3 Aussteifung	23
4.4 Anschlüsse	24
4.5 Zusammenfassung Konzept 1	27
5 KONZEPT 2 – MISCHNUTZUNG	28
5.1 Gewählte Rahmenbedingungen	30
5.1.1 Nutzung	30
5.1.2 Geometrie/ Anzahl Stockwerke	31
5.1.3 Technische Gebäudeausrüstung	31
5.1.4 Brandschutz	32
5.1.5 Schallschutz	32
5.2 Gewählte Holzarten	33
5.3 Deckensysteme	33
5.4 Aussteifung	34
5.5 Anschlüsse	34
5.6 Zusammenfassung Konzept 2	36
6 FAZIT	37
ABBILDUNGEN	38
TABELLEN	38
LITERATUR	39



EINLEITUNG

Dieser Leitfaden soll Architekten, Bauherren und Fachingenieuren (u.a. Tragwerksplanern) den Einsatz des Holzskelettbbaus unabhängig von der Holzart erleichtern. In einer Zeit, in der nachhaltiges Bauen und zukunftsfähige Tragwerkskonzepte immer wichtiger werden, bietet der Leitfaden eine erste Inspiration und Anleitung zum Einsatz innovativer Bauprojekte unter Berücksichtigung des klimaangepassten Waldumbaus. Der Fokus liegt auf der Anwendung im mehrgeschossigen Wohnungsbau sowie im Bürobau, wobei die Kombination verschiedener Nutzungen wie Wohnen, Büro, Einzelhandel und Parken möglich ist.

Ein zentrales Element des Leitfadens ist der Einsatz von Laubholz, das nicht nur ästhetische und funktionale Vorteile (höhere Tragfähigkeit und somit kleinere Querschnitte) bietet, sondern auch einen Beitrag gegen den Klimawandel leistet.

Es wird großen Wert auf flexible Nutzung bzw. Umnutzung und Grundrissgestaltung gelegt, einschließlich der Integration von PKW-Stellplätzen, ohne hierfür eine aufwendige Abfangebene zu benötigen.

Darüber hinaus werden innovative Holz-Anschluss-Details entwickelt, die die Qualität und Nachhaltigkeit der Bauprojekte weiter erhöhen. Es wird ein hohes Maß an rückbaubaren Bauteilen erreicht und somit das zirkuläre Bauen fokussiert. Hierdurch wird zudem ein hoher Vorfertigungsgrad erreicht und eine kurze Montagezeit auf der Baustelle ermöglicht. Es kann (bis auf eine Ausnahme) auf Stahlbauteile und Stahl-Anschlüsse verzichtet werden.

Der Leitfaden bietet eine ganzheitliche Betrachtung, die Architektur, Bauphysik, Kosten und das Treibhausgaspotential (engl. GWP: Global-Warming-Potential) berücksichtigt.

Der Leitfaden gliedert sich in folgende Kapitel: In Kapitel 2 werden die Grundlagen zum Holzskelettbau erläutert. Kapitel 3 widmet sich der Konzeptentwicklung und den wichtigsten Auswahlkriterien für das passende Konzept. In den Kapiteln 4 und 5 werden verschiedene Konzepte vorgestellt, bevor im abschließenden Kapitel ein Fazit gezogen wird.



Ein zentrales Element des Leitfadens ist der Einsatz von Laubholz, das nicht nur ästhetische und funktionale Vorteile bietet, sondern auch einen Beitrag gegen den Klimawandel leistet.



The image shows the interior of a modern building with a prominent wooden frame. Large windows allow natural light to fill the space. A series of white, curved lines are suspended from the ceiling, creating a sculptural effect. The text is overlaid on a semi-transparent grey box in the center of the image.

Insgesamt bietet der Skelettbau viele Vorteile in Bezug auf Flexibilität, Bauzeit und Rückbaubarkeit, erfordert jedoch eine sorgfältige Abwägung der Projektanforderungen und eine frühzeitige integrative und vor allem langfristige Planung.



Dienstgebäude Ingelheim
© Foto Thomas Koculak

2 HOLZSKELETTBAUWEISE

Der Skelettbau ist ein optimiertes Tragsystem, dass durch die Reduktion tragender Elemente viel Flexibilität in der Grundrissgestaltung bietet. Vertikale Lasten werden über Stützen und wenige tragende Kernwände abgetragen, was die freie Positionierung nichttragender Wände ermöglicht. Dies erlaubt spätere Änderungen der Raumaufteilung und schafft großzügige, offene Räume. Die Skelettbauweise bedingt zudem eine große Variabilität in der Wiederverwendung bzw. Sanierung des Gebäudes, da die Gebäudehülle, die technische Ausrüstung und die innere Bekleidung unabhängig von der Tragstruktur sind und meist eine deutlich geringere Lebensdauer als die Tragstruktur aufweisen. Hierdurch kann der Lebenszyklus des Bauwerks deutlich verlängert werden. Der hohe Vorfertigungsgrad der Holzbauweise beschleunigt den Bauprozess und reduziert Kosten sowie Bauzeit. Nachteile sind die geringere architektonische Gestaltungsfreiheit.

Insgesamt bietet der Skelettbau viele Vorteile in Bezug auf Flexibilität, Bauzeit und Rückbaubarkeit, erfordert jedoch eine sorgfältige Abwägung der Projektanforderungen und eine frühzeitige integrative und vor allem langfristige Planung.

2.1 Im urbanen Wohnungsbau

In urbanen Gebieten führt die hohe Bevölkerungsdichte zu einer großen Nachfrage nach Wohnraum, was die Immobilienpreise steigen lässt und den Zugang zu Wohnraum erschwert. Mehrgeschossiger Wohnungsbau, wie Hochhäuser und große Wohnkomplexe, ist eine effektive Strategie, um den begrenzten städtischen Raum effizient zu nutzen. Eine wachsende Tendenz ist die Mischnutzung von Gebäuden, die Wohnen, Arbeiten, Einkaufen und Freizeit in einem Gebäude integrieren, was die Stadtentwicklung fördert und den Verkehr reduziert.

Sozialer Wohnungsbau ist wichtig, um bezahlbaren Wohnraum für einkommensschwache Haushalte bereitzustellen und soziale Durchmischung zu fördern. Die Verfügbarkeit von PKW-Stellplätzen ist ebenfalls ein wichtiger Faktor, wobei alternative Mobilitätskonzepte wie Carsharing und öffentlicher Nahverkehr zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Kurze Bauzeiten sind entscheidend, um den Bedarf schnell zu decken und Baukosten zu minimieren, wobei moderne Bauweisen wie modulares Bauen helfen können.

Trotz steigender Baukapazitäten werden weniger Wohnungen fertiggestellt, was auf gestiegene Zinsen, Baulandpreise und Materialkosten zurückzuführen ist.

Die Baukosten sind in den letzten 20 Jahren stark gestiegen, insbesondere die Kosten für den technischen Ausbau (siehe Abbildung 1). Um die Baukosten zu senken, fordern Wohnungsunternehmen eine Absenkung von Standards wie die energetischen Anforderungen und Stellplatzauflagen.

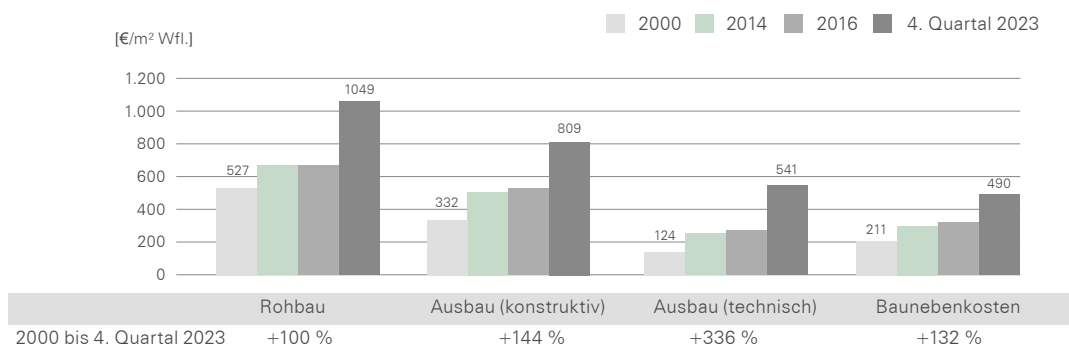


Abbildung 1:
Entwicklung der
Bauwerkskosten im
Wohnungsneubau
von 2000 bis 2023 ^[1]

Angesichts des steigenden Bedarfs an flexiblen Wohnformen und Anpassungsmöglichkeiten besteht insbesondere im Bereich des Wohnungsbaus ein bedeutender Entwicklungsbedarf hin zu flexibleren Bauformen und adaptiven Bausystemen, wie dem Holzskelettbau. Traditionelle Massivbauten sind oft unflexibel und behindern die Anpassung an neue Wohnbedarfe. Flexible Bauweisen, wie der Skelettbau, ermöglichen eine variable Nutzung von Räumen und fördern die multifunktionale Nutzung von Wohnungen, was besonders im Kontext von Homeoffice und neuen Arbeitsplatzmodellen relevant ist. Dies fördert nicht nur die Lebensdauer von Gebäuden, sondern verbessert auch deren funktionale und soziale Nachhaltigkeit, da der Lebensraum den wechselnden Bedürfnissen seiner Bewohner besser gerecht wird. In der heutigen Planungsrealität wird der urbane Wohnungsbau stark von wirtschaftlichen Parametern geprägt, wobei die Kostenvorteile der Massivbauweise im Vordergrund stehen. Eine Verlängerung der ökonomischen Betrachtungszeiträume und die Berücksichtigung von Flexibilität, Wandelbarkeit und Rückbaubarkeit können jedoch langfristig zur Reduktion der Baukosten und zur Förderung einer resilienten Baukultur beitragen.

Besonders herausfordernd ist der vertikale Mixed-Use, bei dem unterschiedliche Nutzungen übereinandergestapelt werden. Hierbei muss das Konstruktionsraster flexibel genug sein, um den verschiedenen Anforderungen von Wohn-, Büro- und Gewerbeflächen gerecht zu werden. Ein durchdachtes, modulares Raster ermöglicht langfristige Anpassungen und trägt zur Nachhaltigkeit bei, indem es Abriss und umfangreiche Umbaumaßnahmen vermeidet. Mixed-Use-Immobilien, die verschiedene Funktionen, wie z. B. Wohnen, Arbeiten und Einkaufen in einem Gebäude kombinieren, fördern die „Stadt der kurzen Wege“ und verbessern die Lebensqualität.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Implementierung flexibler Grundrisskonzepte einen nachhaltigen Beitrag zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs und zur Förderung einer resilienten Baukultur leistet, welche den sich wandelnden Bedürfnissen der Gesellschaft und den Erfordernissen des Umweltschutzes gleichermaßen gerecht wird.

Die Holzskelettbauweise bietet vielversprechende Möglichkeiten für innerstädtische Verdichtungsstrategien. Ihr geringes Gewicht reduziert die Anforderungen an die Bestandsstatik, was Aufstockungen und Erweiterungen bestehender Gebäude erleichtert. Der hohe Vorfertigungsgrad ermöglicht präzise Planung und effiziente Bauabläufe, was die Bauzeiten verkürzt und die Umweltauswirkungen minimiert. Diese Bauweise ist besonders vorteilhaft in dicht bebauten Stadträumen, da sie Platzmangel und logistische Herausforderungen bewältigen kann. Zudem reduziert sie Lärmemissionen und Beeinträchtigungen des Wohnumfelds, was sie zu einer nachhaltigen und sozialverträglichen Lösung für urbane Verdichtung macht.

Flexible Bauweisen, wie der Skelettbau, ermöglichen eine variable Nutzung von Räumen und fördern die multifunktionale Nutzung von Wohnungen, was besonders im Kontext von Homeoffice und neuen Arbeitsplatzmodellen relevant ist.



2.2 Mit Laubholz

Nadel- und Laubholz (siehe Abbildung 2) unterscheiden sich prinzipiell in ihrem Zellaufbau und ihrer Entstehungsgeschichte. Laubholz hat eine ca. 30-70 % höhere Rohdichte und höhere Festigkeiten, was zu besseren mechanischen Eigenschaften führt, aber auch schwerer zu verarbeiten ist. Laubbäume wachsen langsamer und haben einen geringeren nutzbaren Stammholzanteil von nur 40-50 %, was deutlich unter den ca. 80 % der Nadelbäume liegt. Laubholz (LH) ist anfälliger für Feuchteschäden und Pilzbefall, benötigt daher oft spezielle Schutzbehandlungen oder kann nur in Nutzungsklasse 1 ohne weitere Maßnahmen eingesetzt werden. Es bietet jedoch entscheidende Vorteile, wie eine deutlich geringere Abbrandrate von 0,55 mm/min im Gegensatz zu 0,70 mm/min des Nadelholzes (NH). Durch das langsame Wachstum kann eine höhere CO₂-Bindung erreicht werden. Laubholz hat ein schöneres Erscheinungsbild und wird als hochwertiger wahrgenommen. ^[2, 3]



Abbildung 2:
Die wichtigsten Laubholzarten in Europa ^[4]

In den vergangenen Jahren und aktuell werden aufgrund der klimabedingten Umstrukturierung der Wälder zu Mischwäldern vermehrt Laubbäume gepflanzt (siehe Abbildung 3), was zu mehr Laubholz und weniger Nadelholz auf dem Markt führt ^[5]. Die Preise für Laubholz werden also tendenziell sinken und die des Nadelholzes steigen.

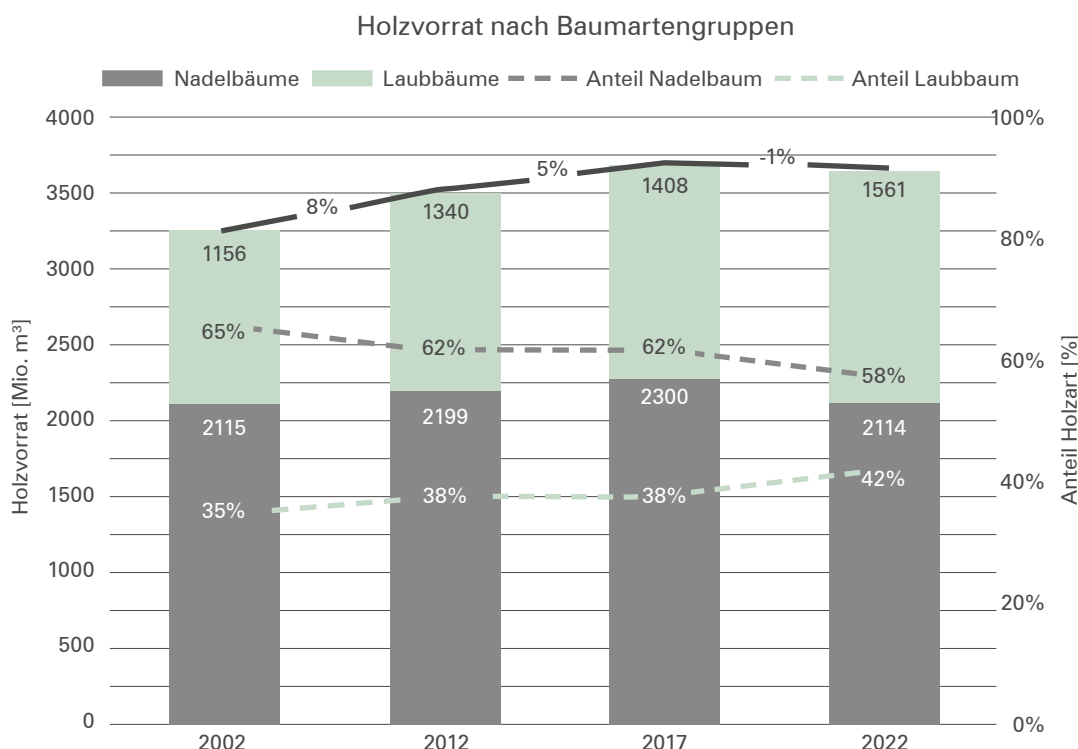


Abbildung 3:
Holzvorrat nach Baumartengruppen in Deutschland ^[5]

2.3 Kosten- und Materialvergleich

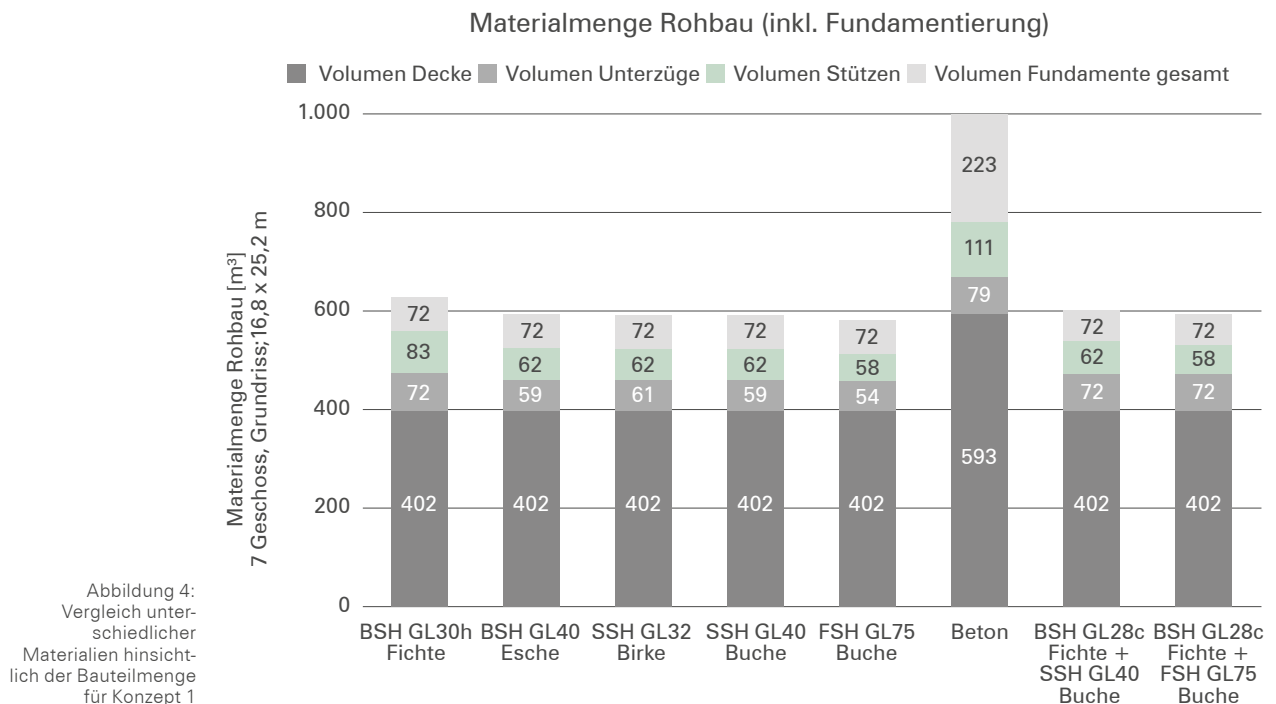
Ein wichtiger Faktor bei der Betrachtung der unterschiedlichen Bauweisen und Materialien ist der der Kosten. Im Forschungsprojekt wurden anhand von Referenzgebäuden unter bestimmten Rahmenbedingungen die Kosten unterschiedlicher Materialien bewertet. Es wurden die gesamten Rohbaukosten der tragenden Elemente (Decken, Unterzüge und Stützen) betrachtet. Hierbei wurden die Materialkosten im Herbst 2024 bei

verschiedenen Herstellern angefragt.

Für den Holzskelettbau ergeben sich mit Laubholz entscheidende Vorteile. Durch den geringeren Abbrand und die höheren Festigkeiten können Unterzüge und Stützen kleiner dimensioniert werden. Bei der Dimensionierung der Querschnitte der Stützen z. B. kann im Vergleich zum Nadelholz ca. 20 % Materialvolumen eingespart werden.

Zimmermannsmäßige Verbindungen können aufgrund des geringeren Abbrandes leichter umgesetzt werden und es kann auf aufwendige Anschlüsse aus Stahlbauteilen verzichtet werden. Dies ist ein entscheidender Vorteil bei der Bauzeit des Gebäudes und der Rückbaubarkeit. Somit können die Montagekosten reduziert werden und zusätzlich eine frühere Nutzung des Gebäudes gewährleistet werden.

In Abbildung 4 ist ein Vergleich unterschiedlicher Materialien hinsichtlich der gesamten Materialmenge des Rohbaus dargestellt.



Nachfolgend werden die reinen Kosten des gesamten Rohbaus inklusive der Fundamente für ein festgelegtes Referenzgebäude betrachtet. In Abbildung 5 werden hierfür die verschiedenen Materialien hinsichtlich ihrer Kosten miteinander verglichen. Die Variante aus reinem Nadelholz wird als Richtwert festgelegt und die Kosten dieser Variante auf 100 % normiert. Es werden die Decken, Unterzüge, Stützen, deren Anschlüsse und die Gründung betrachtet. Zusätzlich zu den reinen Materialkosten werden auch die Kosten für die Montage und den Abbund der Holzbauteile berücksichtigt.

Für das Referenzgebäude zeigt sich, dass ein Rohbau aus Beton nur geringfügig günstiger (3 %) als ein reiner Rohbau aus Nadelholz ist. Die Fundamente für einen Betonbau sind deutlich teurer als die Fundamente für einen Holzbau, was den größeren Lasten aus dem hohen Eigengewicht des Betons geschuldet ist. Dahingegen sind die Kosten für die Decken bei einem reinen Holzbau mit Nadelholz höher als bei dem Betonbau.

Da das Buchevorkommen in Deutschland und den angrenzenden Ländern das größte Laubbaumvorkommen ist, kann das Bauholz aus Buche entsprechend günstiger angeboten werden, als gleichwertige Produkte aus Esche oder Birke. Die günstigste Laubholz-Variante ist lediglich 11 % teurer als die Nadelholz-Variante, was in absoluten Zahlen nur einen Unterschied von ca. 70.000 € für das Referenzgebäude bedeutet. Betrachtet man diese Differenz von 70.000 € unter dem Gesichtspunkt der Gesamtkosten eines solchen Bauwerks von mehreren Millionen Euro ist der Unterschied prozentual gesehen deutlich geringer und beläuft sich auf unterhalb von 1 %.

Aufgrund der Umstrukturierung der Wälder wird der Anteil an Nadelholz eher zurückgehen und der Anteil an Laubholz weiter steigen.



unsplash.com
© Foto Michael Krähn

Vergleich Rohbau (inkl. Fundamentierung)

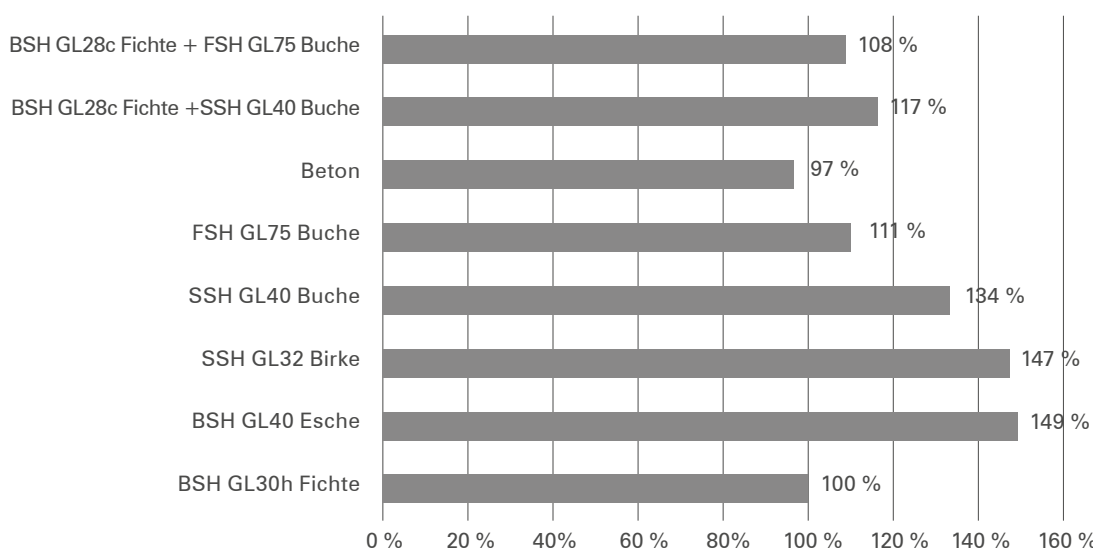


Abbildung 5:
Vergleich Materialien hinsichtlich der gesamten Kosten des Rohbaus für Konzept 1

Abschließend ist zum Kostenvergleich anzumerken, dass die Materialkosten im Herbst 2024 betrachtet worden sind und dass der Holz-Markt ein sehr dynamischer Markt ist. Die Preise variieren ständig und können je nach Marktlage erheblich schwanken. Prinzipiell ist davon auszugehen, dass aufgrund des Zuwachs an Laubbäumen die Kosten für Laubholz fallen werden. Außerdem wird aufgrund der Umstrukturierung der Wälder der Anteil an Nadelholz eher zurückgehen und der Anteil an Laubholz weiter steigen. Die Preise von Nadel- und Laubholz werden sich somit immer weiter annähern.

Nachfolgend werden die wichtigsten Punkte zusammengefasst:

MATERIALMENGE:

- Betonbau benötigt 160 % mehr Material als ein Holzbau
- Größter Unterschied zwischen Beton- und Holzbau sind die größeren Fundamente (Faktor 3,1) aufgrund des höheren Eigengewichts des Betons
- Rohbau aus Nadelholz benötigt etwa 6 % mehr Material als einer aus Laubholz
- Alle Laubholz-Varianten liegen in ähnlichem Bereich

KOSTEN:

- Betonrohbau ist nur 3 % günstiger als ein Nadelholzrohbau
- Fundamente sind bei Betonbauten deutlich teurer; Decken sind bei Holzbau teurer
- Günstigste Laubholzvariante (FSH GL75 Buche) ist derzeit noch 11 % teurer als Nadelholz, was ca. 70.000 € mehr für Rohbau des Referenzgebäudes bedeutet
- Unterschied zwischen Nadel- und Laubholz auf Gesamtkosten eines Gebäudes betrachtet liegen unter 1 %



2.3 Nachhaltigkeit

Die Nachhaltigkeit des Skelettbaus mit verschiedenen Materialien wurde mit Hilfe einer Ökobilanzierung ^[6] bewertet und verglichen.

Treibhausgasemissionen entstehen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks. Der Lebenszyklus von Gebäuden wird gemäß der Norm DIN EN 15643 ^[7] in fünf Lebenszyklusphasen eingeteilt. Nachfolgende Abbildung 6 stellt diese Lebenszyklusphasen eines Gebäudes dar. Diese werden in die Phasen Herstellung (A1-A3), Errichtung (A4-A5), Nutzung (B1-B8) und Entsorgung (C1-C4) aufgeteilt. Zusätzlich wird eine mögliche Wiederverwendung oder Rückgewinnung (D) berücksichtigt. Pflanzen (u. a. Bäume) können durch Photosynthese Kohlenstoff aus dem CO₂ in der Atmosphäre binden. Dies wird als Kohlenstoff-Sequestrierung bezeichnet. In der Ökobilanzierung wird dadurch in der Herstellungsphase von Holz im Modul A1 ein negatives Treibhauspotential, auch „Global Warming Potential“ genannt (GWP), erzeugt. Das verbaute Holz dient also somit als temporärer Kohlenstoffspeicher.

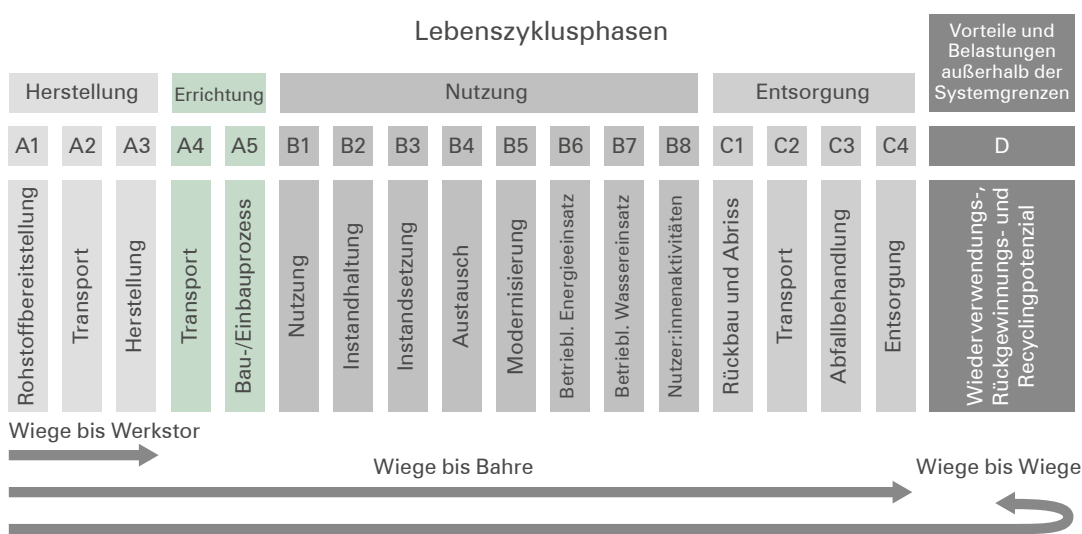


Abbildung 6:
Lebenszyklusphasen ^[6]

Für die Ökobilanzierung wird das GWP aller tragenden Bauteile (inkl. Fundamentierung und Aussteifung) betrachtet, wobei nur die Module A1-A3 und C3-C4 berücksichtigt werden. Die Nutzung des Gebäudes wird nicht einbezogen. Die Sequestrierung von CO₂ in Holzbauteilen wird separat erfasst.

In nachfolgender Abbildung 7 ist das GWP aller tragender und aussteifender Bauteile über drei verschiedene Varianten (Nadelholz, Laubholz und Stahlbeton) inkl. der Sequestrierung dargestellt. Es werden alle tragenden Bauteile des Referenzgebäudes betrachtet und durch die gesamte Bruttogrundfläche dividiert. Es wird das GWP pro m² dargestellt.

Vergleich Treibhauspotenzial über Bauteile

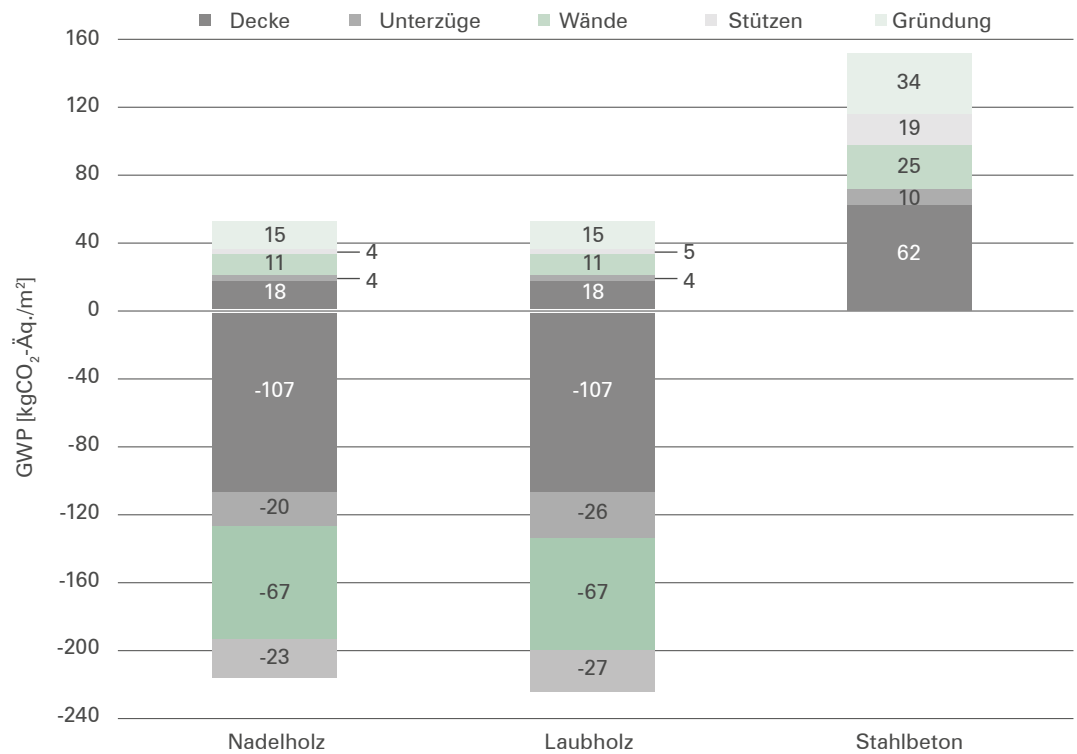


Abbildung 7:
Vergleich Treibhaus-
potential der Bauteile
über verschiedene
Materialien für
Konzept 1

ERGEBNISSE:

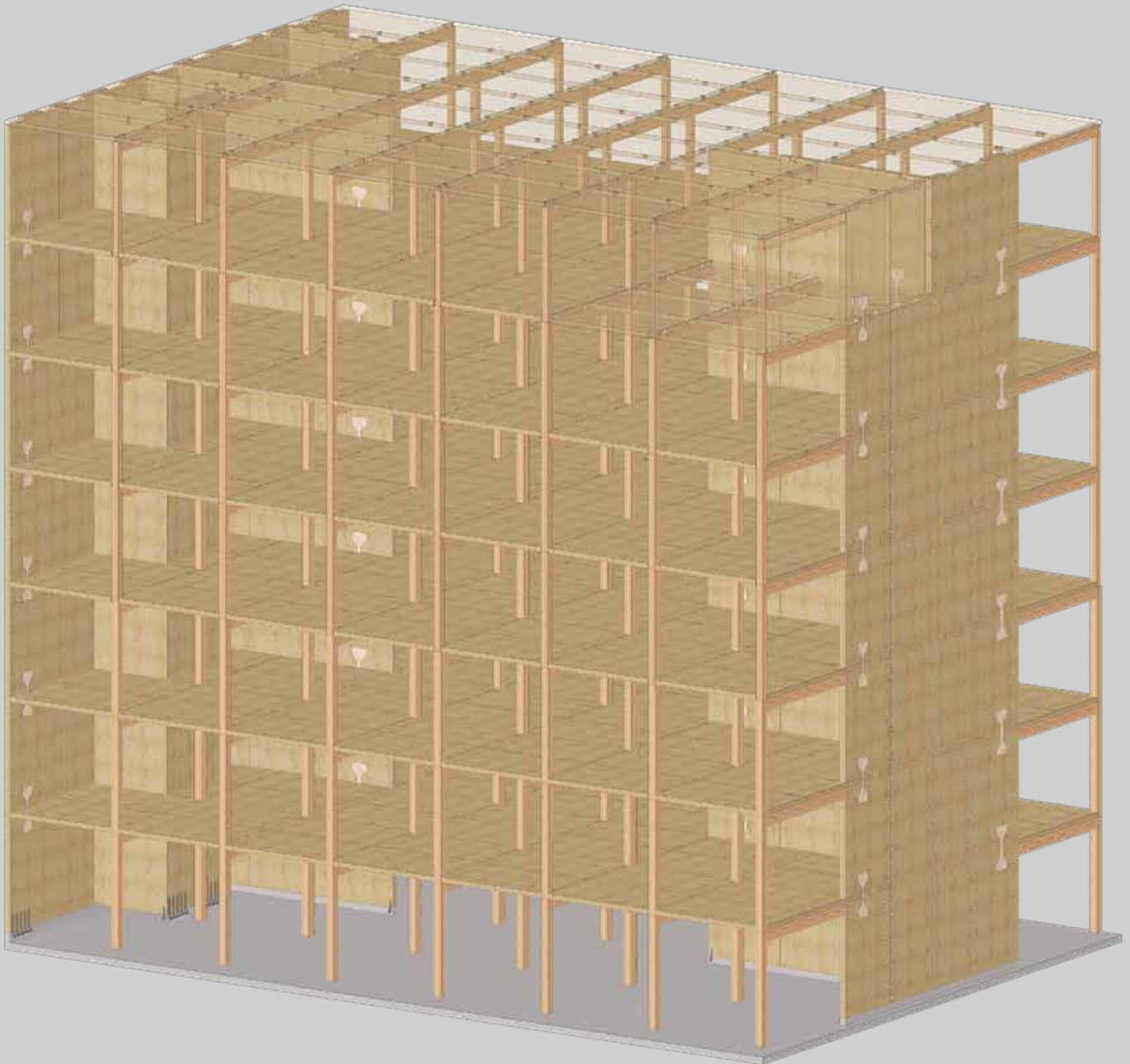
- Betonbau benötigt 160 % mehr Material als ein Holzbau
- Holzbauten (NH und LH) haben ein deutlich geringeres GWP (ca. 35-40 %) als Stahlbeton
- GWP für NH beträgt 154 tCO₂-Äq, für LH 156 tCO₂-Äq und für Stahlbeton 448 tCO₂-Äq
- CO₂-Einsparung entspricht ca. 190 Economy-Flügen von London nach New York und zurück ^[6]
- Größte Anteil des GWP entfällt auf Decken (30-40 %), gefolgt von Gründung (25-35 %) und Wänden (15-20 %)

SEQUESTRIERUNG:

- Laubholz speichert etwa 8 % mehr CO₂ als Nadelholz
- Für Referenzgebäude speichert LH ca. 671 tCO₂-Äq und NH ca. 643 tCO₂-Äq

LEBENSZYKLUS:

- CO₂ bleibt über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes gespeichert
- Lebenszyklus des Gebäudes aufgrund flexibler Nutzung ist deutlich höher
- Holz-Holz-Verbindungen ermöglichen hohe Rückbaubarkeit
- Nach Rückbau können Bauteile wiederverwendet werden
 - CO₂-Gutschrift kann erneut angesetzt werden



© Fast + Epp

3 KONZEPTENTWICKLUNG

Durch die Erkenntnisse aus Recherchen und der Auswertung der Grundlagen wurden zwei verschiedene Konzepte entwickelt. Diese unterscheiden sich hauptsächlich in den Anwendungsgebieten bzw. in den vorgesehenen Nutzungen und in der Herangehensweise der Materialauswahl und Bemessung.

Für beide Konzepte werden die Materialien entsprechend ihren Vor- und Nachteilen angewendet, sodass eine optimale Materialnutzung angestrebt wird. Außerdem werden die Bauteile und Anschlüsse beider Konzepte so entwickelt, dass eine hohe Rückbaubarkeit und Wiederverwendung der Bauteile erreicht wird. Die Bauteile werden möglichst simpel gehalten und ein hoher Wiederholungsgrad angestrebt, sodass die Montage und Fertigung schnell und kosteneffizient sind.

Das erste Konzept wird auf eine Nutzung von Wohn- und Büroflächen ausgelegt. Diese Kombination von den zwei wichtigsten Nutzungen eines Bauwerks bringt großes Potenzial für eine breite Anwendung insbesondere im urbanen Raum mit sich. Hierfür wurde ein parametrisches Excel-Tool entwickelt. Es wurde ein Stützenraster entworfen, welches eine bestmögliche Materialausnutzung anstrebt und trotzdem die architektonischen und bauphysikalischen Belange einer Wohn- und Büronutzung berücksichtigt. Die Anschlüsse bei dem Konzept werden nach den erlangten Erkenntnissen als zimmermannsmäßige Verbindungen vorgesehen. Die Aussteifung wird ebenfalls aus Holz und mit zimmermannsmäßigen Verbindungen geplant.

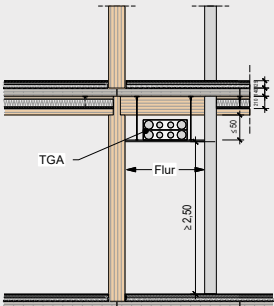
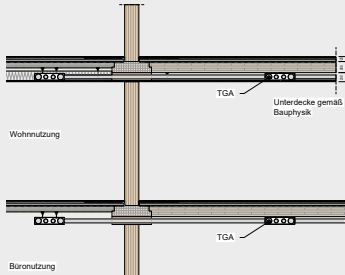
Beim zweiten Konzept wird eine Mischnutzung aus Wohnen, Büro, Einzelhandel und Parken berücksichtigt. Das Konzept wurde auf Grundlage der Nachverdichtung im urbanen Raum entwickelt. Zukünftig sollten Flächen im städtischen Raum bestmöglich genutzt werden und eine flexible Umgestaltung über einen sehr langen Zeitraum möglich sein. Das multifunktionale Konzept kann so z. B. eingeschossige Einzelhandelsflächen und deren PKW-Stellplatzflächen ersetzen und bietet auf dem gleichen Raum mehr Nutzungsmöglichkeiten. Es geht von etagenweisen unterschiedlichen Nutzungen aus, die über einer Tiefgarage oder ebenerdiger Parkplatzebene angeordnet sind. Das Stützenraster wurde so ausgelegt, dass die Stützen bis zur Parkplatzebene durchgezogen werden können und keine zusätzliche Abfangebene aus Stahlbeton oder Stahl nötig wird. Aufgrund der hohen Spannweite wurde ein liegender Holz-Unterzug als Träger zwischen den Stützen gewählt, der eine große lichte Raumhöhe zulässt und die höheren Festigkeiten von Laubholz sinnvoll ausnutzt. Dieser Unterzug wird auf einen neu entwickelten „Waagebalken“ aus Furnierschichtholz aufgelegt, sodass weiterhin ein steckbares System möglich ist.

Die Bauteile und Anschlüsse beider Konzepte werden so entwickelt, dass eine hohe Rückbaubarkeit und Wiederverwendung der Bauteile erreicht wird.



3.1 Konzeptauswahl

Dieses Kapitel soll einen sehr kurzen Überblick über die maßgebenden Rahmenbedingungen der unterschiedlichen Konzepte geben und anhand einer Checkliste die Auswahl des passenden Konzepts erleichtern. In den nachfolgenden Kapiteln werden die Konzepte mit ihren Rahmenbedingungen weiter erläutert.

KONZEPT 1	KONZEPT 2
1. NUTZUNG	
 WOHN – UND/ ODER BÜRONUTZUNG (ohne PKW-Stellplätze)	 FLEXIBLE NUTZUNG (Wohnen, Büro, PKW-Stellplätze, Einzelhandel, KiTa)
2. STOCKWERKE	
Bis 8 Geschosse Konzept 1 und Konzept 2 möglich	
Mehr als 8 Geschosse Konzepte nur mit erweiterten Brandschutzkonzepten möglich	
3. STÜTZENRASTER	
Material- und Kosteneffizient (bis 4,20 m)	Bis 7,50 m
4. TGA-LEITUNGEN	
Im Flur Bereich (siehe Abbildung 8)	Freie Anordnung (deckengleiche Unterzüge, siehe Abbildung 9)
 Abbildung 8: Beispielhafte Anordnung der TGA-Leitungen bei Konzept 1	 Abbildung 9: Beispielhafte Anordnung der TGA-Leitungen bei Konzept 2



4 KONZEPT 1

Die Idee ist, das Tragwerk möglichst effizient und kostengünstig zu gestalten und trotzdem maximale Flexibilität und Umnutzungsmöglichkeiten im Gebäude zu garantieren.



MATERIALEFFIZIENTES STÜTZENRASTER

Das erste Konzept in diesem Leitfaden stellt ein innovatives Tragwerkskonzept für moderne Wohngebäude in urbanen Räumen dar. Es umfasst Regeln für die Stützenabstände, die Materialwahl für Stützen, Unterzüge und Decken und bietet einen Detailkatalog zur optimierten Auswahl der Anschlussdetails.

Um die Nutzungszeit zu verlängern und ein Gebäude entsprechend nachhaltiger zu planen, wurde der gesamte Lebenszyklus eines solchen Wohngebäudes betrachtet. Es hat sich gezeigt, dass mehrere Nutzungen gemeinsam berücksichtigt werden müssen. Dies liegt daran, dass die Nutzungszeit eines Gebäudes über 50 Jahre beträgt. In dieser Zeit können sich am Standort und im Umfeld des Gebäudes diverse Änderungen ergeben, die Einfluss auf das Gebäude haben. Dies betrifft die gebaute Umwelt, die städtebaulichen Rahmenbedingungen, aber auch gesellschaftliche Entwicklungen. Um zu vermeiden, dass ein Gebäude leer stehen muss, weil es nicht an die geänderten Anforderungen angepasst werden kann, wurde dieses Konzept entwickelt. Das Konzept berücksichtigt sowohl eine Wohn- als auch eine Büronutzung. Die Idee ist, das Tragwerk möglichst effizient und kostengünstig zu gestalten und trotzdem maximale Flexibilität und Umnutzungsmöglichkeiten im Gebäude zu garantieren.

Der Materialverbrauch der Tragkonstruktion spielt bei der Findung des Stützenrasters für dieses Konzept eine entscheidende Rolle. Wählt man ein sehr kleines Raster, reichen kleine Querschnitte für Unterzüge und Decken. Auch die Stützen benötigen eher kleine Querschnitte. Durch die geringen Abstände werden aber sehr viele Stützen benötigt, was das Gesamtvolumen des Holzes wiederum steigert. Der andere Extremfall ist ein sehr großes Raster. Dabei gibt es sehr wenige Stützen. Der Querschnitt dieser Stützen ist zwar größer als bei dem kleinen Raster, verhältnismäßig aber nur geringfügig größer. Was das sehr große Raster unwirtschaftlich macht, ist, dass die Unterzugs- und Deckenquerschnitte unverhältnismäßig groß werden müssen. Im Holzbau empfiehlt es sich ein kleineres Raster von bis zu 4,50 m zu wählen, da in diesem Bereich die Schwingungsfälligkeit der Decken gering ist und somit die Höhe der Decke klein bleiben kann. Es kann also in den flächigen Bauteilen eine große Menge an Materialvolumen eingespart werden. Bei kleineren Rastern werden die Lasten in den Anschlusspunkten nicht so hoch, weshalb dort effizientere und einfachere Details, wie z. B. Holz-Holz-Verbindungen, gewählt werden können.

Die Lösungen unterscheiden sich in den Spannweiten, Materialien bzw. Festigkeitsklassen und Art der Anschlüsse voneinander. Jede Lösung stellt dabei eine mögliche Kombination der genannten Parameter dar. In die Bewertung der Lösungen fließen der Materialverbrauch, die Nachhaltigkeit und Rückbaubarkeit und die Kosten mit ein. So können am Ende die relevantesten und wirtschaftlich besten Lösungen aus der Masse an möglichen Kombinationen herausgefiltert werden.

Folgende Tabelle zeigt die gewählten Parameter für das materialeffizienteste Gebäude unter Berücksichtigung aller relevanten Kriterien.

Konzept 1

Beschreibung	Wert
Spannweite der Unterzüge (L_x)	4,20 m
Spannweite der Decken (L_y)	3,60 m
Material der Unterzüge und Stützen	SSH GL40 Buche
Material der Decken	C24 Nadelholz
Querschnitt der Regelgeschossunterzüge	b/h = 20/32 cm
Querschnitt der Dachunterzüge	b/h = 18/32 cm
Querschnitt der Regelgeschossdecken	BSP_140_L5s_40l-20w-20l-20w-40l
Querschnitt der Dachdecken	BSP_110_L3s_40l-30w-40l
Querschnitt der Stützen im EG bis 1.OG	b/h = 24/28 cm
Querschnitt der Stützen im 2.OG bis 6. OG	b/h = 24/24 cm
Querschnitt der Stützen im 7.OG	b/h = 20/20 cm
Querschnitt der Randstützen im EG bis 7.OG	b/h = 20/24 cm
Brandschutzanforderungen tragender Bauteile	REI 90
Gewählte Ausbaulast	$\Delta g_k = 2,70 \text{ kN/m}^2$
Gewählte Nutzlast	$q_k = 2,80 \text{ kN/m}^2$

Tabelle 1:
Konzept 1

4.1 Gewählte Rahmenbedingungen

Um mittels eines parametrischen Modells ein optimales Stützenraster zu finden, müssen gewisse Rahmenbedingungen gesteckt werden. Diese Bedingungen ergeben sich vor allem aus konstruktiven, architektonischen, statischen und normativen Anforderungen. Es wurden aber zusätzlich auch architektonische, haustechnische, bauphysikalische und städtebauliche Randbedingungen berücksichtigt. Dadurch kann gewährleistet werden, dass eine Lösung gefunden wird, die alle Disziplinen und Kriterien gleichermaßen abdeckt und befriedigt.

Zusätzlich wurde untersucht, wo Kompromisse eingegangen werden können und welche Anforderungen wichtiger und weniger wichtig sind.

Nachfolgend werden die gewählten Rahmenbedingungen kurz erläutert und begründet.

4.1.1 Nutzung

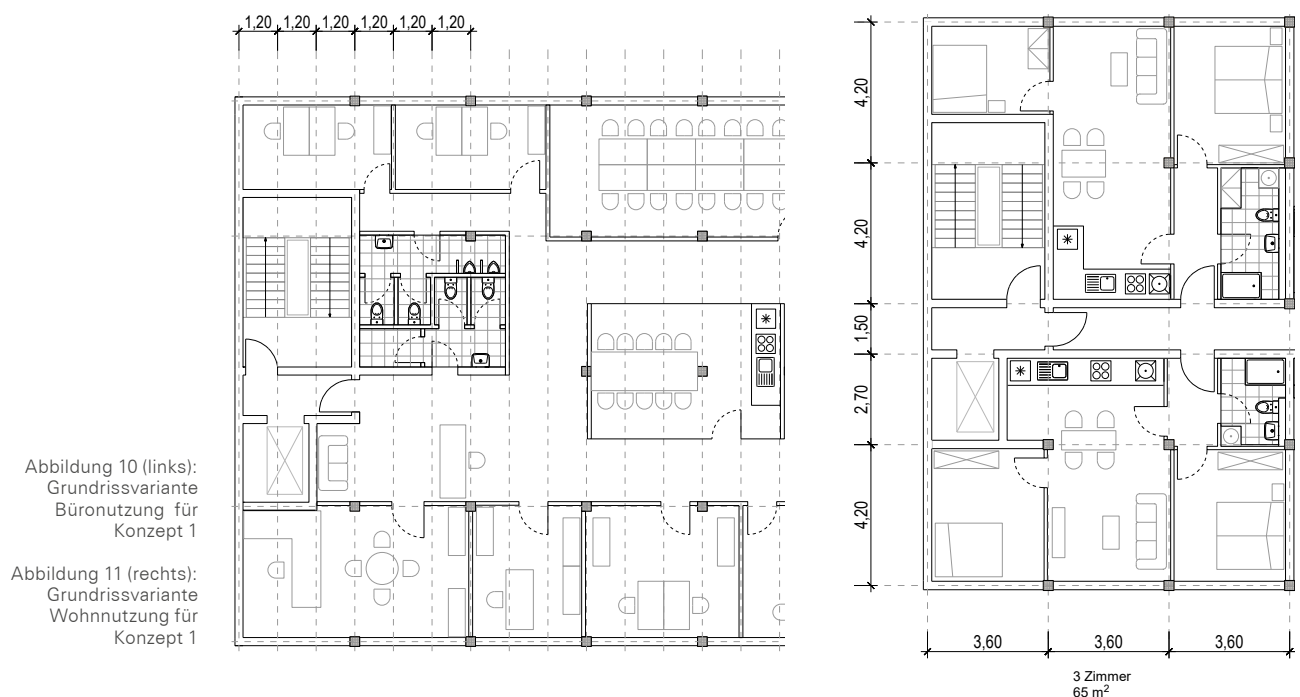
Der zukünftige urbane Wohnraum muss flexibel und wandelbar sein, um sich an veränderte Bedürfnisse anzupassen. Eine wachsende Tendenz zur Umnutzung von Gebäuden wird ebenfalls hervorgehoben, da innerstädtische Flächen wertvoll und zukünftige Entwicklungen schwer vorhersehbar sind.

4 KONZEPT 1 – MATERIALEFFIZIENTES STÜTZENRASTER

Ein zentrales Ziel ist die Verlängerung des Lebenszyklus eines Gebäudes zur Ressourcenschonung und Kostenreduktion. Dies wird durch flexible Nutzung und eine Skelettkonstruktion ohne tragende Innenwände erreicht, die eine einfache Anpassung der Raumaufteilung ermöglicht.

Ein derartiges Gebäude wäre jedoch nicht flexibel genug, wenn nicht auch bestimmte Rahmenbedingungen, die sich aus den Nutzungskonzepten ergeben, berücksichtigt würden. Das Ziel ist nicht nur, flexibles Wohnen zu ermöglichen, sondern auch eine effektive Nutzung als Bürofläche zu gewährleisten. Für eine effektive Nutzung als Wohn- und Bürofläche ist die Reduzierung des Tragwerks auf das Wesentliche vorteilhaft. Bürogebäude erfordern oft eine höhere Flexibilität als Wohngebäude, um sich an wechselnde Arbeitsumgebungen anzupassen. Unterschiedliche Anforderungen an Deckenhöhe und Rastermaße müssen berücksichtigt werden.

Dieses Konzept zielt darauf ab, sowohl Wohn- als auch Büronutzungen (siehe Abbildung 10 und Abbildung 11) zu ermöglichen, ohne Tiefgarage und Unterkellerung, um die Nachhaltigkeit zu fördern. Politische Maßnahmen sind erforderlich, um die Mindestanzahl an notwendigen Stellplätzen zu reduzieren und zukunftsweisende Mobilitätskonzepte zu planen.



4.1.2 Geometrie/ Anzahl Stockwerke

Die Geometrie für das Konzept hat sich vor allem aus den gewählten Nutzungen Wohnen und Büro ergeben. Die maximale Gebäudehöhe geht auf die Normung für Brandschutz und die entsprechenden Gebäudeklassen zurück. Ziel war es unter der Hochhausgrenze zu bleiben. Daraus ergeben sich sieben bis acht Geschosse, je nachdem wie viele Geschosse für eine reine Wohnnutzung (geringere lichte Raumhöhe nötig) vorgesehen werden.

Die vorgestellte Lösung soll ein bestmögliches Raster für die primäre Tragstruktur des Gebäudes definieren. Das Raster kann dann in jede Richtung theoretisch unendlich lang verlängert werden. Dadurch werden auch Gebäudestrukturen in L-, O- und U-Form oder Lichthöfe und Loggien möglich (siehe Abbildung 12)

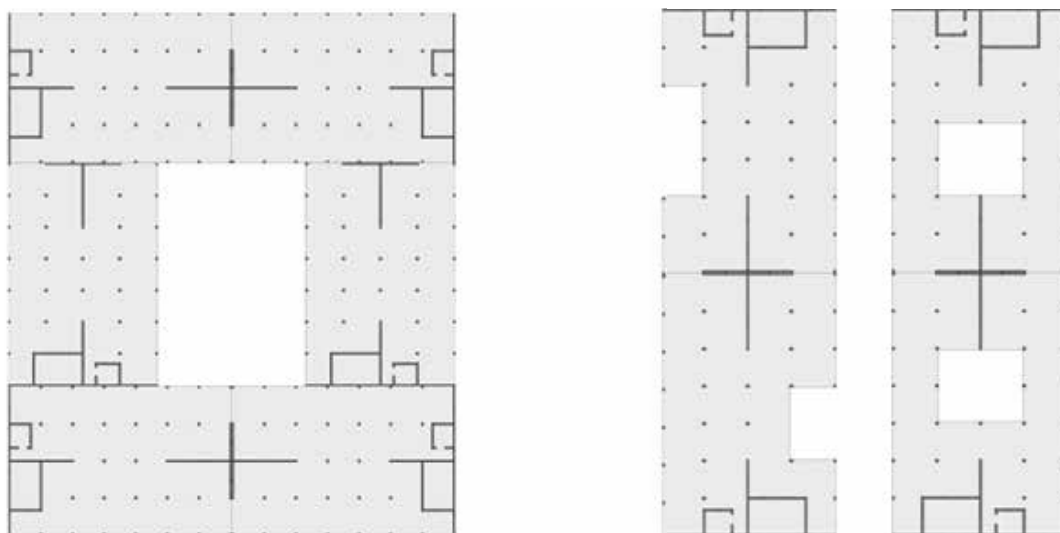


Abbildung 12:
Grundrissvariationen
Konzept 1

4.1.3 Technische Gebäudeausrüstung

Die spezifischen Eigenschaften des Holzskelettbbaus stellen besondere Anforderungen an die Integration technischer Systeme wie Heizung, Lüftung, Klimatisierung, Sanitäranlagen und Elektroinstallationen. Eine frühzeitige und durchdachte Planung ist entscheidend, um die Effizienz des Gebäudebetriebs langfristig sicherzustellen und den nachhaltigen Einsatz von Ressourcen zu fördern. Die Systeme müssen so konzipiert sein, dass zukünftige Nutzungsänderungen ohne umfassende bauliche Eingriffe möglich sind. Dies erfordert leicht zugängliche und modifizierbare Installationen.

Das Konzept sieht die Verwendung von Brettschichtholz-Unterzügen (BSH) als Einfeldträger vor, die unterhalb der Decke angeordnet sind und kleinere Durchbrüche für Installationen ermöglichen. Vertikale Leitungen werden in standardisierten Schächten geführt. Brettsperrholzdecken (BSP) erlauben kleinere Durchbrüche ohne statische Probleme, größere Öffnungen sollten jedoch geprüft oder in kleinere unterteilt werden.

Für Wohnnutzung wird eine Fensterlüftung bevorzugt, während Bürogebäude bisher Lüftungsanlagen haben. In Bürogebäuden geht der Trend jedoch auch zu weniger Lüftungstechnik und zu Zwangsbelüftungen über Fenster. Lüftungsleitungen könnten im zentral angeordneten Flur verlegt werden, um Platz zu sparen. Dort kann die Deckenhöhe geringer sein und eine größere Unterdecke vorgesehen werden.

Vorgefertigte Nasszellen wurden aufgrund mangelnder Flexibilität verworfen, da sie die Anpassungsfähigkeit des Gebäudes über den langen Lebenszyklus des Primärtragwerks einschränken würden.

4.1.4 Brandschutz

Da Nachverdichtung und Flexibilität in der urbanen Bebauung immer wichtiger werden, konzentriert sich die Betrachtung auf Gebäude bis zur Gebäudeklasse 5 mit einer maximalen Oberkante des Fertigfußbodens (OKF) von 22,0 m. Es sollen also Gebäude mit einer Geschossigkeit von 6-8 Geschossen priorisiert werden. Obwohl die Holzskelettbauweise, insbesondere mit Laubholz, auch über der Gebäudeklasse 5 sinnvoll sein kann, wurde im Projektverlauf entschieden, unterhalb der Hochhausgrenze zu bleiben. Dies liegt daran, dass Projekte über dieser Grenze selten sind (u. a. aufgrund der Bebauungspläne) und die Anforderungen an Brandschutz und technische Gebäudeausrüstung zu komplex sind, um ein allgemein anwendbares Konzept zu entwickeln. Standardgebäude bis zur Gebäudeklasse 5 (entspricht F90) können gemäß der „Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen in Holzbauweise“ (HolzBauRL BW) ^[11] mit feuerwiderstandsfähigen Bauteilen in Massivholzbauweise ausgeführt werden.



Dienstgebäude Ingelheim
© Foto Thomas Koculak

Nachfolgend werden die gewählten Maßnahmen für den baulichen Brandschutz kurz erläutert.

Brandabschnittsbildung

Das Konzept ist auf Nutzungseinheiten von max. 400 m² ausgelegt und kann flexibel um weitere Nutzungseinheiten vergrößert werden. Die einzelnen Nutzungseinheiten werden mit Hilfe von Brandwänden voneinander getrennt. Die Brandwände werden gemäß den regionalen Vorgaben und Richtlinien aus nichtbrennbaren Baustoffen (GK5) oder aus Massivholz mit einer brandschutztechnisch wirksamen Verkleidung (GK4) vorgesehen.

Tragende und aussteifende Bauteile

Die statisch tragenden Bauteile Decken, Unterzüge und Stützen sowie aussteifenden Wände aus Massivholz werden über den Abbrand des Querschnittes (Heißbemessung) bemessen. Die Decken werden zusätzlich noch raumabschließend ausgeführt. Für alle Bauteile und Anschlüsse wurde gemäß der Gebäudeklasse 5 eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten (feuerbeständig) angenommen. Die tragenden Holzbauteile müssen somit nicht zusätzlich mit mineralischen Baustoffen abgekapselt werden. Die Anschlüsse werden als Holz-Holz-Verbindungen geplant und ebenfalls über den Abbrand des Querschnittes bemessen.

Rettungswege und Treppenräume

Alle Rettungswege und notwendigen Treppenräume werden gemäß den jeweiligen Vorgaben und Richtlinien aus nichtbrennbaren Baustoffen (GK 5) oder aus Massivholz mit einer brandschutztechnisch wirksamen Verkleidung (GK 4) vorgesehen.

Außenwände

Die Außenwände werden als nichttragende vorgesetzte Fassadenkonstruktion aus Holz-Rahmenwänden vorgesehen. Gemäß der HolzBauRL BW dürfen Außenwandbekleidungen aus Holz und Holzwerkstoffen hergestellt werden. Es müssen nichtbrennbare Dämmstoffe, ein begrenzter Lüftungsspalt der Unterkonstruktion, eine nichtbrennbare Trägerplatte und horizontale und vertikale Brandsperren ausgeführt werden.

4.2 Deckensysteme

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Leitfadens gibt es keine geeigneten Deckensysteme aus Laubholz auf dem Markt, aber es gibt Forschungsprojekte wie LaNaSys^[8], die sich damit beschäftigen. Daher wurde ein Deckensystem aus Nadelholz gewählt, wobei Brettsperrholzelemente (BSP) als die beste Wahl identifiziert wurden. Diese sind breit verfügbar und bieten ein effektives Tragverhalten für Spannweiten von 3,0 bis 4,5 m.

Für die Deckenelemente wurde das statische System des Einfeldträgers gewählt, da es Flexibilität und einfache Anpassung ermöglicht. Hohlkastenelemente bewirken eine gewisse Inflexibilität hinsichtlich der Nutzung, da sie auf die Schallschutzanforderungen der Nutzung abgestimmt sind. Zudem gibt es derzeit nur wenige Hersteller auf dem Markt, wodurch die Wirtschaftlichkeit dieser Systeme beeinflusst wird.

Die Analysen zeigen, dass das Deckenvolumen mit zunehmender Spannweite linear steigt und die Gebrauchstauglichkeitsnachweise, insbesondere der Schwingungsnachweis, maßgebend sind. Die Decken haben den größten Anteil am Gesamtvolumen der Konstruktion. Es ist daher eindrucksvoll zu sehen, wie schnell sich das Deckenvolumen von 400 auf 600 (Faktor 1,5) und sogar auf 800 m³ verdoppelt (siehe Abbildung 13).

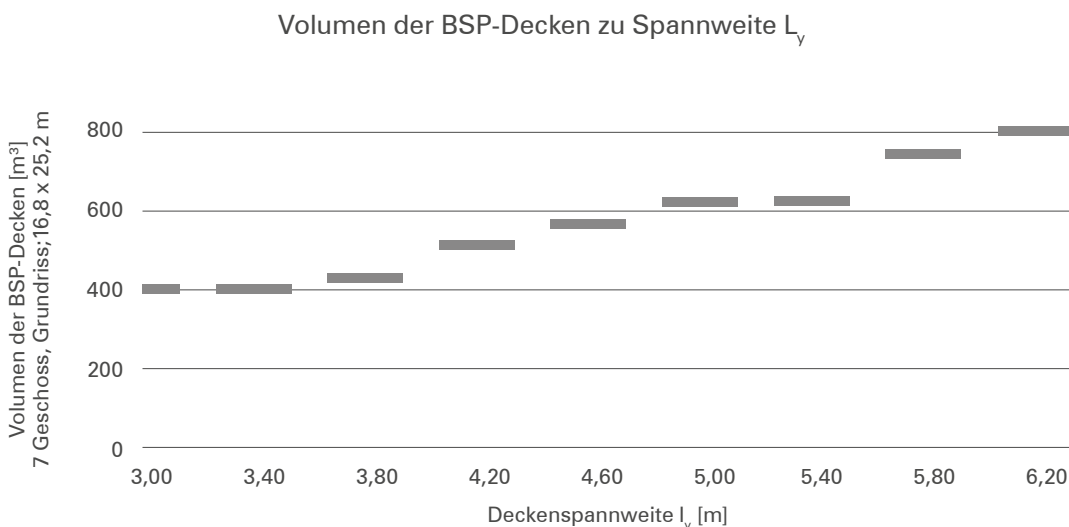


Abbildung 13:
Diagramm „Volumen
der BSP-Decken zur
Deckenspannweite L_y “

4.3 Aussteifung

In Deutschland werden die Aussteifungssysteme im Holzbau weitestgehend mit Stahlbeton-Kernen ausgeführt. Dieses System bringt Vorteile wie z.B. eine hohe Tragfähigkeit oder einen einfachen Brandschutz, aber auch deutliche Nachteile wie die schlechte Nachhaltigkeit oder einen komplexeren und längeren Bauablauf mit sich.

Zukünftig sollten vermehrt Aussteifungssysteme aus Holz ausgeführt werden, damit mehr Erfahrungswerte entstehen und die Vorteile der breiten Masse sichtbar werden. Die vermeintlichen Nachteile des Holzbaus wie z.B. schlechten Brandschutz oder geringere Tragfähigkeit lassen sich technisch ohne größeren Aufwand lösen. Die Vorgaben

und Richtlinien werden bereits angepasst und gelockert, sollten jedoch noch weiter auf einen modernen Holzbau angepasst werden.

Für die Aussteifung dieses Konzeptes wurde eine Vergleichsberechnung mit einem beispielhaften Grundriss geführt. Hierbei wurde sich für aussteifende Elemente aus Holz entschieden. Es wurden aussteifende Wände aus Brettspertholz (BSP) so in dem Stützenraster angeordnet, dass weiterhin eine größtmögliche freie Grundrissgestaltung möglich ist. Es wurden größtenteils notwendige Wände wie z. B. Treppenhauswände, Aufzugsschachtwände, Technikraumwände und Brandwände für die Aussteifung genutzt. Hierbei wurden längere Wände bevorzugt, um ein optimiertes Aussteifungssystem zu schaffen.

Für das Referenzgebäude wurden die aussteifenden Wände und die dazugehörigen Anschlüsse in Erdbebenzone 1 und Windzone 2 beispielhaft bemessen. Die Windzone 2 deckt über 90 % der Fläche von Deutschland ab. Durch die Betrachtung der Erdbebenzone 1 werden ca. 95 % der Fläche Deutschlands abgedeckt. Aufgrund des geringen Eigengewichts der Holzbauteile ist in Erdbebenzone 1 keine spezielle Erdbebenbemessung erforderlich, da die Windeinwirkungen maßgebend sind. Die leichte Konstruktion mit dünnen Massivholzdecken wird im Erdbebenfall weniger stark angeregt, sodass die Windkräfte höher sind. Dies vereinfacht die Konstruktion der Anschlüsse.

4.4 Anschlüsse

Für das vorgesehene Konzept werden nachfolgend die einzelnen Anschlusspunkte beschrieben. Eine große Herausforderung stellt hierbei die Montagetoleranz der einzelnen zu verbindenden Bauteile dar. Hierbei sind besonders die Anschlüsse der stabförmigen Bauteile (Unterzüge und Stützen) an die flächigen Bauteile (Decken und Wände) exakt zu planen.

Die parametrischen Bemessungen haben gezeigt, dass der Anschluss der Unterzüge an Stützen mit Hilfe von Einhängeverbindern oder Schlitzblechen höhere Kosten (Material und Montage) für den gesamten Rohbau als das einfache Auflegen der Unterzüge auf ausgeklinkte Stützen hervorruft. Für das Konzept wurde sich aufgrund dieser deutlichen Vorteile für eine Holz-Holz-Verbindung mit Hilfe von ausgeklinkten Stützen mit Auflageraschen (siehe Abbildung 14) entschieden.

Abbildung 14:
Modell des Stützenknotens mit Unterzügen (links) und ausgeführte Ausgeklinte Stütze (Neubau Kreisverwaltung Ingelheim, TWP: Fast+Epp) (rechts)



Häufig werden die Anschlüsse in Gebäuden in Holzbauweise durch Verschraubungen und Stahlwinkel oder -bleche umgesetzt. Da die Rückbaubarkeit und Nachhaltigkeit bei diesem Konzept eine wichtige Rolle spielen, wurden diese auch bei der Konstruktion der Anschlüsse mitbedacht. Daraus resultierend wurden Anschlüsse ohne jegliche Stahlformteile konzipiert und vorbemessen. Teilweise wurden klassische zimmermannsmä-

ße Verbindungen wie Verzahnungen oder schwalbenschwanzähnliche Verbindungen konstruiert. Es wurden aber auch Verbindungen gewählt, die schon auf dem freien Markt erhältlich sind und sich bereits etabliert haben, wie z. B. der X-Fix® Verbinder aus einem Buchen Furnierschichtholz^[9].

Nachfolgende Tabelle 2 zeigt verschiedene Anschlussmöglichkeiten aus Stahl bzw. mit Stahl oder nur aus Holz, die für das Konzept angewendet werden können. Es werden aktuell übliche Anschlüsse mit Stahlteilen und Anschlüsse ohne Stahl aufgelistet.

Vergleich Anschlüsse für Aussteifung

Anschluss	Lastabtrag	Mit Stahl	Ohne Stahl
Deckenscheibe an Wand	Zug	Zugwinkel oder -blech	Verzahnung in der Querwand und Decke
	Schub	Schubwinkel oder -blech, Verschraubung	Verzahnung in der Wand und Decke
Ausbildung Deckenscheibe	Zuggurt	Windrispenband, Zugblech, Verschraubung	X-Fix und bei Stoß mit Wänden mit Verzahnung
	Druckgurt	-	Kontaktfläche
	Schub	Verschraubung oder Koppelbrett	X-Fix
Wandscheibe an Wand (geschossübergreifend)	Zug	Zugwinkel oder -blech, Gewindestangen	Zimmermanns-mäßiger Zuganschluss, tlw. durch Auflast überdrückt
	Schub	Schubwinkel oder -blech, Verschraubung	Verzahnung in den Wänden
Elementstoß Wand	Schub	Verschraubung oder Koppelbrett	X-Fix
Wandscheibe an Gründung	Zug	Zugwinkel oder -bleche	-
	Schub	Schubwinkel oder -bleche, Verschraubung	Verzahnung in den Wänden und Bodenplatte/ Aufkantung

Tabelle 2:
Vergleich Anschlüsse
für Aussteifung

Die bevorzugten Anschlüsse ohne Stahl wurden für die maßgebenden Lasten aus der Aussteifungsberechnung und den vertikalen Lastabtrag vorbemessen und auf geometrische Umsetzbarkeit geprüft. Hierbei bietet vor allem die Verzahnung der einzelnen Bauteile (siehe Abbildung 15) eine einfache Möglichkeit, sowohl vertikale als auch horizontale Lasten von einem in das andere Bauteil zu übertragen. Diese Verzahnungen können mit geringem Aufwand bereits im Werk exakt vorgefertigt werden, wodurch die Bauteile auf der Baustelle nur noch zusammengesteckt und lagegesichert werden müssen.

Für die Verbindung der BSP-Wände wurden neuartige Holz-Holz-Verbindungen wie Verzahnungen und Schwalbenschwanz ähnliche Verbindungen konstruiert.

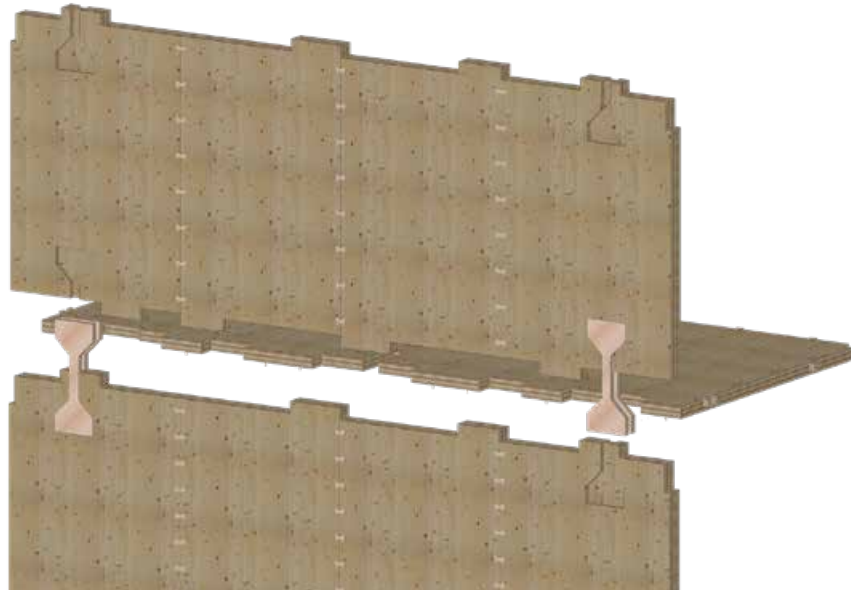


Abbildung 15:
Schub - und Zugver-
bindung aus Holz der
aussteifenden Wände

Im Laufe des Projektes wurde hierfür ein sogenannter „Knochen“ (siehe Abbildung 16) entwickelt, der die Zugkräfte zwischen zwei Wandelementen übertragen kann. Dieser „Knochen“ besteht aus einem Furnierschichtholz aus Buche. Das Material wurde ausgewählt, da die Zugfestigkeit parallel zur Faser sehr hoch ist im Vergleich zu anderen Holzmaterialien. Er kann aufgrund seiner Formgebung die Zugkräfte von einer Wand in die nächste Wand über Kontaktpressung übertragen. Auf der Baustelle kann der Knochen nach Aufrichten der Wände in die Aussparungen der BSP-Wände eingebaut werden. Der Knochen hängt sich bei einer Belastung in die Kontaktfläche der Wandscheibe ein und kann dadurch die Lasten aufnehmen bzw. an die nächste Wandscheibe abgeben. Die Schubkräfte in den horizontalen Fugen der Wandscheiben sollen analog zu dem Anschluss der Deckenscheiben an die Wandscheiben mit Verzahnungen übertragen werden.

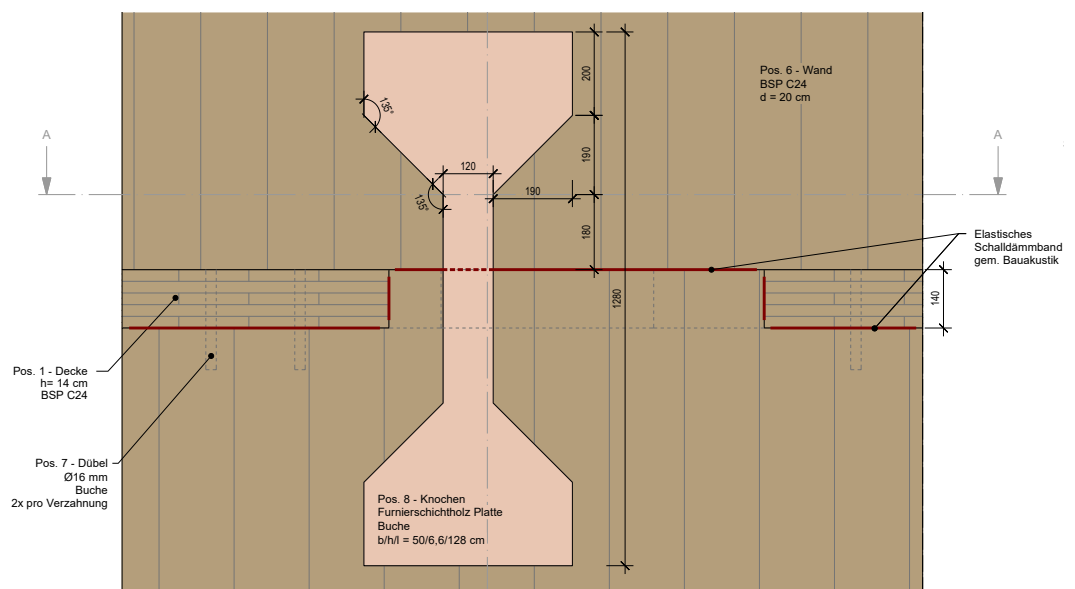


Abbildung 16:
Zug -Anschluss
Wand an Wand mit
„Knochen“

4.4 ZUSAMMENFASSUNG KONZEPT 1

- Materialeffiziente Umsetzung des Primärtragwerks
- Optimierung des Stützenrasters durch parametrisches Modell
- Wirtschaftlicher und nachhaltiger als Stahlbeton oder Stahl
- Rahmenbedingungen aus Architektur, Bauphysik und TGA berücksichtigt
- Wohn- und/ oder Büronutzung
- Flexible Grundrissgestaltung (L- oder U-Grundrisse, Innenhöfe, Versprünge)
- Gebäude bis zu 8 Geschossen
- Hohe Flächennutzung und Nachverdichtung im urbanen Raum
- Brandschutz bis Gebäudeklasse 5
- Effizienter und zielgerichteter Einsatz von Laubholz und Laubholzprodukten
- Ausschließlich Holz-Holz-Verbindungen
- Hohe Rückbaubarkeit und einfache Montage
- Aussteifung durch Wand- und Deckenscheiben aus Brettspertholz
- Sehr geringer Anteil an Stahlbeton (nur Gründung)



Die Geometrie für das Konzept hat sich vor allem aus den gewählten Nutzungen Wohnen und Büro ergeben.



University of British Columbia
Studierendenwohnheim
© Foto: Michael Elkan Photography
Photo courtesy of naturallywood.com



Das Ziel von diesem Konzept besteht darin, eine alternative Lösung zu bieten, bei der das größere Stützenraster der Stellplatzflächen auch in den darüberliegenden Geschossen in Holzbauweise fortgeführt werden kann.



MISCHNUTZUNG

Dieses Konzept unterscheidet sich grundlegend vom Konzept 1, insbesondere durch die starke Fokussierung auf die Nutzung „Parken“. Diese Nutzung hat einen maßgeblichen Einfluss auf das gewählte Stützenraster, das im Vergleich zu Konzept 1 deutlich größer ausfällt.

In herkömmlichen Skelettgebäuden mit einer darunterliegenden Parkgarage werden häufig zwei unterschiedliche Stützenraster verwendet: Ein größeres Raster für die Parkgeschosse und ein kleineres Raster für die darüberliegenden Büro- oder Wohngeschosse. Um den Übergang zwischen dem kleineren Raster der oberen Geschosse und dem größeren Raster der Parkflächen zu realisieren, ist eine sogenannte Abfangebene notwendig.

Diese Lösung kann jedoch sehr unwirtschaftlich sein, insbesondere wenn mehrere Geschosse auf der Abfangebene lasten. Die Stützenlasten können dabei stark ansteigen. Dies erfordert große, höhere Unterzüge und Deckenpakete, was sowohl die Materialkosten als auch den CO₂-Fußabdruck erheblich erhöhen kann.

Das Ziel von diesem Konzept besteht darin, eine alternative Lösung zu bieten, bei der das größere Stützenraster der Stellplatzflächen auch in den darüberliegenden Geschossen in Holzbauweise fortgeführt werden kann. Dies würde nicht nur die wirtschaftliche Effizienz verbessern, sondern auch die Nachhaltigkeit des gesamten Gebäudes fördern, da auf zusätzliche Materialien wie Stahl und Beton weitgehend verzichtet werden könnte. Ein maßgeblicher Vorteil des Konzeptes ist, dass die große Spannweite infolge des Stellplatzrasters mit deckengleichen Unterzügen überbrückt werden kann. Hierfür wurde sich ein innovatives Stützendetail (siehe Abbildung 17) entwickelt. Es werden liegende (schmale Höhe und große Breite) Holz-Unterzüge deckengleich angeordnet und an den Auflagerpunkten auf einen sogenannten Waagebalken aufgelegt. Der Waagebalken wird in den folgenden Kapiteln noch detaillierter erklärt.

Ein weiterer Vorteil dieser Herangehensweise ist die Möglichkeit, das gesamte Gebäude – einschließlich der unteren Parkgeschosse – in Holzbauweise auszuführen. Dies stellt ein völlig neues Konzept für mehrgeschossige Gebäude mit Parknutzung dar, das sowohl funktional als auch nachhaltig ist.

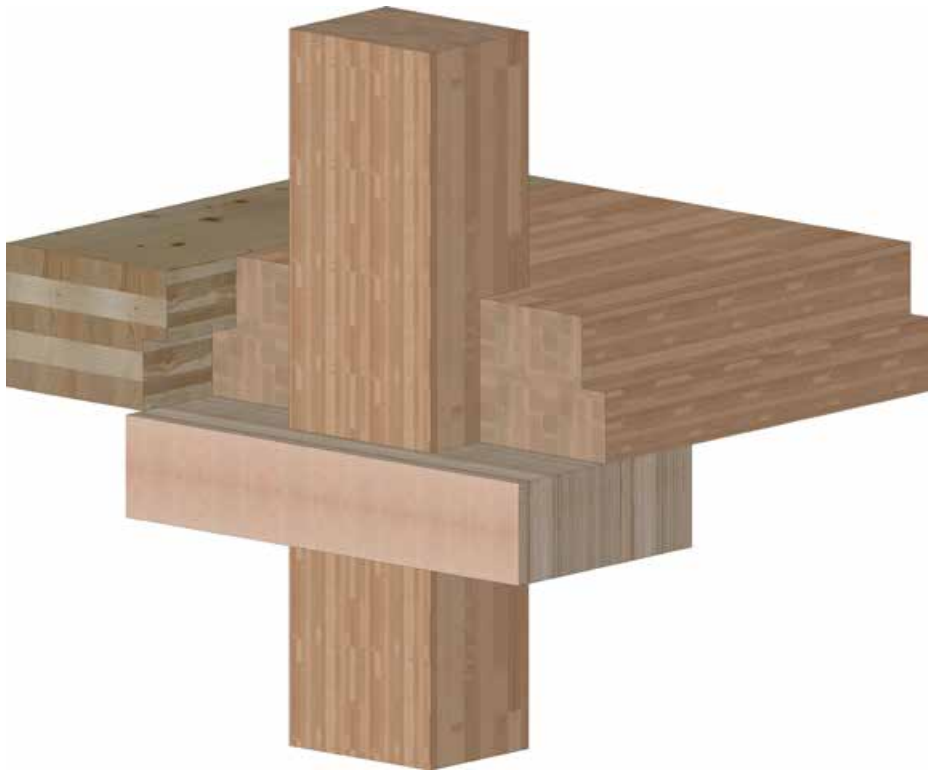


Abbildung 17:
Stützendetail mit
Waagebalken

Folgende Tabelle 3 zeigt die vorgeschlagenen gewählten Rahmenbedingungen des Konzeptes, die in den nachfolgenden Kapiteln erläutert werden.

Konzept 2

Beschreibung	Wert
Spannweite der Unterzüge (L_x)	5,30 m
Spannweite der Decken (L_y)	4,10 & 7,50 m (Reale Spannweite -1m (Breite des Waagebalkens))
Material der Unterzüge	SSH GL40 Buche
Material der Stützen	SSH GL40 - GL48 Buche
Material der Decken	C24 Nadelholz
Material der Waagebalken	BauBuche GL75
Querschnitt der liegenden Unterzüge	b/h = 100/28 cm
Querschnitt der BSP-Elemente	BSP_280_L7s_40l-40w-40l-40w-40l-40w-40l
Querschnitt der Stützen	b/h = 28/36 cm
Querschnitt der Randstützen	b/h = 24/24 cm
Querschnitt der Waagebalken	b/h = 50/20 cm
Querschnitt der Randunterzüge	b/h = 24/32 cm
Brandschutzanforderungen tragender Bauteile	REI 90
Gewählte Ausbaulast	$\Delta g_k = 1,80 \text{ kN/m}^2$
Gewählte Nutzlast	$q_k = 2,80 \text{ kN/m}^2$

Tabelle 3:
Konzept 2

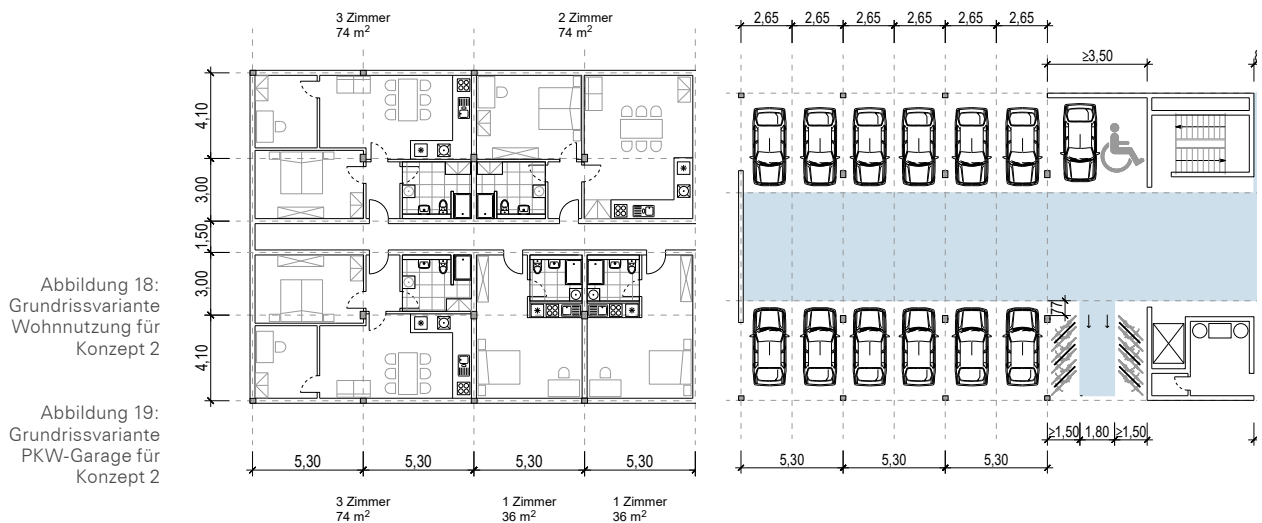
5.1 Gewählte Rahmenbedingungen

Die Rahmbedingungen, die bei der Entwicklung des Konzept 2 berücksichtigt wurden, werden nachfolgend kurz erläutert.

5.1.1 Nutzung

Dieses Konzept wird maßgeblich durch die Nutzung „Parken“ beeinflusst. Dies hat mehrere Gründe: Für Bürogebäude, gelegentlich auch für Wohngebäude, wird häufig eine Tiefgarage im Untergeschoss eingeplant. In manchen Fällen sind sogar mehrere Geschosse für Stellplätze vorgesehen. Dies hat den simplen Grund, dass ab einer bestimmten Größe der Nutzfläche bzw. Anzahl an Wohnungen Stellplätze für Fahrzeuge zur Verfügung gestellt werden müssen. Meistens ist es wirtschaftlich sinnvoller Stellplätze in die Grundfläche des Gebäudes zu integrieren. Ziel ist es in jedem Fall den wertvollen Raum in urbanen Lagen durch die Integration der Parkplatzflächen in die Grundfläche des Gebäudes optimal auszunutzen.

In neuen, urbanen Quartieren ist es immer häufiger der Fall, dass Supermärkte und Einzelhandelsflächen in mehrstöckige Gebäude integriert werden. Trotzdem findet man immer noch einstöckige Supermärkte und die dazugehörigen Parkplatzflächen in sehr zentralen, urbanen Lagen. Eine Nachverdichtung durch eine mehrstöckige Mischnutzung wäre deutlich sinnvoller. In diesem Szenario könnten die Parkflächen im Untergeschoss (siehe Abbildung 19) untergebracht werden, während die darüberliegenden Geschosse für Einzelhandel, Büros und Wohnungen genutzt werden könnten. Eine mögliche Nutzungsverteilung wäre Parken im Untergeschoss, Einzelhandel im Erdgeschoss und Wohn- oder Büronutzung in den darüberliegenden Etagen (siehe Abbildung 18).



Auch die Nutzung für gemeinschaftliche oder öffentliche Einrichtungen wie Kindertagesstätten oder kulturelle Einrichtungen könnte in einem solchen Gebäudetyp berücksichtigt werden.

Das Konzept bietet durch die reduzierte Stützenanordnung im Holzskelettbau die Möglichkeit, derart unterschiedliche Nutzungen problemlos zu integrieren. Dies macht die Lösung sowohl für aktuelle als auch für zukünftige Anforderungen im Bereich der nachhaltigen Stadtentwicklung und Flächennutzung attraktiv.



5.1.2 Geometrie/ Anzahl Stockwerke

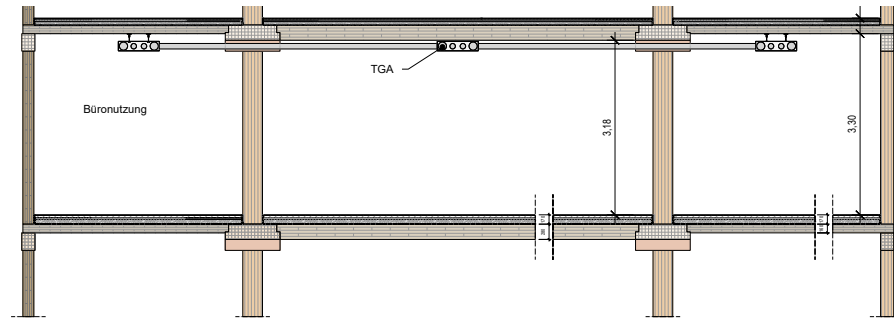
Der größte Vorteil von diesem Konzept ist, dass keine Abfangebene benötigt wird, um von einem großen Raster für PKW-Parkplätze auf ein kleineres Raster für die oberen Geschosse zu wechseln. Das einheitliche Stützenraster von der Gründung bis zum obersten Geschoss spart Bauhöhe und senkt die Kosten für Fassade und Trennwände. Zudem reduziert es die Kosten für die Baugrube bzw. Erdaushub erheblich. Dies ist auf die kleineren Fundamente infolge des geringeren Eigengewichts des Holzes im Vergleich zu Stahlbeton zurückzuführen.

Ein weiterer Vorteil ist, dass je nach Bauvorschriften und Schallschutzanforderungen ein zusätzliches Geschoss realisiert werden könnte, da die benötigte Bauhöhe durch die deckengleichen Unterzüge geringer ist. Das Konzept bietet auch die Flexibilität, das Gebäude in seiner Länge zu erweitern und verschiedene Grundrisskombinationen zu ermöglichen.

5.1.3 Technische Gebäudeausrüstung

Bei diesem Konzept werden die tragenden Unterzüge als breite und flache Brettstapелеlemente deckengleich vorgesehen. Der Bereich unterhalb der Decke bleibt somit frei für technische Leitungen und die TGA-Planung hat viele Möglichkeiten Leitungen zu verziehen (siehe Abbildung 20). Hierdurch können Schlitze und Durchbrüche durch tragende Bauteile umgangen werden.

Abbildung 20:
Freie Verlegung der
TGA-Leitungen bei
Konzept 2



Vertikale Schächte werden neben den Kernen angeordnet. Die Leitungen können dann von dort unter jeder Geschossdecke durch das Gebäude verteilt werden. Der Ansatz unterscheidet sich damit zum Ansatz aus Konzept 1.

5.1.4 Brandschutz

Wie bereits beim Konzept 1 wurde für alle Bauteile eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten berücksichtigt. Die notwendigen Maßnahmen sind zum Großteil wie in Konzept 1 gewählt worden. Der einzige Unterschied ist die Nutzungsebene Garage.

Die Flure, Treppenträume und Aufzüge der Garage werden gemäß der Garagenverordnung mit feuerbeständigen Wänden und Decken ausgeführt. Die notwendige Breite der Rettungswege und notwendigen Treppen von 1,20 m wird durch den architektonischen Entwurf berücksichtigt und eingehalten. Die Garage muss zudem einen zweiten unabhängigen baulichen Rettungsweg aufweisen. Der zweite Rettungsweg kann über die Rampe gewährleistet werden. Der Rettungsweg muss von jeder Stelle in der Garage mit einer maximalen Entfernung von 30 m erreicht werden können.

5.1.5 Schallschutz

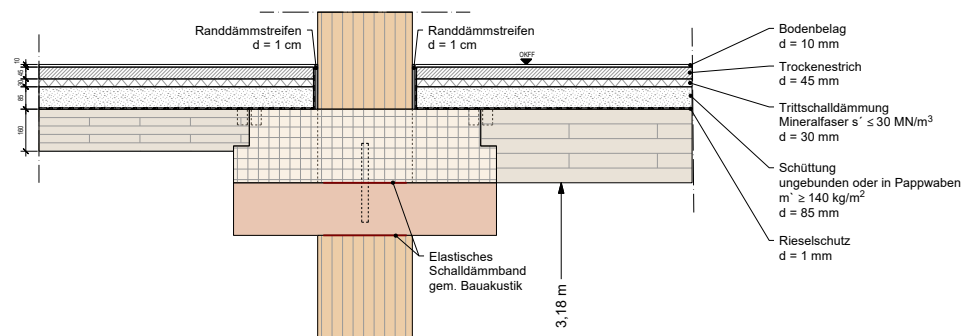
Bauakustisch betrachtet, weisen Konzept 1 und Konzept 2 keine wesentlichen Unterschiede auf. In beiden Fällen erfolgt die primäre Schallübertragung über die durchgehenden Stützen, die ihrerseits Unterzüge tragen. Hier werden ebenfalls elastische Schalldämmbänder vorgesehen (siehe Abbildung 21), um die Schallübertragung möglichst gering zu halten.

Außerdem sollen auch hier die Kosten möglichst geringgehalten werden und die Mindeststandards trotzdem erreicht werden. Somit wird auch beim Konzept 2 für den Schallschutz die Mindestanforderungen gemäß der Norm DIN 4109-1 als Standard für das Konzept herangezogen.

Die Spannweiten der Decken und Unterzüge sind bei diesem Konzept deutlich höher als beim Konzept 1, unter der Bedingung, dass trotzdem ein möglichst materialeffizientes Konzept entwickelt werden soll. Die Aufbauten mit einem Trockenestrich sind deutlich leichter als die mit einem Nassestrich. Für das Konzept sind aus Sicht der Materialeffizienz somit nur die Aufbauten mit Trockenestrich möglich.

Es wird ein Bodenaufbau mit Trockenestrich, einer weichen Trittschalldämmung und einer Schüttung von 140 kg/m² empfohlen (siehe Abbildung 21, damit der Mindestschallschutz eingehalten wird).

Abbildung 21:
Bodenaufbau bei
Büronutzung für
Konzept 2



5.2 Gewählte Holzarten

Für Konzept 2 werden verschiedene Holzarten je nach Einsatzgebiet kombiniert, um die besten Eigenschaften zu nutzen. Nachfolgend werden die materialeffizientesten Holzarten und Festigkeiten vorgeschlagen:

- **DECKEN:**
Brettspertholz aus Nadelholz wegen des geringeren Eigengewichts, was für die Gebrauchstauglichkeit vorteilhaft ist. Laubholz wäre teurer und weniger effizient.
- **UNTERZÜGE:**
Stabschichtholz (SSH) aus Buche der Festigkeitsklasse SSH40.
- **STÜTZEN:**
In den unteren Geschossen aus SSH48 oder GL48 (Buche oder Esche). In den oberen Geschossen können die Festigkeitsklassen und/ oder Querschnitte reduziert werden.
- **WAAGEBALKEN:**
Unterzüge können mit einem Waagebalken aus Buchen-FSH an die Stützen angeschlossen werden.

5.3 Deckensysteme

Eine Besonderheit des Konzepts sind die liegenden Unterzüge, die als Einfeldträger zwischen den Stützen spannen. Im Gegensatz zur herkömmlichen Bauweise werden diese Unterzüge sehr breit (1,00 m), während ihre Höhe, der der Deckenelemente entspricht (28 cm). (siehe Abbildung 22). Dies führt zu einer flachen Deckenstruktur ohne Höhen Versprünge.

Dieser Ansatz wurde gewählt, weil bei den großen Spannweiten sonst extrem hohe Querschnitte erforderlich wären. Hohe Querschnitte führen zu einem dickeren Deckenpaket, größeren Geschosshöhen und damit zu höheren Kosten für die Fassade, nichttragende Wände und andere Bauelemente.

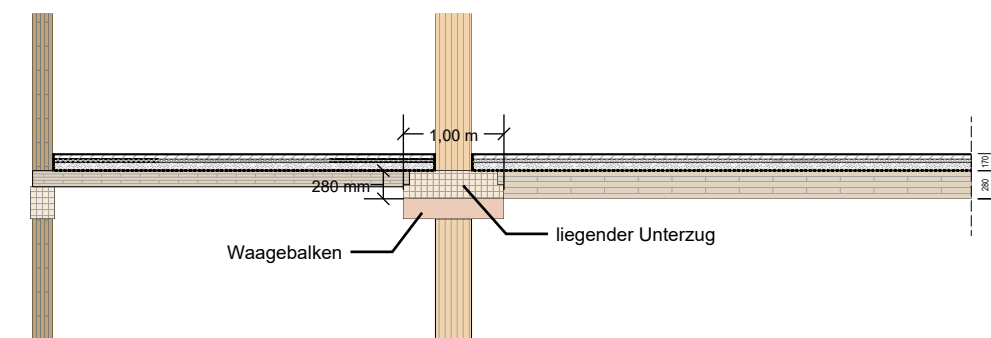


Abbildung 22:
Schnitt durch liegenden Unterzug und Waagebalken

Dabei können die Vorteile der höheren Festigkeiten und Rohdichte von Laubhölzern optimal genutzt werden. Mit den geringeren Werten von Nadelholz wäre es nicht möglich, die maximale Höhe von 28 cm einzuhalten.

Zwischen den Unterzügen spannen die Decken einachsig, ähnlich wie bei Konzept 1. Für Konzept 2 wurden ebenfalls verschiedene Deckensysteme untersucht. Die Spannweiten betragen 3,60 m für die kurzen Randfelder und 6,50 m für die breiteren Innenfelder. Diese Spannweiten sind zwar an der Obergrenze für Brettspertholz, aber noch wirtschaftlich umsetzbar.

5.4 Aussteifung

Die Aussteifung des Konzeptes wurde analog zu Konzept 1 betrachtet. Es wurden aussteifende Wände aus BSP so in dem Stützenraster angeordnet, dass weiterhin eine größtmögliche freie Grundrissgestaltung möglich ist. Zudem wurde bei der Anordnung der Wände auf den Grundriss der Stellplatzflächen und Fahrspuren geachtet, sodass keine aussteifenden Wände im mittleren Bereich des Gebäudes in der Fahrspur angeordnet wurden.

Für das Referenzgebäude wurden die aussteifenden Wände und die dazugehörigen Anschlüsse analog zum Konzept 1 in Erdbebenzone 1 und Windzone 2 beispielhaft bemessen. Es zeigte sich, dass für das Referenzgebäude die maßgebende Einwirkung immer aus der Erdbebenlast resultiert.

5.5 Anschlüsse

Die breiteren Unterzüge des Konzeptes erfordern breitere Auflager. Da die Stützen jedoch nicht über ihre gesamte Länge in dieser Breite ausgeführt werden sollen, wurde eine spezielle Lösung entwickelt: Am Kopf der Stützen wird ein vergleichsweise kurzer Querträger aufgelegt, der beidseitig auskragt (siehe Abbildung 24). Der Querträger übernimmt die Lasten aus den breiten Unterzügen und leitet diese über Druck in die Stütze ein. In der Mitte des Querträgers befindet sich eine Öffnung, durch die der Restquerschnitt der Stütze hindurchgeführt wird. Da der Querträger ein kompaktes Bauteil ist, das hohen Querkraften, Momenten und vor allem Querdruck ausgesetzt ist, fiel die Wahl auf das Produkt BauBuche.



Die Brettsperreholzelemente der Decke spannen zwischen den breiten Brettstapelunterzügen. Das Ziel war es, die Konstruktionshöhe so gering wie möglich zu halten und gleichzeitig einen einfachen Anschluss der Brettsperreholzelemente an die Unterzüge zu gewährleisten. Deshalb wurde entschieden, beide Bauteile auszuklinken, sodass das ausgeklinkte Brettsperreholzelement auf den ebenfalls ausgeklinkten Unterzug aufgelegt werden kann. Dadurch wird die Gesamthöhe der Konstruktion minimiert.

Für alle weiteren Anschlüsse der Bauteile können gängige Verbindungen im Holzbau verwendet werden. Einige dieser Verbindungen wurden bereits im Konzept 1 unter Kapitel 4.4, S.27 (z. B. der „Knochen“ gemäß Abbildung 16 und Abbildung 23) vorgestellt.

Abbildung 23:
Modell des
Knochens

Das Ziel war es, die Konstruktionshöhe so gering wie möglich zu halten und gleichzeitig einen einfachen Anschluss der Brettsperrholzelemente an die Unterzüge zu gewährleisten.

”

Abbildung 24:
Modell des Stützen-
knotens von Konzept 2

Fast+Epp

5.6 ZUSAMMENFASSUNG KONZEPT 2

- Große Stützenraster inkl. Parkgaragen mit kleineren Holz-Querschnitten
- Darüberliegende Bebauung ohne zusätzliche aufwendige Abfangebene
- Flexible Grundrissgestaltung (L- oder U-Grundrisse, Innenhöfe, Versprünge)
- Gebäude bis zu 8 Geschossen
- Wirtschaftlicher und nachhaltiger als Stahlbeton oder Stahl
- Wohn- und Büronutzung, Parkgaragen, Einzelhandelsflächen, Versammlungsräume (z.B. Kindertagesstätten)
- Für Neubauten, aber auch Überbauung von Parkplätzen, Aufstockung von Parkhäusern, innerstädtische Supermarktfächen
- Erhöhung der Nutzfläche, Vermeidung neuer Flächenversiegelung
- Reduktion der Höhe tragender Bauteile, Kostensenkung für Fassaden und nichttragende Bauteile
- Aufgrund deckengleicher Holz-Unterzüge:
 - flexible Integration der TGA unter den Decken
 - Zusätzliches Geschoss möglich bei annähernd gleichbleibender Gebäudehöhe.
- Reines Holzsystem ohne zusätzlichen Stahl oder Beton (exkl. Gründung)
- Brandschutz bis Gebäudeklasse 5
- Anforderungen des Schallschutzes sind erfüllt
- Vorteile von Laubholz werden genutzt: u.a. höhere Festigkeiten, geringere Abbrandrate
- innovative Knotenpunkt „Waagebalken“:
 - Verwendung von Buchen-Furnierschichtholz, keine aufwendigen Stahlschlüsse
 - Effektive Lastweiterleitung
 - Ideale Materialausnutzung
- Hohe Rückbaubarkeit und einfache und schnelle Montage, durch Holz-Holz-Verbindungen

6 Fazit

Das Ziel dieses Projekts und des Leitfadens ist die Entwicklung eines zukunftsfähigen Tragwerkskonzepts für Wohnbauten. Dabei wird die Unterstützung des klimaangepassten Waldumbaus zu Mischwäldern angestrebt, um die Anpassung der Wälder an das Klima zu fördern. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Steigerung des Laubholzanteils in der Baubranche, um die Nutzung des steigenden Laubholzanteil am Markt zu erhöhen.

Es werden zwei Konzepte entwickelt, die eine flexible Nutzung und Umnutzung der Grundrisse ermöglichen. Die Holzskelettbauweise wird dabei für die materialeffizienten Primärtragwerke eingesetzt. Zudem erfolgt eine Bewertung der Vor- und Nachteile verschiedener Laubholzarten, um die besten Optionen und Einsatzmöglichkeiten zu identifizieren.

Ein wichtiger Aspekt ist die städtebauliche Nachverdichtung, die durch eine nachhaltige Alternative zum konventionellen Skelett-Neubau aus Stahlbeton unterstützt wird.

Das Konzept des zirkulären Bauens wird implementiert, um eine hohe Rückbaubarkeit und Wiederverwendung der Bauteile zu gewährleisten. Die Montage erfolgt simpel und schnell mit steckbaren Holz-Holz-Verbindungen und einem hohen Vorfertigungsgrad.

Das erste Konzept zielt auf die Optimierung des Materialverbrauchs und ein effizientes Stützenraster ab. Das zweite Konzept fokussiert sich auf die multifunktionale Nutzung von urbanen Flächen, einschließlich der PKW-Parkplätze. Durch die Nutzung von Laubholz-Unterzügen können Raumhöhe bzw. Gebäudehöhe und somit Kosten eingespart werden.

Die Holzbauweise der entwickelten Konzepte ist nur geringfügig teurer als die Betonbauweise (siehe Abbildung 25), bietet jedoch erhebliche Umweltvorteile. Die Holzvarianten sparen etwa zwei Drittel des Global Warming Potentials im Vergleich zu Stahlbeton. Zudem wird der Lebenszyklus der Gebäude und Bauteile deutlich verlängert, was zur weiteren Kostenreduzierung beiträgt.

Damit ist die Holzskelettbauweise eine wirtschaftliche Alternative zur Betonbauweise, welche mit der zunehmenden CO₂-Bepreisung in den nächsten Jahren auch für Investoren noch interessanter werden wird. Die Nachhaltigkeit und die positive Atmosphäre eines Holzbaus machen sie schon heute zu einer perfekten Lösung für die städtische Nachverdichtung.

Detaillierte Informationen zu dem Forschungsprojekt sind dem Abschlussbericht vom 18.12.2024 zu entnehmen.

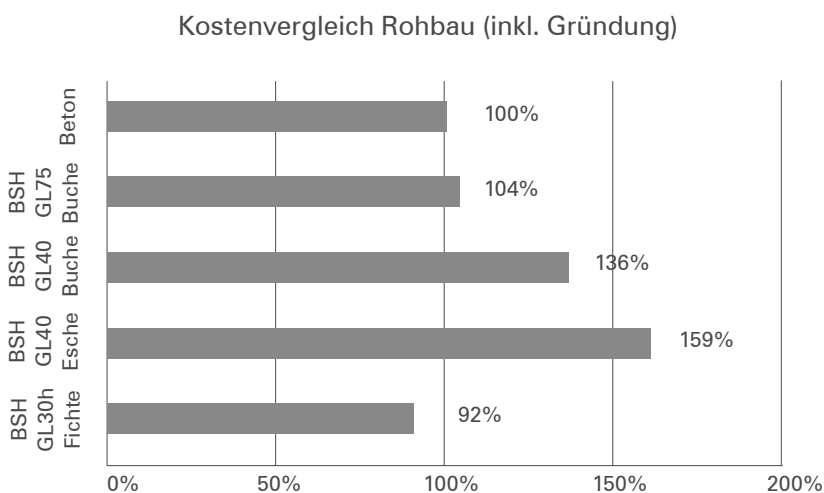


Abbildung 25:
Kostenvergleich
Rohbau
(inkl. Gründung)

ABBILDUNGEN

Abbildung 1: Entwicklung der Bauwerkskosten im Wohnungsneubau von 2000 bis 2023 ^[1]	7
Abbildung 2: Die wichtigsten Laubholzarten in Europa ^[4]	9
Abbildung 3: Holzvorrat nach Baumartengruppen in Deutschland ^[5]	9
Abbildung 4: Vergleich unterschiedlicher Materialien hinsichtlich der Bauteilmenge für Konzept 1	10
Abbildung 5: Vergleich Materialien hinsichtlich der gesamten Kosten des Rohbaus für Konzept 1	11
Abbildung 6: Lebenszyklusphasen ^[6]	13
Abbildung 7: Vergleich Treibhauspotential der Bauteile über verschiedene Materialien für Konzept 1	14
Abbildung 8: Beispielhafte Anordnung der TGA-Leitungen bei Konzept 1	17
Abbildung 9: Beispielhafte Anordnung der TGA-Leitungen bei Konzept 2	17
Abbildung 10: Grundrissvariante Büronutzung für Konzept 1	20
Abbildung 11: Grundrissvariante Wohnnutzung für Konzept 1	20
Abbildung 12: Grundrissvariationen Konzept 1	21
Abbildung 13: Diagramm „Volumen der BSP-Decken zur Deckenspannweite Ly“	23
Abbildung 14: Modell des Stützenknotens mit Unterzügen (links) und ausgeführte Ausgeklinte Stütze (Neubau Kreisverwaltung Ingelheim, TWP: Fast+Epp) (rechts)	27
Abbildung 15: Schub- und Zugverbindung aus Holz der aussteifenden Wände	28
Abbildung 16: Zug-Anschluss Wand an Wand mit „Knochen“	30
Abbildung 17: Stützendetail mit Waagebalken	31
Abbildung 18: Grundrissvariante Wohnnutzung für Konzept 2	33
Abbildung 19: Grundrissvariante PKW-Garage für Konzept 2	33
Abbildung 20: Freie Verlegung der TGA-Leitungen bei Konzept 2	34
Abbildung 21: Bodenaufbau bei Büronutzung für Konzept 2	35
Abbildung 22: Schnitt durch liegenden Unterzug und Waagebalken	36
Abbildung 23: Modell des Knochens	37
Abbildung 24: Modell des Stützenknotens von Konzept 2	38
Abbildung 25: Kostenvergleich Rohbau (inkl. Gründung)	37

TABELLEN

Tabelle 1: Konzept 1	19
Tabelle 2: Vergleich Anschlüsse für Aussteifung	25
Tabelle 3: Konzept 2	29

LITERATUR

- [1] Walberg, D.; Gniechwitz, T.; Paare, K. et al.: Wohnungsbau 2024 in Deutschland_Kosten-Bedarf-Standards – Die Krise als Einbahnstraße? In: Bauforschungsbericht (2024), Heft 88.
- [2] BauNetz. Holzarten und ihre Verbreitung | Holz | Grundlagen | Baunetz_Wissen [online]. In: Bau-Netz [Zugriff am: 29.05.2024], <https://www.baunetzwissen.de/holz/fachwissen/werkstoff-holz/holzarten-und-ihre-verbreitung-6967706>.
- [3] Demanega, M.: Strukturelle Unterschiede zwischen Nadelholz und Laubholz, 2022, <https://demanega.com/2022/12/27/strukturelle-unterschiede-zwischen-nadelholz-und-laubholz/> [Zugriff am: 13.08.2024].
- [4] Laubholz Plus - Laubholzinitiative des DeSH: Laubholz Plus - Laubholzinitiative des DeSH | Laubholz in Deutschland, 2022, <https://laubholz.plus/> [Zugriff am: 06.08.2024].
- [5] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.: Kennzahlenbericht 2022/2023.
- [6] Attitude Building Collective e.V.: Ökobilanzierung in der Tragwerksplanung – Entwurfstafeln Ausgabe Oktober 2024.
- [7] DIN EN 15643. Ausgabe Dezember 2021.
- [8] Bienert, L.; Schuhmacher, N.; Winter, S. et al. (Hrsg.): Development of Disintegrated Hybrid Cross Laminated Timber. Technical University of Munich, Heft 19907,, 2023.
- [9] X-fix Holzverbinder: X-fix metallfreie hochbelastbare selbst spannende Holzverbinder, 2024, <https://x-fix.at/> [Zugriff am: 03.05.2024].

Fast + Epp

