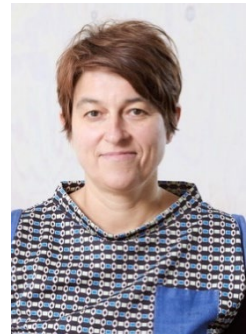
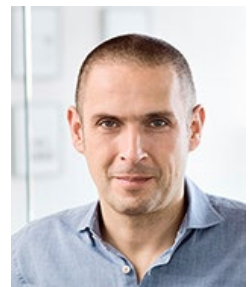


# LowTech und kreislaufgerecht – Holzbauquartiere und ihre ökologischen Folgewirkungen

Prof. Andrea Klinge  
Konstruieren und Entwerfen Karlsruher | Institut für Technologie (KIT)  
ZRS Architekten Ingenieure  
Berlin, Deutschland  
© Phillip Zwanzig



Prof. Eike Roswag-Klinge  
Natural Building Lab | Technische Universität Berlin  
ZRS Architekten Ingenieure  
Berlin, Deutschland  
© Daniela Friebe



M.Sc. Eve Gericke  
ZRS Architekten Ingenieure  
Berlin, Deutschland  
© ZRS





# LowTech und kreislaufgerecht – Holzbauquartiere und ihre ökologischen Folgewirkungen



Abbildung 1: KoKoni One, Wohnquartier in kreislaufgerechter Holzbauweise, Berlin, Bauphase 2023 (Quelle ZRS)

## Abstract

Aufgrund der aktuellen Diskussion um die Verknappung von Ressourcen und dem menschengemachten Klimagasemissionen erfährt der Holzbau in Europa eine Renaissance. Als nachwachsender Rohstoff kann Holz emissionsintensive Baustoffe ersetzen und, wenn es langfristig (mindestens zehn Jahre) in gleicher Nutzung/ im Gebäude belassen wird und zu negativen Bilanzen, d.h. Kohlenstoffsinken in der Errichtungsphase führen (LCA-Phase A1-A3). Dies bedeutet, dass in der Konstruktion mehr Kohlenstoff gespeichert werden könnte, als bei der Herstellung emittiert wird. Der Holzbau trägt auf zwei Pfaden zum aktuellen Diskurs bei und eröffnet so Lösungsansätze zum klimagerechten bzw. klimaanangepassten Bauen.

Durch die Fähigkeit von Holz und andern Naturbaustoffen Feuchte aufzunehmen und abzugeben, also die Raumluftheuchte zu steuern, kann in Verbindung mit diffusionsoffenen Konstruktionen auf raumluftechnische Anlagen verzichtet und können LowTech Gebäude ermöglicht werden. Dies trägt zu gesünderen und ganzheitlich ökologischeren Gebäuden bei.

Die Kreislaufgerechtigkeit ist ein weites Feld, das die Grundlage des historischen Holzbaus bis vor dem Zeitalter des industriellen Holzbaus bildete. Einige der Parameter wie die Rückbaufähigkeit haben weiterhin Optimierungspotential, um eine umfassende Kreislauffähigkeit im modernen Holzbau nachweisen zu können. Auch die Frage der Klimaneutralität von Gebäuden und der Schaffung potentieller Klimasenken, müssen wissenschaftlich belegt werden. Dieser Artikel analysiert diese Schwerpunktthemen und zeigt deren Umsetzung in der Baupraxis.

### Schlagworte:

Klimawirkungen von Holz als Baustoff, LowTech Bauen, klimaneutrale Gebäude, Ökobilanzierung (LCA), Holzbauquartiere, Naturbaustoffe

## 1. Einführung – Kontext

Der Bausektor ist in Deutschland für 40 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich<sup>[1]</sup>. Darüber hinaus werden 90 % der Entnahmen von mineralischen Rohstoffen durch die Bauwirtschaft getätigt<sup>[2]</sup>. Das Umweltbundesamt (UBA) fordert in der RESCUE-Studie 2019 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 95% und eine Reduktion der Rohstoffentnahme um 60% bis 2050<sup>[3]</sup>. Folglich muss der Bausektor bis 2050 massiv umgestaltet werden, um

ein Leben innerhalb der planetarischen Grenzen zu ermöglichen. Das Ziel des Bauens mit Holz ist es, Städte als Kohlenstoffsenken zu gestalten<sup>[4]</sup> und den Bausektor zu dekarbonisieren. Verschiedene Bundesländer und Städte starten Initiativen für den Holzbau und gleichen ihre Vergaberichtlinien entsprechend an<sup>[5]</sup>. Der Trend zum Holzbau spiegelt sich auch in den aktuellen Zahlen der Baugenehmigungen wider. Rund 20 % aller Baugenehmigungen in Deutschland betreffen heute Gebäude, bei denen überwiegend Holz als Baustoff verwendet wird<sup>[6]</sup>.

Der Anteil wächst kontinuierlich, wobei der Schwerpunkt derzeit bei Wohngebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3, also bei Einfamilien- und Reihenhäusern, liegt und erst langsam den Geschossbau erreicht. Das Thema Klimagasneutralität im Gebäudesektor hat sich im Laufe der Jahre auf die Betriebsphase und damit auf die Reduzierung des Energiebedarfs und -angebots durch erneuerbare Energien konzentriert. Mit der zunehmenden Erreichung dieser Ziele im Bereich des Neubaus und der Komplettisanierung von Gebäuden rückt nun die Entstehung von Treibhausgasen während des Baus und der Instandhaltung, die sogenannte graue Energie, in den Fokus.

Im Rahmen von ganzheitlichen Betrachtungen wie dem «Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)» des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bau (BMWSB)<sup>[7]</sup> werden Lebenszyklusanalysen (LCA) durchgeführt und die Klimagasemissionen während des Baus, des Betriebs und am Ende des Lebenszyklus betrachtet. Diese werden zunehmend als verpflichtender Bestandteil von Bauprojekten der öffentlichen Hand angewendet<sup>[5]</sup>.

Über die Forderung zur Reduktion des Energieverbrauchs wurden Gebäude in Deutschland in den letzten Jahrzehnten immer besser gedämmt und luftdichter gebaut und aus diesem Grund mit Lüftungstechnik ausgestattet. Die zunehmende Technisierung führt in der Praxis nicht zu den gewünschten Einsparungen<sup>[8]</sup> weshalb sich ein kritischer Diskurs entwickelt, den z.B. das vom Natural Building Lab und BBSR organisierte LowTech Symposium widerspiegelt<sup>[9]</sup>. Sorptionsfähige Naturbaustoffe wie Holz, Naturfasern einjähriger Pflanzen und Lehm ermöglichen klimasteuernde Gebäudehüllen und über diese den Verzicht auf Lüftungstechnik bzw. den Wechsel zur freien Lüftung über offenbare Fenster. Dieser Lösungsansatz ermöglicht eine signifikante Reduktion des materiellen Ressourceneinsatzes in Errichtung, Wartung und Austausch und reduziert zudem die Betriebskosten.

Die Reduktion der Entnahme von Rohstoffen und die Vermeidung von Emissionen in der Errichtungsphase<sup>[3]</sup> rückt zunehmend in den Fokus der Forschung und deren praktischen Umsetzung. Aktuell stehen das zirkuläre Bauen und das Recycling stark im öffentlichen Diskurs. Das Bauen muss jedoch ganzheitlicher gedacht und transformiert werden. Das kreislaufgerechte Bauen muss von der Planung bis zur Umsetzung und dann entlang aller Lebenszyklusphasen und Wertschöpfungsketten kreislaufgerecht umgesetzt werden. Dies wird eine komplette Neuausrichtung der Bauwirtschaft erfordern.

Der Holzbau ist traditionell immer kreislaufgerecht gewesen. So wurde z.B. die Torfremise in Schechen bei Rosenheim nachweislich in ihrer mehr als zweihundertjährigen Geschichte mindestens dreimal komplett rückgebaut und voraussichtlich auch transloziert<sup>[10]</sup>. Aktuelle Holzbauweisen sind vielen konventionellen Bauweisen in Fragen der Kreislaufgerechtigkeit weit überlegen, jedoch besteht auch bei vielen aktuellen insbesondere Verbindungstechniken bzw. Konstruktionsprinzipien noch viel Optimierungspotential.

Die wissenschaftliche Bewertung der Umweltfolgewirkungen erfolgt aktuell im wesentlichen anhand von Lebenszyklusanalysen (LCA). Das Natural Building Lab hat hierzu die Gebäude von sogenannten Holzbauquartieren analysiert<sup>[11]</sup> und ausgewertet. Bilanziert man Holzgebäude ohne die sie umgebende Infrastruktur können sie klimaneutral errichtet werden. Das Holz kann in der Errichtungsphase (LCA Modul A) die z.B. durch die Betongründung, Glas etc. entstehenden Emissionen kompensieren und bedingt eine CO<sub>2</sub> Senke erzeugen. Diese belegend die in der Folge dargestellten bzw. in der Studie zu Holzbauquartieren analysierten Gebäude.

## 2. LowTech Gebäude aus Naturbaustoffen

Das LowTech Bauen bietet ein breites Spektrum an Möglichkeiten<sup>[9]</sup>, angefangen von der Materialverwendung über die Konstruktion bis zu Gebäudetechnikkonzepten. Der Holzbau und das Bauen mit Naturbaustoffen haben Schwerpunkte in allen drei Bereichen. Historisch sind die Bauweisen und Konstruktionen handwerklich sehr einfach, robust also als LowTech zu bewerten. Aktuelle Konstruktionsweisen im Holzbau sind aufgrund unterschiedlichster technischer Anforderungen oftmals vielschichtig und komplex. In diesem Bereich gibt es einiges zu optimieren, dies müsste im besten Falle parallel zu einer Reduktion der technischen Anforderungen erfolgen. Beispiel hierfür ist der aktuelle Diskurs um sichtbare, auf Abbrand berechnete Holzbaukonstruktionen, die auf Bekleidungen mit Gips verzichten können.

An dieser Stelle wollen wir uns aber mit der bauklimatischen Wirkung von Holz- und Naturbauprodukten auseinandersetzen. In der Bauphysikalischen Performance von Naturbaustoffen liegt ein großes bislang nicht ausreichend genutztes Potential.

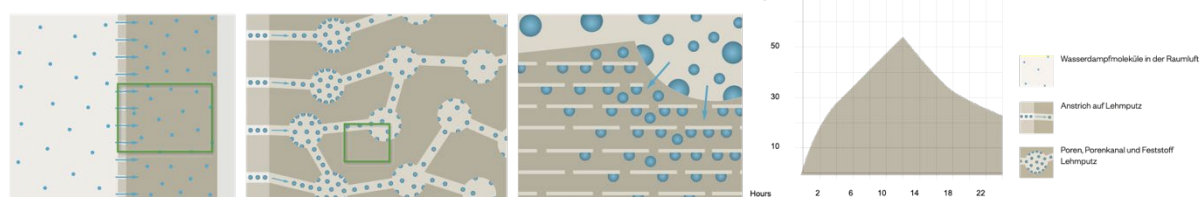
### 2.1. Klimaangepasstes Entwerfen

Die intensive Technisierung von Gebäuden hängt mit der Erschließung fossiler Energieressourcen wie Öl und Gas während der Industrialisierung des 19. Jahrhundert zusammen. Erst mit dieser Energie zum Beheizen und Kühlen von Gebäuden und der Entwicklung von Stahlbeton und der massenhaften Produktion von Glas wurde die Moderne mit Ihren verglasten Fassaden und das vertikale Bauen unserer Zeit ermöglicht. Der Bauboom und der Aufwuchs der entsprechenden industriellen Kapazitäten nach dem 2. Weltkrieg führten diese Technologien als Standard ein und verdrängten traditionelles Denken und Handeln im Bauwesen.

Grundlage des LowTech Bauens ist ein klimagerechtes Entwerfen. Wollen wir Gebäudetechnik reduzieren geht dies nur, wenn wir den Bedarf an raumklimatischer Konditionierung durch technische Systeme reduzieren. Im Wesentlichen geht es um eine angemessenen Tageslichtversorgung und einen möglichst geringen Glasanteil um klimatische Schwankungen, insbesondere sommerliche Überhitzung zu verhindern. Hierzu ist die Ausrichtung des Gebäudes, die Organisation der Grundrisse sowie die Größe und Lage von Verglasungen zu beachten.

Graphische Darstellung der Luftfeuchtesorption

Lehmputze



Zementputze

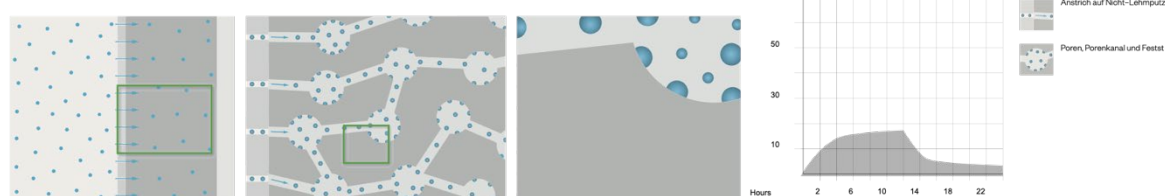


Abbildung 2: Sorptionsverhalten von Lehm- und Kalkzementputzen nach DIN 18947 (Quelle ZRS, Ch Liebert)

### 2.2. Feuchtesteuernde Baustoffe

Holz, weitere teilweise auch einjährige Naturfaserpflanzen wie Hanf, Getreidestroh und Lehm weisen ein sehr hohes Sorptionspotential auf. Sie können auf eine sich ändernde Luftfeuchte reagieren und so Feuchtestress in Innenräumen abpuffern. Die Erfassung und

Bewertung des Sorptionsvermögens von Baustoffen ist in DIN 18947 Lehmputzmörtel dargestellt. Das EU-Forschungsvorhaben [H]house<sup>[12]</sup> hat Serientests für ein sehr breites Spektrum an Naturbaustoffen durchgeführt und veröffentlicht. Zudem wurden im Rahmen des Vorhabens diverse Innenwandsysteme konzipiert und getestet.

### 2.3. Diffusionsoffene, Klimasteuernde Gebäudehüllen

Im Holzbau sind heute diffusionsoffene Bauweisen ohne Dampfsperren der Standard. Der Wasserdampfdiffusionswiderstand muss sich in den Bauteilschichten von Innen nach Außen reduzieren, um im Winter Kondensatausfall im Bauteil zu verhindern. Die Kombination von Holztragwerken, gedämmt und bekleidet mit Naturfaserprodukten ist im Idealfall innseitig mit Lehm bekleidet und auf der Außenseite als hinterlüftete Fassade ausgeführt. In den Innenwänden kann zusätzliche Speichermasse in Form von Lehm (z.B. Lehmsteine) zum Einsatz kommen.



Abbildung 3: Torfremise, Schechen, LowTech Bausystem aus Holz und Lehm (Quelle ZRS)

### 2.4. Holz-Lehm Bausystem

Ein optimales Gebäudesystem ergibt sich aus einer hoch gedämmten diffusionsoffenen Gebäudehülle aus Holz, Naturfasern und Lehm sowie einem angemessenen Glasanteil der im Sommerfall eine Überhitzung verhindert. Bei zweimaligen Stoßlüften pro Tag können Wohnungen so ohne Lüftungsanlage realisiert und auf Lüftungstechnik verzichtet werden<sup>[13]</sup>.

(Quelle: ZRS, 2019)

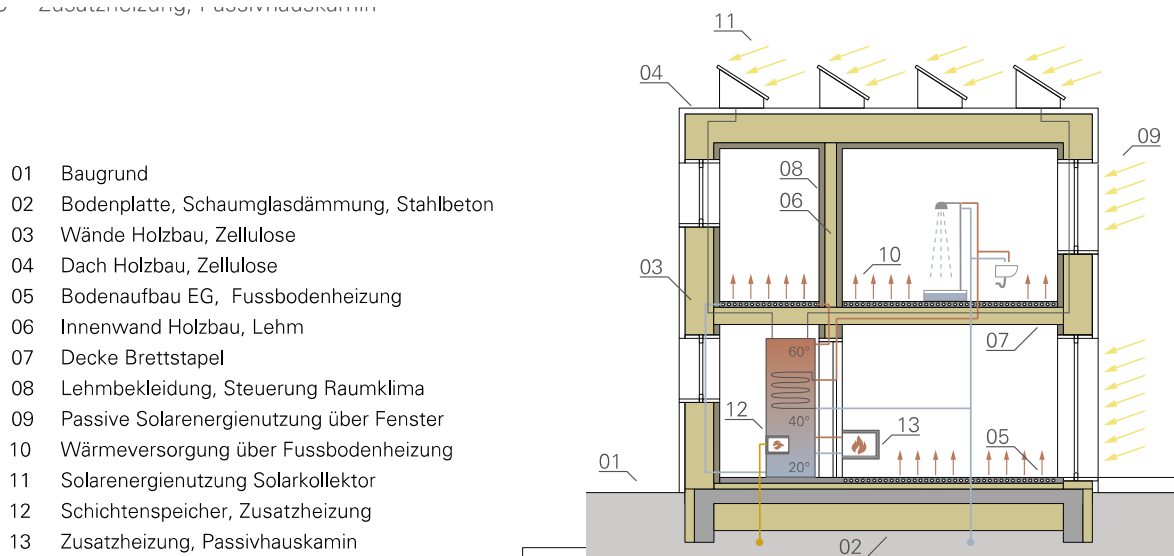


Abbildung 4: Klimaaktives LowTech Bausystem aus Holz, Naturfasern und Lehm (Quelle ZRS)

### 3. Kreislaufgerechtigkeit im Holzbau

Kreislaufgerechtigkeit muss im Rahmen der Planung und Realisierung in unterschiedlichen Phasen und Ebenen betrachtet werden. Je nach Ausgangspunkt ob man z.B. bestehende Ressourcen oder Elemente nutzt oder ob man mit neuem Material arbeitet entstehen Rahmenbedingungen, die ab dem ersten Moment mitgedacht werden müssen. Auf der Ebene der Konstruktionen und Materialien müssen Materialkreisläufe und Wertschöpfungsketten von Beginn an mitgedacht werden um Gebäude ganzheitlich kreislaufgerecht zu halten. Historisch waren z.B. Fachwerkhäuser aus Holz und Lehm aufgrund ihrer Materialität und reversibler und robuster Verbindungstechniken komplett rückbaufähig und translozierbar.

#### 3.1. Kreislaufgerecht entwerfen, räumlich

In einer frühen Planungsphase sollte der Rohbau möglichst flexibel konzipiert werden, um sich über sehr lange Zeiträume an sich ändernde Nutzungen oder Nutzungsbedingungen anpassen zu können. Diese «infrastructure of change» sollte mit einer unendlichen Lebensdauer konzipiert sein, da im Rohbau bis zu 70% der aufzuwendenden Ressourcen verbaut werden. Ideal sind für sich wandelnde Nutzungsansprüche Skelettbauten. Diese sind nach aktuellem Recht in Deutschland bis zur Gebäudeklasse (GK) 5 in reiner Holzbauweise realisierbar. Gängige Praxis in GK 4 und 5 und über die Hochhausgrenze hinaus sind in Deutschland hybride Tragwerke aus Holz, Beton und mitunter auch Stahl. Ausbauten des Raumabschlusses und des Innenausbaus sollten als Einzelelemente rückbaufähig und umbaufähig sein um Anpassungen in der Nutzungsphase über Jahrzehnte zuzulassen.

#### Erhöhung der Lebensdauer von Gebäuden:

- Tragwerk in Skelettbauweise, ermöglicht flexible und adaptive Grundrisse schafft
- Einfache Montage und Demontage des Tragwerks und der Gebäudehülle
- Reversible Verbindungen

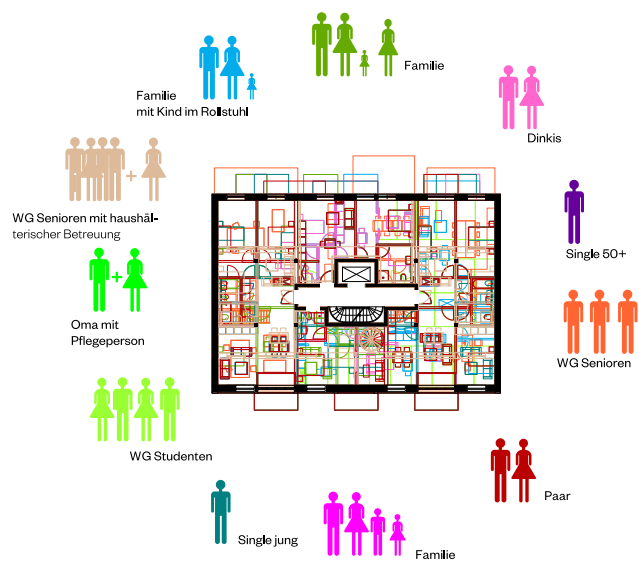


Abbildung 5: Konzeptverfahren Schöneberger Linse, Berlin, flexible Grundrisskonzeption (Quelle ZRS)

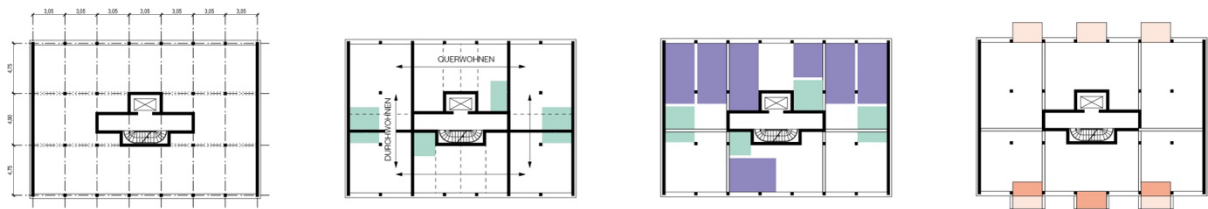


Abbildung 6: Schöneberger Linse, Berlin, Holzskelett, Anordnung Schächte, schaltbare Grundrisse (Quelle ZRS)

#### 3.2. Kreislaufgerecht entwerfen, Konstruktiv

Skelette sind im Holzbau sehr analog zum Stahlbetonbau aus einem aussteifenden Kern in Holzmassivbauweise meist Brettspertholz und eine einem Skelett aus Stützen und Unterzügen meist in Brettschichtholz zu realisieren. Bei höheren Gebäuden ist es üblich auch aussteifende Felder in den Außenwänden anzuordnen oder die Aussteifung komplett in die Außenwand zu legen.

Der Moderne Holzbau kennt viele Verbindungsmittel wie Nagelbleche, Kammnägeln, Konstruktionsvollschrauben oder Verbindungstechniken im Holz-Beton-Verbundbau, die nicht oder nur sehr schwer lösbar und rückbaufähig sind. Insbesondere in der Ausbildung von Knotenpunkten im Skelettbau wird oft auf Stahl-Einbauteile zurückgegriffen die nach Jahrzehnten im eingebauten Zustand nur schwer zu lösen und damit rückbaufähig sein werden. Zunehmend kommen Verbindungstechniken auf den Markt die langfristig reversibel sein werden.

Ein anderer Trend sind leimfreie Konstruktionen. So entstehen zunehmend hochleistungsfähige Produkte die nicht mehr verleimt, sondern mit Dübeln verbunden sind. Wesentlich robuster wären Massivholzkonstruktionen, die die auf Leim und Metallverbindungen verzichten. Diese müssen sich in den Spannweiten reduzieren und wären für die Holz-Holz-Verbindungen sicher auch stärker dimensioniert. Im Ausbau steht der Verzicht auf Verklebungen und geschraubte Verbindungen im Vordergrund.

Gründung bleiben bislang ressourcenintensiv, da hier in vielen Fällen nicht auf Beton verzichtet werden kann. Hier lohnt es die Betonbauteile zu optimieren und z.B. bewehrungsfreie Bodenplatten oder schwebende Gründungen z.B. mit Schraubfundamenten zu realisieren. Diese sind in der Leistungsfähigkeit und der Gebäudehöhe begrenzt.

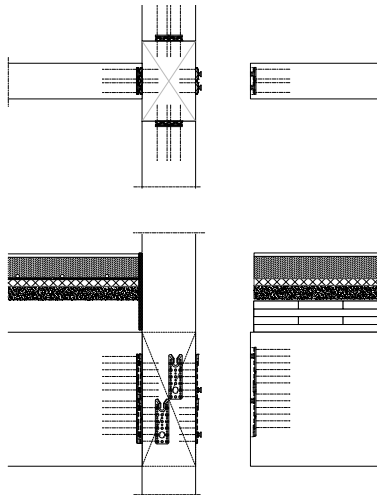


Abbildung 7: Konrad Zuse Schule, Berlin, reversibler Knotenpunkt Stütze – Unterzug – Decke (Quelle ZRS)

### 3.3. Kreislaufgerechte Materialien

Holz und Holzwerkstoffe stehen im Bereich des Tragwerkes und der raumabschließenden Bauteile im Vordergrund. Die Leistungsfähigkeit der Skelette ist bis zu über 80 m Gebäudehöhe nachgewiesen und gebaut, es finden sich gerade Gebäude mit bis zu 130 m Höhe in Realisierung. Das Projekt Plyscraper W350 soll in den 2040er Jahren mit 350 m Höhe in Japan realisiert werden. Wie ganzheitlich kreislaufgerecht diese Projekte dann noch sind bleibt nachzuweisen.

Wenn von Holz-Beton Hybridbau gesprochen wird meint dies gemischte Konstruktionen aus Holz und Beton. Betrachtet man im Rahmen der Lebenszyklusbetrachtungen die Systemgrenze Gebäude müssen alle notwendigen baulichen Maßnahmen inkl. der Gründung betrachtet werden. Im Betrachtungsmodell des Natural Building Lab sprechen wir von Holzbauten, wenn die nicht erdberührenden Bauteile im Wesentlichen in Holz ausgeführt sind. Von Holz-Beton-Hybridbau sprechen wir, wenn der Beton Teile der nicht erdberührenden Bauteile z.B. in einem Kern aus Beton oder in Holz-Beton-Verbunddecken geplant oder ausgeführt sind. Hier muss das im Gesamtgebäude inkl. Gründung dominante Material im Volumen der Konstruktion zuerst genannt werden. In diesem Sinne sind sehr viele Hybridbauten heute aufgrund des hohen Betonanteils als Beton-Holz-Hybridbauten zu bezeichnen. Im optimalen, kreislaufgerechten Lowtech Gebäude aus Naturbaustoffen kommt neben Holz und Naturfasern noch Lehm als inneres Bekleidungsmaterial sowie als Speichermasse in den Ausfachungen der Innenwände zum Einsatz.

## 4. Bewertung von Gebäuden und Quartieren – Ausblick

Das Natural Building Lab hat in einer Studie drei Holzbauquartiere in Berlin und Bremen anhand von Lebenszyklusberechnungen (LCA) für die Kostengruppe 300 in ihrer ökologischen Wirkung bewertet. Im Zentrum der Betrachtung stand die Errichtungsphase (Modul A) um den potentiellen Kohlenstoffspeicher zu berechnen. Als Systemgrenze wurden die Gebäude ohne die sie umgebende Infrastruktur, Straßen etc. berechnet. Untersucht wurden verschiedene Gebäude vom Reihenhauses bis zum Hochhaus, die als Holzbauten geplant sind. Für alle Gebäude wurden die aktuelle Bauweise gem. Stand der Planung, mit einer konventionellen sowie einer Holzbau<sup>+</sup> Variante (maximal möglicher Holzeinsatz in der Gebäudehülle) verglichen. Die Berechnungen wurden mit eLCA, dem LCA-Tool des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) und den Datensätzen der deutschen ÖKOBAU-DAT<sup>[14]</sup> durchgeführt. Die Ergebnisse werden pro m<sup>2</sup> Bruttogeschossfläche pro Nutzer\*in, pro Gebäude und pro Quartier angegeben. Die Untersuchungen zeigen, welche Bedeutung die Materialwahl für die Klimagasemissionen der Gebäude hat und wie hoch der Holzanteil sein muss, um die Gebäudehülle (KG 300) klimagasneutral zu gestalten. Aus der Analyse werden Planungsparameter für eine klimagasneutrale Planung und Ausführung von Gebäuden abgeleitet.



Abb. 8: KoKoni One, Berlin; Ellener Hof, Bremen; Schumacherquartier, Berlin-Tegel  
(Quellen ZRS, [www.stadtleben-ellenerhof.de](http://www.stadtleben-ellenerhof.de), [www.schumacher-quartier.de](http://www.schumacher-quartier.de))

### 4.1. Ellener Hof, Bremen

Der Ellener Hof ist ein gemischtes Neubauquartier in dicht besiedelter Lage. Auf einer Fläche von fast 10 Hektar entstehen ca. 500 Wohnungen für unterschiedliche Alters- und Einkommensgruppen. Ziel ist es, ein Modellquartier in Holzbauweise zu errichten. Geplant ist ein Holzanteil von 70%, bezogen auf das Volumen der nicht erdberührten Bauteile (Konstruktion und Wärmedämmung). Basierend auf dem städtebaulichen Entwurf von DeZwarteHond entstehen auf 15 Baufeldern unterschiedliche Wohntypologien, vom «BremerHaus», einer besonderen Form des Reihenhauses in der Gebäudeklasse 3, über Geschosswohnungsbau in der Gebäudeklasse 4 bis hin zu einem Studentenwohnheim in der Gebäudeklasse 5. Aufgrund der Vielzahl von Bauherr\*innen und Planer\*innen entstehen auch konstruktiv sehr unterschiedliche Gebäude mit stark differenzierendem Holzanteil. Der Ellener Hof ist aktuell zu mehr als 50% gebaut.



#### 4.2. Schumacher Quartier, Berlin-Tegel

### 4.3. KoKoni One, Berlin-Buchholz

#### 4.4. Ausblick

Der Trend zum reinen Holzbau muss dringend verstärkt werden. Zudem muss der Bereich Gründungen weiter optimiert werden. Zielführender ist es leerstehende Gebäude zu transformieren und aufzustocken, also bestehende Gründungen zu nutzen und nicht neu zu bauen. Eine weitere Option besteht in dem Bauen mit Altholz und anderen Abfallstoffen. Hier liegen große Potentiale, der Bereich ist bislang aber sehr wenig erforscht geschweige denn in der Praxis normkonform umsetzbar.

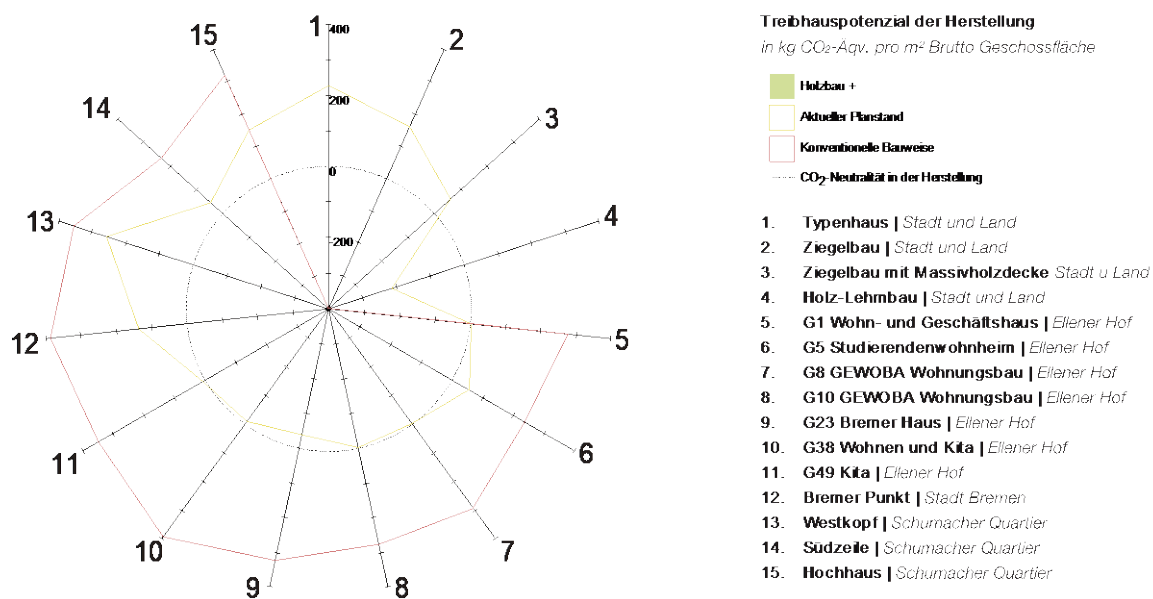


Abbildung 10: Vergleich unterschiedlicher Gebäudetypen aus allen Quartieren und der Stadt und Land (Quelle ZRS)

## 5. Quellenangaben

- [1] <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2020/bbsr-online-17-2020-dl.pdf> (zuletzt besucht am 11.11.2023)
- [2] [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Monatsbericht/Monatsbericht-Themen/2018-09-bauen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Monatsbericht/Monatsbericht-Themen/2018-09-bauen.pdf?__blob=publicationFile&v=6) (zuletzt besucht am 11.11.2023)
- [3] Günther J, Lehmann H, Lorenz U und Pur K, 2019 Umweltbundesamt, Den Weg zu einem treibhausgasneutralen Deutschland ressourcenschonend gestalten ISSN 1862-4359
- [4] Churkina G, Organschi A, Reyer C, Ruff A, Vinke K, Lin Z, Reck B, T. E. Graedel T und Schellnhuber H, 2020, Nature Sustainability, Buildings as a global carbon sink, 2020 3, 269-276
- [5] <https://www.berlin.de/nachhaltige-beschaffung/recht/> Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt – VwVBU (zuletzt besucht am 1.1.2023)
- [6] Lagebericht 2021, Holzbau Deutschland – Bund Deutscher Zimmermeister im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e. V., Kronenstraße 55 - 58, 10117 Berlin
- [7] <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de> (zuletzt besucht am 11.11.2023)
- [8] Endres, E. (2018). Parameterstudie Low-Tech Bürogebäude. Endbericht. Technische Universität München. Zukunft Bau (BBSR). SWD-10.08.18.7-16.65.
- [9] 2. Symposium LowTech im Gebäudebereich <https://www.nbl.berlin/projects/lowtech-im-gebäudebereich-symposium-2022/> (zuletzt besucht am 11.11.2023)
- [10] <https://www.zrs.berlin/project/wohnen-und-arbeiten-in-der-torfremise/> (zuletzt besucht am 11.11.2023)
- [11] E Roswag-Klinge, E Neumann and A Klinge, Climate impacts of wood/ timber as a building material – investigated on three urban quarters in Germany (CIW) <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1078/1/012029/meta> (zuletzt besucht am 11.11.2023)
- [12] <https://h-house-project.eu> (zuletzt besucht am 11.11.2023)
- [13] Andrea Klinge, Weniger Technik – mehr Gesundheit, in Low im Gebäudebereich ISBN 978-3-87994-300-5 (2019)
- [14] Ökobaudat [www.oekobaudat.de](http://www.oekobaudat.de) (zuletzt besucht am 11.11.2023)