

St. Gundekar-Werk Eichstätt GmbH

Entwicklung eines ressourcenschonenden Konstruktions-, Brandschutz- und Energiekonzepts im Holzhochhausbau als integraler Bestandteil des architektonischen Konzepts am Beispiel eines Holzhochhauses in Nürnberg-Langwasser

Abschlussbericht des Forschungsprojektes
Az: 34283/01-25 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Nürnberg, Februar 2019

St. Gundekar-Werk Eichstätt GmbH

Entwicklung eines ressourcenschonenden Konstruktions-, Brandschutz- und Energiekonzepts im Holzhochhausbau als integraler Bestandteil des architektonischen Konzepts am Beispiel eines Holzhochhauses in Nürnberg-Langwasser

Abschlussbericht des Forschungsprojektes
Az: 34283/01-25 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Peter-Stephan Englert, Prof. Thomas Auer, Prof. Stefan Winter, Stefan Behnisch, Daniele Santucci, David Selje, Stefan Burghard, Andreas Hipper, Simeon Genov, Robert Hösle, Maria Hirnsperger, Laura Baldelli, Aran Healy, Martin Engelhardt, Vu Hoang, Alexander Knirsch

Nürnberg, Februar 2019

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	34283/01-25	Referat	Fördersumme	102.824,00 €
Antragstitel	Entwicklung eines ressourcenschonenden Konstruktions-, Brandschutz- und Energiekonzepts im Holzhochhausbau als integraler Bestandteil des architektonischen Konzepts am Beispiel eines Holzhochhauses in Nürnberg-Langwasser			
Stichworte	Ressourcenoptimierung, Holzbauweise, Tageslichtoptimierung, Graue Energie			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
12	15.9.2017	31.01.2019	1	
Zwischenberichte	1			
Bewilligungsempfänger	ST. GUNDEKAR-WERK EICHSTÄTT Wohnungs- und Städtebaugesellschaft mbH Herr Peter Englert Penzendorfer Straße 20 91126 Schwabach	Tel	09122 309-10	
		Fax	09122 309-39	
		Projektleitung	Herr Peter Englert	
		Bearbeiter	Frau Karin Jellen	
Kooperationspartner	Technische Universität München Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen Prof. Thomas Auer Arcisstraße 21 80333 München			
Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens				
<p>Das Konzept für die Erweiterung des Wohnturms in der Leuschnerstraße nimmt die vorgegebenen, städtebaulichen Gegebenheiten auf. Es wird angestrebt, einen Ort der Begegnung zu schaffen. Auch die entstehende Bebauung und der vorgeschlagene Wohnungsmix aus temporären Wohnen, Reihenhäusern, und Sozialwohnungen sollen die soziale Durchmischung unterstützen. Ziel ist es öffentliche Plätze zu schaffen und die vorhandenen Spiel- und Freiflächen aufzuwerten.</p> <p>Die St. Gundekar Werk GmbH ist immer darauf bedacht Wohnraum für eine Vielzahl verschiedener Bewohner- und Haushaltsstrukturen anzubieten, mit preisgünstigen Mieten für Familien, Senioren und Studierende, Alleinerziehende und Personen mit Einschränkungen. Nachhaltiger Wohnungsbau orientiert sich neben der Energieeffizienz auch am sozialen Erfolg einer Baumaßnahme. Die Rücksicht auf das Sicherheitsempfinden der Nutzer, auf Nachbarschaftsbildung, auf Barrierefreiheit und Flexibilität in Anbetracht veränderlicher Nutzungen ist Folge zu leisten. Zudem ist der Einsatz qualitativ langlebiger Materialien sowie einer optimierte Tageslichtnutzung neben einem optimierten Primärenergieverbrauch wesentliche Faktoren, um den langanhaltenden Erfolg einer Wohnanlage zu gewährleisten.</p> <p>Das entstehende Parkhaus unterstützt diesen Gedanken, es soll eine Wohnstraße, eine Spielstraße, anstatt einer Autostraße entstehen. Um dies zu verwirklichen müssen die Autos aus dem öffentlichen Raum an einen definierten und architektonisch gestalteten Ort untergebracht werden. In der Planung ist derzeit ein viergeschossiges Parkhaus mit natürlicher Belüftung angedacht. Es gibt jedoch auch die Möglichkeit einen Teil der Stellplätze in einer Tiefgarage unterzubringen.</p> <p>Über das Parkhaus wird der Neubau mit dem Bestand verbunden, es entsteht eine neue, überdachte, barrierefreie und großzügige Eingangssituation.</p> <p>An der Leuschnerstraße, integriert in das Parkhaus, befindet sich das temporäre Wohnen. Es ist besonders für die Kurzzeitnutzung gedacht (Messe Nürnberg). Die Wohnungen werden direkt von der Straße oder über das Parkhaus erschlossen.</p> <p>Der Wohnturm wächst aus dem begrünten Parkhaus. Alle Wohnungen sind in zwei Richtungen orientiert, dadurch bieten sie eine optimale Belichtung und einen differenzierten Ausblick.</p>				

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Zielsetzung des Projektes für das Hochhaus in Nürnberg Langwasser ist es, ein Holzhochhaus in Holzhybridbauweise zu erstellen. Erbaut auf einer bereits versiegelten Fläche (ehemals Parkierung und Garagen) ist das Bestreben, durch nachwachsende Rohstoffe, einem für die Größe des Gebäudes geringen Baufenster und einer aktiven Fassade, einen möglichst geringen ökologischen Fußabdruck und wenig Energieverbrauch in der Nutzung bei größtmöglicher Erweiterung an Wohnraum zu erzielen.

Die Innovation des Vorhabens besteht darin, existierende Technologien in einer innovativen Kombination vorzuschlagen um übertragbare Lösungen zu formulieren. Schwerpunkt dabei ist es, eine ökologische Bauweise mit kostenarmer Instandhaltung und einer reduzierten Gebäudetechnik zu verbinden. Dabei wird eine maximale Ressourcenoptimierung angestrebt die sich auf drei Ebenen abspielt:

- gebaute Umwelt;
- graue Energie;
- Betriebsenergie.

1. Das Gebäude wird auf bereits versiegelten Flächen (Parkplatz) errichtet werden, als nachhaltige und verantwortungsbewusste Bodennutzung in einer konsolidierten Stadtstruktur. Das Parkhaus beinhaltet die neuen notwendigen und die entfallenen Parkplätze. Das Erdgeschoss nimmt Geschäfte auf, um eine reine Wohnnutzung zu vermeiden und den angrenzenden Gebäuden weitere andienende Nutzungen zur Verfügung zu stellen; somit sorgt der ergänzende Stadtbaustein als Beispiel für eine vielschichtige Nachverdichtung mit Rücksicht auf die Versorgung und Nachfrage nach kurzen Wegen. Die Qualität der Außenräume steht im Mittelpunkt der Betrachtung. Diese soll durch eine wertvolle grüne Infrastruktur stets ein attraktiver Ort der Begegnung darstellen um das soziale Leben des Viertels zu fördern in Hinblick auf ein inklusives Modell der Gesellschaft.

2. Das Holzhochhaus soll als Prototyp für ökologisches Bauen im Bereich Wohnhochhaus gelten und erörtert dabei die Themen Brandschutz, Schallschutz im mehrgeschossigen Wohnungsbau und Lebenszyklusanalyse. Dabei soll die Flexibilität der Grundrisse durch die Konstruktion erhalten bleiben, um Transformationen zu ermöglichen und trotz gleicher Nutzung die Adaptionsfähigkeit unterschiedliche Wohnmodelle zu berücksichtigen. Die Holzbauweise in Kombination mit dem Betonkern, der eine ohnehin geplante Maßnahme darstellt, hat einen starken Einfluss auf den Gesamtenergiebedarf.

3. Ein weiteres Vorzeigeelement des Vorhabens besteht im Workflow der die Minimierung des Energiebedarfs bei Maximierung der Energiegewinnung anstrebt.

Das Gebäude wird weitestgehend durch regenerative Energie versorgt. Ein wichtiger Aspekt in der Planung ist nicht nur die Reduzierung des Energiebedarfs zur Heizung gewesen, sondern auch die der eingebauten Technik für die Raumkonditionierung. Eine Besonderheit des Planungsprozesses ist die Tageslichtoptimierung der Räume mit Simulationstools gewesen, die eine hohe Aufenthaltsqualität generiert und den Bedarf der künstlichen Beleuchtung reduziert. In einem Rhino-Grasshopper script wurden verschiedene Szenarien durchspielt die verschiedene Ausrichtungen, Fensterabmessungen und Positionen parametrisieren. Simulationen ermöglichen die Verteilung und die Intensität des Tageslichts zu quantifizieren und darzustellen. In einem iterativen Prozess können verschiedene Lösungen im Bezug auf Tageslicht optimiert werden, um die Aufenthaltsqualität im Innenraum mit Kennwerten zu belegen.

Den Energiebedarf wird das Gebäude teils aus den bestehenden Netzen abdecken, teils soll aber auch durch eigene dezentrale Energiegewinnung die Abhängigkeit vom Netz reduzieren. Einerseits wird die Dachfläche mit PV-Modulen belegt welche als zentrale Anlage Energie für das Hochhaus gewinnt, des Weiteren sollen die Überdachungen der Balkone als persönliche Anlage den täglichen individuellen Bedarf der Haushaltsgeräte sichern und stellen ein Beispiel der Integration der Energiegewinnungssysteme in die Architektur dar. Diese Maßnahme soll den Nutzer anregen, ein tieferes Bewusstsein für den Energieverbrauch zu entwickeln und den Umgang mit Ressourcen in Eigenregie zu justieren. Die dezentrale Gewinnung (PV) wird ein Gestaltungselement der Fassade und dient gleichzeitig als Witterungsschutz.

Für die Dimensionierung der Anlage wurde ein Software Tool (Honeybee-script) in Grasshopper entwickelt das die Gewinnung durch Orientierung und Auslegung maximiert, gleichzeitig den statischen Anforderungen und der Konstruktionsmöglichkeiten gerecht wird. Die dezentrale Gewinnung soll ermöglichen, den gewonnenen Strom vom Benutzer direkt verbrauchen zu lassen: damit sollen Produktion und Abnahmen weitestgehend übereinstimmen um die üblich anfallenden Überschüsse im Netz zu vermeiden. Das Verhältnis zwischen Energiegewinnung und Abnahme soll darüber hinaus das Gebäude als essentieller Baustein für die Dezentralisierung der Energiegewinnung hervorheben. Gebäude gelten als Verbraucher, sollen aber ihre Relevanz als Ort der Energiegewinnung im Kontext der Energiewende ausbauen.

Durch die Maximierung der Eigennutzung sollen die Schwankungen in der Produktion durch die Fluktuation der Ressource Sonne neutralisiert werden und die unvorteilhaften Überladungen des Netzes in den sonnenreichen Tagen vermeiden.

Ergebnisse und Diskussion

Zum Zeitpunkt des Projektabschlusses besteht ein definierter Vorentwurf in dem die Tragwerkslösung hinsichtlich Lastabtrag, Schallschutz und Brandschutz überprüft. Die angestrebte ganzheitliche Planung die auf eine Ressourcenoptimierung basiert, wurde ebenfalls in dem vorliegenden Entwurf integriert. Das Energiekonzept erzielt einerseits eine Minimierung des Ressourcenverbrauchs in Bau und Betrieb des Gebäudes und gleichzeitig eine optimale Aufenthaltsqualität. Abgesehen vom Nutzerstrom für Geräte (Waschmaschine, Spülmaschine, etc.) wird die erforderliche Energie für den Betrieb des Gebäudes mit Photovoltaikanlagen auf den Dachflächen gewonnen. Zusätzlich ist vorgesehen die Balkone teilweise mit Photovoltaik zu belegen. Diese Teileinhausung bringt einen gewissen Witterungsschutz gegen Wind und Regen und erhöht dadurch den Zeitraum in dem der Balkon komfortabel nutzbar ist. Der an den Balkonen gewonnene Strom wird den Mietern der einzelnen Wohnungen für die Deckung des Nutzerstroms zur Verfügung gestellt und kann in einem gewissen Maße auch gespeichert werden – es erfolgt keine Netzeinspeisung.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Bis zum jetzigen Zeitpunkt konnte keine Öffentlichkeitsarbeit vorgenommen werden, da noch keine endgültigen Entscheidungen getroffen wurden.

Fazit

Der Vorentwurf des vorliegenden Projektes wurde im April 2018 vorgestellt: verschiedene Faktoren haben den geplanten Ablauf verhindert deshalb können zum jetzigen Zeitpunkt zur Genehmigungsfähigkeit und zur Implementation keine Schlussfolgerungen formuliert werden.

Ein wesentlicher Aspekt der sich durch das Forschungsvorhaben hervorhebt, ist die Übertragbarkeit der eingesetzten Technologien und des Arbeitsprozesses auf ähnliche Vorhaben.

Geprüft und gerechnet wurde die Nutzung der Holzbauweise im mehrgeschossigen Wohnungsbau über 12 Stockwerken. Diese Studie soll der Etablierung des mehrgeschossigen urbanen Holzbaus als Stand der Technik vorantreiben. Durch die Unwägbarkeiten im Planungsverlauf konnte die ausführliche Untersuchung von Brandschutz- und tragwerksrelevanter Versuche nicht vollumfänglich abgeschlossen werden. Auch fehlen für eine vollumfängliche Lebenszyklusanalyse relevante Planungsschritte die zum jetzigen Zeitpunkt nicht erreicht werden konnten.

Die vorhandenen marktüblichen Standardlösungen für Decken, Fassaden, Stützen, Wände und Aussteifungssysteme (Gebäude mit 1-5 Stockwerken) wurden dazu hinsichtlich der tragwerks- und brandschutztechnischen Eigenschaften auf die erhöhten Anforderungen der 12 Geschosse geprüft und angepasst. Die dezentrale Energieerzeugung am Gebäude ist im Kontext der Energiewende und des Umstiegs auf regenerative Energiequellen ein zentraler Baustein dieses Projektes. Sowohl als Gestaltungselement der Architektur als auch zur Eigennutzung, stellt die Energiegewinnung auf den Balkonen eine Innovation dar und ermöglicht dem Nutzer, eine aktive Rolle im Verbraucherkreislauf einzunehmen.

Überprüft wurden schließlich auch die Handlungsempfehlungen auf Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit. Auch im Thema Kosten schlägt das Projekt ein Konzept vor das konkurrenzfähig gegenüber Praxis ist. Neben den projektspezifischen Ergebnissen, sind auch die ganzheitliche Betrachtung und die Auswahl der Projektpartner positiv zu nennen. So konnte neben der wissenschaftlichen Begleitung und der tiefergreifenderen Betrachtung parallel zum Planungsprozess ein wesentlicher Beitrag geleistet werden um den Fortschritt im Holhochhaus Bereich voranzutreiben.

Trotz der Unwägbarkeiten ist die Begleitung und Bearbeitung begleitend zu einem realen Bauvorhaben ein wichtiger Schritt um die Realisierbarkeit und damit die Praxis nahe Forschung zu forcieren. Der Abschluss des Projekts stellt daher ein zukunftsfähiges Forschungsfeld auf, das durch weitere Projekte einen wesentlichen Betrag zum gezielten Entwickeln des Hochhausbaus mit Holz leisten kann.

INHALT

Zusammenfassung	10
Einleitung	12
Beschreibung der Ausgangssituation	14
Stand der Technik	17
Antragsteller/ Kooperationspartner	18
I. Zielsetzung	20
Entwurf	20
Innovativer Charakter und Umweltrelevanz des Vorhabens	22
Arbeitsprozess und Darstellung des Ziels	27
Lösungsentwicklung zur Erreichung der Genehmigungsfähigkeit eines Hochhauses in Holzbauweise	30
II. Konzeption und Modellierung	33
II. 1. Tragwerkslösung	33
II. 2. LCA und LCC	40
II. 3. Betriebsenergie	46
III. AUSBLICK	66
Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen	68
Literaturverzeichnis	70

Zusammenfassung

Seit der Realisierung erster innerstädtischer, mehrgeschossiger Holzkonstruktionen lässt sich ein enormer Anstieg am Interesse von Seiten privater und öffentlicher Bauherrn, der Bauindustrie und der staatlichen Organe an der Verwendung von Holz für den mehrgeschossigen Wohnungsbau im urbanen Raum feststellen.

Gründe dafür sind unter anderem die zunehmende ganzheitliche Betrachtungsweise des Bauens, die nach Bauweisen sucht, welche mit geringerem CO₂-Fußabdruck in der Herstellung, dem Betrieb und dem Rückbau – also dem gesamten Lebenszyklus – auskommen. Diese Art der Betrachtung versucht den Faktor „Zeit“ in die Berechnungen mit aufzunehmen, womit ganzheitlichere Aussagen im Hinblick auf die Umweltfaktoren und die Kosten getroffen werden können. Insbesondere die zunehmend favorisierten Niedrigenergie- und Passivhausbauweisen, sowie die kurzen Bauzeiten sorgen des Weiteren dafür, dass die Kosten für leichte und materialsparende Holzbauten mit hohem Vorfertigungsanteil heute überaus wettbewerbsfähig sind. Der Holzbau setzt in diesem Bereich klar auf seine Vorteile gegenüber den konventionellen massiven Bauweisen wie Beton oder Mauerwerk. Maßgebend unterstützt wird die Entwicklung hin zur Holzbauweise zudem von den signifikanten technischen Neu- und Weiterentwicklungen im Bereich des Ingenieurholzbaus.

Die bisher am Markt befindlichen Standardlösungen für Decken, Fassaden, Stützen, Wände und Aussteifungssysteme sind hauptsächlich für den Einsatz in Gebäuden mit bis zu 8 Stockwerken entwickelt worden. Aufgrund der deutlich höheren Anforderungen im Hochhausbau, z.B. hinsichtlich der tragwerks- und brandschutztechnischen Eigenschaften, können diese nicht einfach übertragen werden.

Um zum einen der hohen Nachfrage des Wohnungsmarktes, und gleichzeitig dem Thema der Nachverdichtung in städtischen Gebieten Tribut zu zollen, hat die St. Gundekar-Werk Eichstätt GmbH die Idee für einen teilweise geförderten Wohnungsbau mit ca. 50 Mietwohnungen entwickelt. Somit entstand ein Projekt in Nürnberg-Langwasser, in der Leuschnerstraße, das als Holzhochhauskomplex, bestehend aus einem Wohnturm mit mehr als 12 Stockwerken, angegliedertem Gebäudeteil für „temporäres Wohnen“ sowie einem Parkhaus, den Bestand aus umliegenden Hochhäusern ergänzen soll.

Für den geplanten Neubau des Holzgebäudes wurde das Ziel ausgesprochen, ein ressourcenschonendes Energie- und Konstruktionskonzept in einen architektonischen Gesamtentwurf zu integrieren. Es wird der Ansatz verfolgt, durch die Verwendung einer hybriden Holzbauweise, über den gesamten Lebenszyklus betrachtet nahezu CO₂ neutral zu sein, ohne dabei die hohen Anforderungen an den Brand-, Feuchte-, Holz- und Schallschutz auszuklammern. Der nachwachsende Rohstoff Holz reduziert dabei nicht nur den CO₂ Einsatz für die Errichtung, sondern er erzeugt ergänzend durch passive und aktive Maßnahmen (regenerative Energiegewinnung ggf. in der Fassade) auch während des Betriebs weitere Einsparungen. Die Menge der nutzbaren Flächen und der angestrebte niedrige Energiebedarf, verfolgt in hohem Maße das Ziel, mit einer optimierten Gebäudehülle und durch den Einsatz regenerativer Energien (abgestimmter auf den Verbrauch) die Emissionen weitestgehend komplett zu kompensieren.

Das Projekt wurde von Beginn an begleitet mit einem vorgesehenen Baubeginn im Jahr 2019. Mit Abschluss der Leistungsphase 2, wurde von Seiten der Bauherrschaft das Projekt zwischenzeitlich unterbrochen, weshalb eine vollumfängliche Betrachtung wie angesetzt nicht vollzogen werden konnte. Darüber hinaus sollen auf Grundlage des Planungsprozesses allgemeingültige Handlungsempfehlungen entwickelt werden, um Entscheidungsträgern für zukünftige Holzbauprojekten im Hochhausbereich ein Werkzeug zur Verfügung stellen zu können. Die erarbeiteten Handlungsempfehlungen, die zu einer Steigerung der Energieeffizienz, Ressourcenschonung und Aufenthaltsqualität bei gleichzeitiger Reduzierung der laufenden Kosten führen, gewährleisten aufgrund der hohen Repräsentativität des Projektes als mehrgeschossiger Wohnungsbau im urbanen Kontext, eine Übertragbarkeit für andere, neu zu bauende Projekte gleicher Art.

EINLEITUNG

Erst in den letzten Jahrzehnten wurde der Holzbau wieder Wettbewerbsfähig. Durch andauernde Bemühungen technischer Innovationen, wurde schon länger versucht dem Bauen mit Holz auch im Hochhausbau an Aufmerksamkeit zu schenken. Durch die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit, den Vorteilen der Vorfertigungsmöglichkeiten unter optimalen Bedingungen, dem ökologischen Fußabdruck des Holzes als nachwachsender Rohstoff und Kohlenstoffspeicher sowie den innovativen Konstruktionsweisen wurde diese Entwicklung vorangetrieben.

War der Holzbau seit jeher als Baustoff für mehrgeschossige Gebäude in unterschiedlichen Regionen genutzt worden, so wurde er durch die verfügbaren nicht brennbaren Materialien vorübergehend verdrängt und spielte im Hochhausbereich nahezu keine Rolle mehr. Einfachere konstruktive Lösungen, für die zunehmend wachsenden Anforderungen in Brand- Schall- sowie Feuchteschutz, verhalfen Beton und Stahl zu einer Vormachtstellung. Erst seit der Jahrhundertwende, in der das gesellschaftliche Bewusstsein für den Klimawandel anwuchs, wurde das Interesse an der Verwendung von Holz auch von der Politik und den Planern merklich größer. Die positiven Erfahrungen dieser Bauweise werden derzeit auch bereits in ersten Bundesländern in den jeweiligen Bauordnungen aufgegriffen und ermöglichen nun auch die Anwendung des Baustoffes Holz als Element der Tragstruktur in den Gebäudeklassen 4 und 5, als auch für Hochhäuser mit einer Gebäudehöhe größer 22m.

Seither ist es privaten und öffentlichen Bauherrn, der Bauindustrie und den staatlichen Interessensgruppen kaum möglich, bei der konstruktiven Umsetzung von mehrgeschossigen Wohnbauprojekten im urbanen Raum, den Werkstoff Holz nicht in Betracht zu ziehen. Dass der Holzbau eine regelrechte Renaissance erfährt, lässt sich nicht zuletzt durch die seither realisierten innerstädtischen mehrgeschossigen Holzbauten aufzeigen. Das derzeit höchste im Bau befindliche Holzhaus in Deutschland mit insgesamt 10 Ge-

schossen wird derzeit in Heilbronn gebaut. Das entstehende Projekt reiht sich daher nahtlos in die Reihe der höchsten Hochhäuser in Holzbauweise in Deutschland ein.

Mittlerweile herrscht nahezu ein Wettstreit um die Grenzen des Möglichen auszureizen. Immer größere und höhere Gebäude in Holzbauweise werden weltweit entworfen und umgesetzt. Dieses Treiben fördert die Innovation, da neue Anforderungen neue Lösungsansätze und Lösungen verlangen.

Aber neben Hochhausprojekten ist der Holzbau auch in Sachen ressourcenschonendem Bauen eine große Alternative. Durch die fortschreitende gesellschaftliche Relevanz des Klimawandels werden auch aus politischen Reihen stärkere Maßnahmen zur Verringerung der CO₂ Emissionen gefordert. Ein hohes Maß an Energieeffizienz in der Gesamtbetrachtung schließt somit den Energieverbrauch in der Entstehungsphase mit ein. Holz als regenerativer Baustoff dient hierbei nicht nur als CO₂ Speicher sondern kann durch den geringeren Materialeinsatz trotz hoher Leistungsfähigkeit auch zur Materialeffizienz beitragen.

Um auch im Inneren des Gebäudes gute raumklimatische Bedingungen zu ermöglichen und trotzdem den Energieverbrauch gering zu halten, wird die Innovation durch die gesetzlichen Vorgaben zur Minimierung des Energiebedarfs sehr stark zu hochaufgerüsteten Technikkonzepten und von der Umgebung abgekoppelten Niedrigenergiegebäuden getrieben. Der dann noch anfallende geringe Energiebedarf ist weiterführend über regenerative Energiequellen aufzubringen.

Hierbei stellt sich jedoch die Frage, ob die Vergrößerung der Komplexität von Gebäuden die einzige Lösung darstellt, oder ob die Einfachheit der Dinge und die damit einhergehende Besinnung auf die intelligente Bauweise mit passiven Maßnahmen und einer einfachen Technik ebenfalls die gewünschten Behaglichkeitsziele erbringen.

Die hohen Anforderungen an Energieeffizienz, verwendete Materialien, Aufenthaltsqualität sowie Konstruktion sind nur einige Themenfelder des Bauens in die der Holzbau auf unterschiedlicher Weise Einfluss nimmt. Durch weitere technologische- sowie konstruktive Lösungsansätze, wird die Innovationskraft weiter vorangetrieben und zeigt wie vielversprechend sich die Branche entwickelt.

Das vorliegende Forschungsprojekt versucht anhand eines realen Planungsprozesses allgemeingültige Handlungsempfehlungen zu erarbeiten. Dabei geht es nicht darum neuartige Technologien durch Grundlagenforschung zu finden, sondern existierende Prinzipien auf die veränderten Anforderungen zielführend anzupassen. Das Projekt wird im Folgenden unter den Gesichtspunkten der Konstruktion, der Energie, des Komforts sowie des Lebenszykluses betrachtet.



Beschreibung der Ausgangssituation

Langwasser, ein Stadtteil von Nürnberg war bis zu den 1920 Jahren Teil des Lorenzer Reichwalds. Das Gebiet wurde nach dem Zweiten Weltkrieg als Fläche für die Schaffung von Flüchtlingsunterkünften verwendet. Erst ab dem Jahr 1957 begann die kontrollierte Entwicklung dieses Stadtteils auf der Grundlage eines davor abgeschlossenen Architektenwettbewerbs (Siegerentwurf Franz Reichert). Durch den anhaltenden Wunsch nach dem „Wohnen im Grünen“, ist der Stadtteil geprägt durch seine neuzeitliche Be-

Abbildung 1: Luftbild



stimmung als Trabantenstadt. Aufgrund der hohen Wohnungsnot in den 50er und 60er Jahren des letzten Jahrhunderts wurde Langwasser als Großwohnsiedlung für ca. 40 000 Menschen angedacht. Es wurde versucht eine koordinierte Bebauung zu initiieren. Anders als bei anderen Projekten dieser Art, dauerte die Bebauungsphase mehrere Jahrzehnte an. Dadurch lassen sich unterschiedliche Einflüsse des gesamten Entwicklungsprozesses des damaligen Städtebaus umfassend ablesen [Ges01]. Unter diesem Abbild jener

Gebäudetypologien der letzten Jahrzehnte wie Einfamilienhäusern, Reihenhäusern sowie Wohnblocks ist auch der Typ Wohnturm zu finden.

Um dieses Bestreben zu unterstützen sollte dem Wohnen auch das Arbeiten beigemischt werden. Bis auf vereinzelte Grundversorgungseinrichtungen blieb das Gebiet jedoch nahezu vollständig dem Wohnen im Grüngürtel vorbehalten. Die Verbindung zur Arbeit wurde rein durch die gute Verbindung zur Innenstadt in Form von Stichstraßen gewährleistet, wodurch dem Gebiet eine, der Nachkriegszeit typische Nutzungsmonotonie auferlegt wurde.

Nicht desto Trotz waren einige Entwicklungen dieser Zeit beispielhaft. So lässt sich die Rückentwicklung vom Flachdach zum Giebeldach im Mehrfamilienhausbau innerhalb des Gebiets ablesen. Auch die zentrale Fernwärmeversorgung von Nürnberg, die 1965 das gesamte Stadtgebiet Langwasser über ein Kleinkraftwerk versorgte, wurde als Meilenstein der Fernwärme gesehen.

Unter all diesen Entwicklungen wurden in den 60er Jahren am südlichen Rand des Stadtgebiets in der Leuschnerstraße drei Wohnhochhäuser errichtet [Ges07]. Die 12 geschossigen Türme aus Stahlbetonfertigteilen stehen in Mitten einer kleinen Parkanlage. Angegliedert daran ein größerer Bereich mit zugehörigen Garagenstellplätzen.

Auch zur heutigen Zeit ist der Druck auf den Wohnungsmarkt sehr präsent, weshalb das St. Gundekar-Werk neben der Verwaltung von Wohnimmobilien immer auch die Neukonzeption als Potential sieht. Durch den Besitz eines dieser Wohntürme mit andienender Garagenhoffläche im Bereich der Leuschnerstraße, wurden Flächenpotentiale definiert und als Grundlage für eine Gebäudeentwicklung ausgewiesen. Ausgangspunkt der Planung war es die hier vorhandenen Autos in einem Parkdeck unterzubringen und die Dachflächen für zusätzlichen Wohnraum zu nutzen. Die Nachverdichtung in diesem Bereich entspricht auch dem von der Stadt Nürnberg verfassten integrierten Stadtentwicklungskonzept, welches an dieser Stelle Schaffung von qualitativem Wohnraum in einer höheren Dichte und die Stärkung von Nachbarschaftszentren vorsieht.

Der neue Baustein soll dabei neben einem Wohnturm über mehr als 12 Geschosse mit überwiegend bezahlbarem Wohnraum, einen angegliederten Gebäudeteil für temporäres Wohnen sowie ausreichend Stellplätze in mehreren Tiefgaragenebenen bereitstellen um neben dem eigenen Bedarf auch Ausgleichsflächen für den Bestand zu erzeugen.

Über vereinzelte gemeinschaftliche bzw. gewerbliche Nutzungen in der Erdgeschosszone, wird die stricte Nutzungsmonotonie aufgebrochen um den Bedarf an weiteren Versorgungseinrichtungen zu gewährleisten. Diese Neuausrichtung des Quartiersmanagements spricht sich damit für eine Aufwertung des Gebiets aus, um weiterhin eine hohe Wohnqualität zu ermöglichen und das einst angestrebte Mischen unterschiedlicher Nutzungen erneut aufzugreifen.

Anders als bei den bestehenden Wohntürmen (Beton-Fertigteile), ist die Absicht dieses Vorhabens, über eine Hybridlösung einen Holzbau jenseits der Hochhausgrenze zu realisieren. Unabhängig von diesen bereits sehr hohen

konstruktiven und technischen Anstrengungen wurde angestrebt die bauklimatischen Anforderungen mit intelligenten Lösungen gerecht zu werden und darüber hinaus nicht nur den Gebäudebetrieb möglichst CO₂ Neutral zu gestalten sondern das Gebäude in seinem gesamten Lebenszyklus möglichst nachhaltig zu konzipieren. Ein hohes Maß an regenerativen Materialien und Energiequellen, soll dabei helfen die hoch gesteckten Ziele im Bezug auf die Nachhaltigkeit des Gebäudes zu erreichen. Dabei wird ein integraler Ansatz verfolgt der bereits zu einem frühen Zeitpunkt in der Planung anstrebt eine ganzheitliche Betrachtungsweise zu erzielen. So sollen Fragen zum Einsatz von Grauer Energie, bis hin zur behaglichen Aufenthaltsqualität in den Wohnungen unter dem Leitgedanken des „Einfach Bauens“ von Anfang an verfolgt werden.

Stand der Technik

Technische Innovationen im Ingenieurholzbau führten in den letzten Jahren zu einer enormen Entwicklung der Eigenschaften von Holzwerkstoffen und deren konstruktiven Möglichkeiten. Seither werden stetig neue Brücken, Konstruktionen sowie mehrgeschossige Gebäude in Holz- bzw. Holzmischausbauweise realisiert.

Dies liegt nicht zuletzt an der Suche nach Bauweisen mit geringerem CO₂-Footprint im Hinblick auf den gesamten Lebenszyklus. Während der aktuelle Fokus der Politik darin liegt die Betriebsenergie zu minimieren, wird der Anteil und die Bedeutung an Emissionen während der Herstellung und dem Rückbau zunehmend wichtiger. Durch den Anstieg des gesellschaftlichen Bewusstseins bezüglich der CO₂ Emissionen und dem Verbrauch des Bausektors im Verhältnis zu den Gesamtemissionen, werden seither sowohl auf Seiten der Forschung, aber auch auf Seiten der Politik nach Lösungen gesucht den Energieverbrauch ganzheitlich zu verringern. Holz ist in dieser Diskussion nicht zuletzt durch seine Eigenschaften als nachwachsender Rohstoff und CO₂ Speicher von Interesse.

Neben den Umweltfaktoren einzelner Materialien ist auch aus wirtschaftlicher Sicht eine Gesamtbetrachtung des Bauens in Form einer Lebenszyklusbetrachtung mehr und mehr interessant. Das Gebäude wird somit stärker ganzheitlicher über den Faktor „Zeit“ im Sinne der Lebensdauer und dem Verbrauch der verwendeten Ressourcen definiert, als zu sehr die Amortisation der Investitionen zur Erstellung ins Zentrum zu stellen. Dies führt nicht zuletzt dazu, dass bei den zunehmend favorisierten Niedrigenergie- und Passivhausbauweisen, die Kosten für leichte und materialsparende Holzbauten heute überaus wettbewerbsfähig sind im Vergleich zu den schweren konservativen Bauweisen in Beton oder Mauerwerk.

Maßgebend unterstützt wird die Entwicklung hin zur Holzbauweise von den signifikanten technischen Neu- und Weiterentwicklungen im Bereich des Ingenieurholzbaus, der Verbindungstechnik, der Blockverleimung von Brett-schichtholzträgern beliebiger Länge und vor allem der präfabrizierten flächigen Holzprodukten, wie beispielsweise hochfeste Furnierschichtholzplatten und große Massivholzscheiben aus Brettsperrholz. Diese neuen Werkstoffe sind insbesondere für den Einsatz im Holzhochhausbau von herausragen-

der Bedeutung, wo ihre spezifischen Vorteile besonders gefordert sind. Es ist somit nicht nur das Ziel, den gesetzlichen Vorgaben zur Minimierung des Energieverbrauchs gerecht zu werden, sondern darüber hinaus das Hochhaus in seiner Gesamtheit möglichst CO₂ neutral zu konzipieren. Dabei sind die Wirtschaftlichkeit und Materialeffizienz ebenfalls in die Betrachtung mit eingeflossen, um bezüglich der Realisierbarkeit zu agieren und Folgeprojekte zu begünstigen.

Bewilligungsempfänger

St. Gundekar-Werk Eichstätt GmbH

Peter-Stephan Englert
Penzendorfer Straße 20
D-91126 Schwabach
Telefon: +49 (0) 9122 309-10
Fax: +49 (0) 9122 309-39
E-Mail: peter.englert@gundekar-werk.de

Kooperationspartner

Technische Universität München **Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen**

Daniele Santucci
Prof. Thomas Auer
Arcisstraße 21
80333 München
Telefon: 089-289-22475
Telefax: 089-289-23851

Fremdleister

bauart Konstruktions GmbH & Co. KG

Beratende Ingenieure für das Bauwesen (VBI)
Univ. -Prof. Dr. -Ing. Stefan Winter, Herr Jörg Schaffrath
Spessartstraße 13
D-36341 Lauterbach/Hessen
Telefon: 06641 9661-0
Fax: 06641 9661-61
E-Mail: schaffrath@bauart-konstruktion.de

Transsolar Energietechnik GmbH

Christian Frenzel
Curiestraße 2
70563 Stuttgart
Telefon: +49 711 67976-0
Fax: +49 711 67976-11
E-Mail: transsolar@transsolar.com

Behnisch Architekten Partnerschaft mbB, Stuttgart

Stefan Behnisch
Rotebühlstraße 163A
70197 Stuttgart
Germany
Telefon: +49 711 60772-0
Fax: +49 711 60772-99
E-Mail: buerostuttgart@behnisch.com

I. ZIELSETZUNG

Entwurf

Das Konzept für die Erweiterung des Wohnturms in der Leuschnerstraße nimmt die vorgegebenen, städtebaulichen Gegebenheiten auf. Es wird angestrebt, durch das neu Definieren einer dieser Wohninseln einen Ort der Begegnung zu schaffen. Auch die entstehende Bebauung und der vorgeschlagene Wohnungsmix aus temporären Wohnen, Reihenhäusern, und Sozialwohnungen sollen die soziale Durchmischung unterstützen. Ziel ist es öffentliche Plätze zu schaffen und die vorhandenen Spiel- und Freiflächen aufzuwerten. Der Grünraum um die Gebäude soll zum Verweilen einladen und den Bewohnern neue Aufenthaltsqualitäten im Außenraum anbieten. Dies soll nicht nur für die Bewohner des Bestandes und der neu entstehenden Bebauung gelten, sondern auch für die umliegenden Gebäude um - ganz nach dem Motto Langwassers - eine überschaubare Nachbarschaft zu generieren, welche auch die Vorteile einer gewissen sozialen Kontrolle mit sich bringt.

Die St. Gundekar Werk GmbH ist immer darauf bedacht Wohnraum für eine Vielzahl verschiedener Bewohner- und Haushaltsstrukturen anzubieten, mit preisgünstigen Mieten für Familien, Senioren und Studierende, Alleinerziehende und Personen mit Einschränkungen. Nachhaltiger Wohnungsbau orientiert sich neben der Energieeffizienz auch am sozialen Erfolg einer Baumaßnahme. Die Rücksicht auf das Sicherheitsempfinden der Nutzer, auf Nachbarschaftsbildung, auf Barrierefreiheit und Flexibilität in Anbetracht veränderlicher Nutzungen ist Folge zu leisten. Zudem sind der Einsatz qualitativ langlebiger Materialien sowie eine optimierte Tageslichtnutzung neben einem optimierten Primärenergieverbrauch wesentliche Faktoren, um den langanhaltenden Erfolg einer Wohnanlage zu gewährleisten.

Das entstehende Parkhaus unterstützt diesen Gedanken. Es soll eine Wohnstraße, eine Spielstraße, anstatt einer Autostraße entstehen. Um dies zu verwirklichen müssen die Autos aus dem öffentlichen Raum an einen definierten und architektonisch gestalteten Ort untergebracht werden. In der Planung ist derzeit ein viergeschossiges Parkhaus mit natürlicher Belüftung angedacht. Es gibt jedoch auch die Möglichkeit einen Teil der Stellplätze in einer Tiefgarage unterzubringen.

Über das Parkhaus wird der Neubau mit dem Bestand verbunden, es ent-

steht eine neue, überdachte, barrierefreie und großzügige Eingangssituation. An der Leuschnerstraße, integriert in das Parkhaus, befindet sich das temporäre Wohnen. Es ist besonders für die Kurzzeitnutzung gedacht (Messe Nürnberg). Die Wohnungen werden direkt von der Straße oder über das Parkhaus erschlossen.

Der Wohnturm wächst aus dem begrünten Parkhaus. Alle Wohnungen sind in zwei Richtungen orientiert, dadurch bieten sie eine optimale Belichtung und einen differenzierten Ausblick. Die im Norden angeordneten Wohnungen haben zum Beispiel einen Blick Richtung Nürnberg und zusätzlich eine Ost oder West Ausrichtung.

Um die Zusammengehörigkeit des Bestandes mit dem Zubau zu stärken, ist nicht nur ein gemeinsamer Eingang angedacht, sondern auch die Verbindung von zwei Geschossen über Stege. Diese Zusammenschaltung beeinflusst das bestehende Brandschutzkonzept des Bestandes nicht. Auf dem Dach des Parkhauses entsteht eine gemeinschaftliche Terrasse. Diese bietet den Bewohnerinnen und Bewohnern einen halböffentlichen Freiraum.

Die dritte Nutzungseinheit sind die Reihenhäuser im Süd-Westen des Bestandes. Der vorhandenen Struktur folgend wird hier mit einer niedrigen Bebauung an die bereits vorhandenen Einfamilienhäuser angeschlossen. Zudem wird dadurch verhindert, dass der Wohnturm des ESW verschattet und in seiner Hauptorientierung beeinträchtigt wird.



Abbildung 2: Handzeichnung

Innovativer Charakter und Umweltrelevanz des Vorhabens

Grundsätzlich sind für das Erreichen der Ziele einer ganzheitlichen Betrachtung, eine frühzeitige Abstimmung und Entscheidungsfindung von besonderer Wichtigkeit. Bereits in der frühen Planungsphase wurden in einem engen und integralen Planungsprozess energieeffiziente und ressourcenschonende Energiekonzepte in den architektonischen Entwurf eingebunden. Dabei wird durch das Forschungsprojekt, neben den allgemeinen Planungsschritten, eine wissenschaftliche Begleitung des Projekts bis einschließlich LP4 ermöglicht.

Die Interaktion zwischen Gestaltung des Gebäudes, den Herausforderungen des Holzbaus im mehrgeschossigen urbanen Wohnungsbau, sowie der erforderlichen technischen Gebäudeausrüstung wird stetig auf seine Integrationsfähigkeit der konstruktiven-, energetischen- als auch bauklimatischen Maßnahmen überprüft. Rückwirkend wurden gestalterische Maßnahmen in einem iterativen Prozess auf ihre Auswirkungen im Bezug auf das energetische, konstruktive und klimatische Verhalten evaluiert. Ziel ist es gewesen, eine enge und zeitnahe Absprache zu realisieren um einen reibungslosen Informationstransfer zu gewährleisten.

Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit und die Umsetzung eines mehrgeschossigen Holzbaus jenseits der Hochhausgrenze, ist dabei besonders der innovative Charakter der Arbeit heraus zu heben, der die Ziele der Reduzierung des allgemeinen Energiebedarfs, die Reduktion des Materialeinsatzes, den hohen Grad der Vorfertigung und die Aufstellung konstruktiver Lösungsansätze zur einfachen und schnellen Errichtung des Gebäudes verfolgt. Der



Abbildung 3: Lageplan

Holzbau ermöglicht einen hohen Vorfertigungsgrad. Durch eine modulare Bauweise wird der zügige Bauablauf sicher gestellt, was bei der Realisierung von Hochhäusern von großer Wichtigkeit ist. Zusammen mit dem Ingenieurbüro bauart Konstruktions GmbH wurden unterschiedliche Konstruktionsweisen auf ihre Vorfertigungsmöglichkeiten untersucht.

Mit der Überschreitung der Hochhausgrenze erhöht sich nicht nur der Leistungsanspruch an den Brandschutz und die Tragfähigkeit des Gebäudes, sondern es steigen auch die Anforderungen des Energiekonzeptes, unter anderem an der aktiven sowie passiven Raumkonditionierung. Die Windlasten nehmen in großen Höhen erheblich zu und machen eine außenliegende Verschattung sowie die natürliche Belüftung ohne konstruktive Maßnahmen nahezu unmöglich. Intelligente Lösungsansätze sind im Verlauf des Projektes zu prüfen.

Gerade bei Gebäuden dieser Größe ist die Notwendigkeit einer intelligenten Gebäudetechnik unumgänglich. Während der Trend derzeit zu komplexen Systemen aus hochleistungsfähigen Gebäudehüllen und aufwendigen technischen Einheiten verkommt, wird geprüft, ob die Anforderungen des Hochhausbaus auch Chancen ermöglicht. Im Speziellen soll die Minimierung aufwendiger und kostenintensiver Anlagentechnik erzielt werden um so den Energiebedarf im Betrieb weitestgehend zu reduzieren. Dabei ist das Bestreben, neben der Erreichung bauphysikalischer Voraussetzungen, eine gute Aufenthaltsqualität um einen hohen Komfort im Gebäude nicht zu beeinträchtigen.

Während die Gebäudeisolierungs- und verglasungstechnischen Anforderungen durch Standardlösungen realisiert werden können, soll nachgewiesen werden, ob es hierfür mit dem Werkstoff Holz bereits nachhaltigere Lösungs-

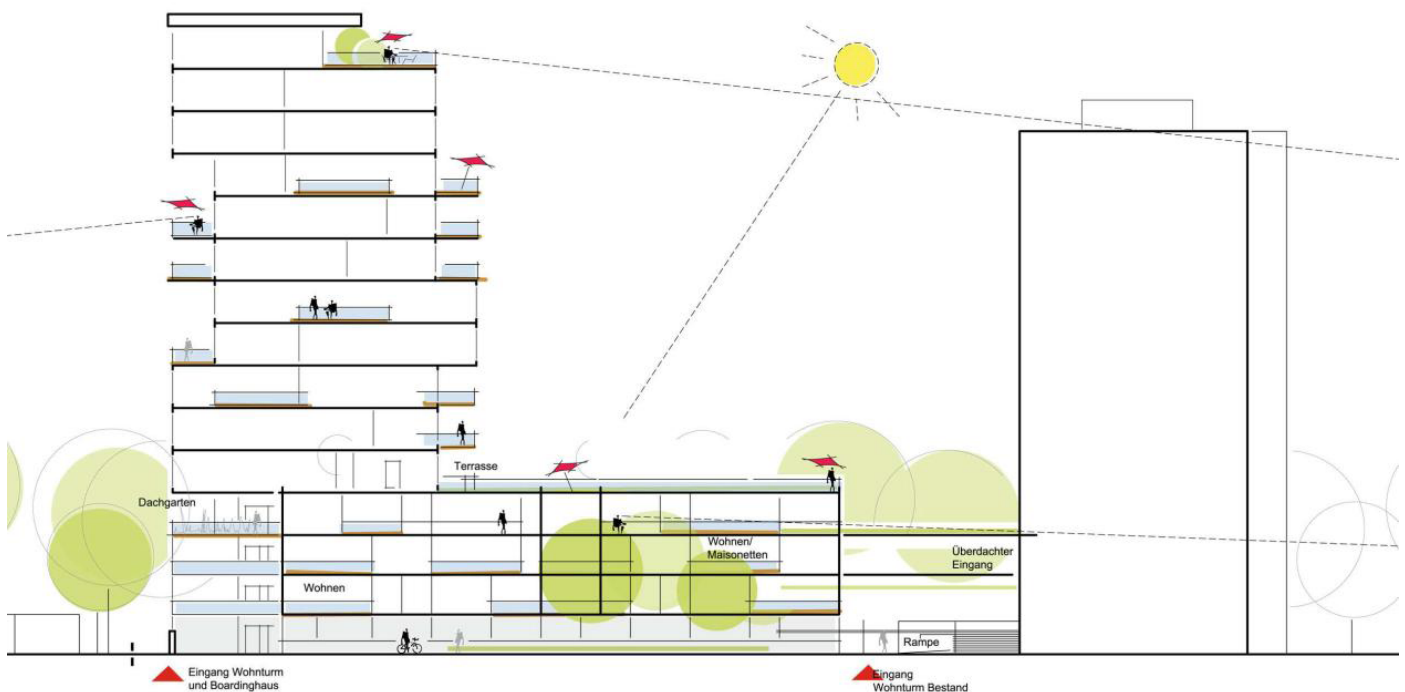


Abbildung 4: Konzeptschnitt

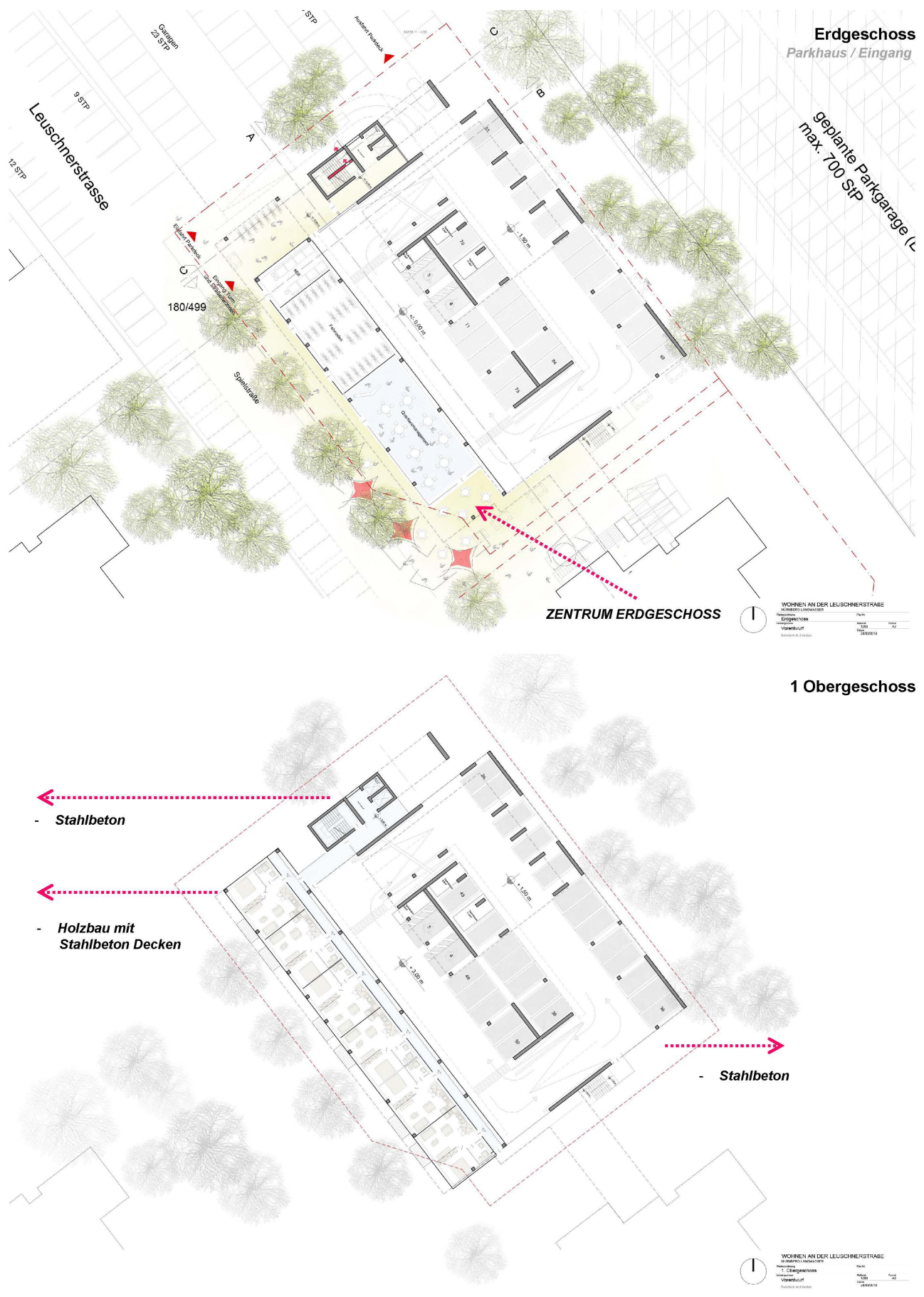
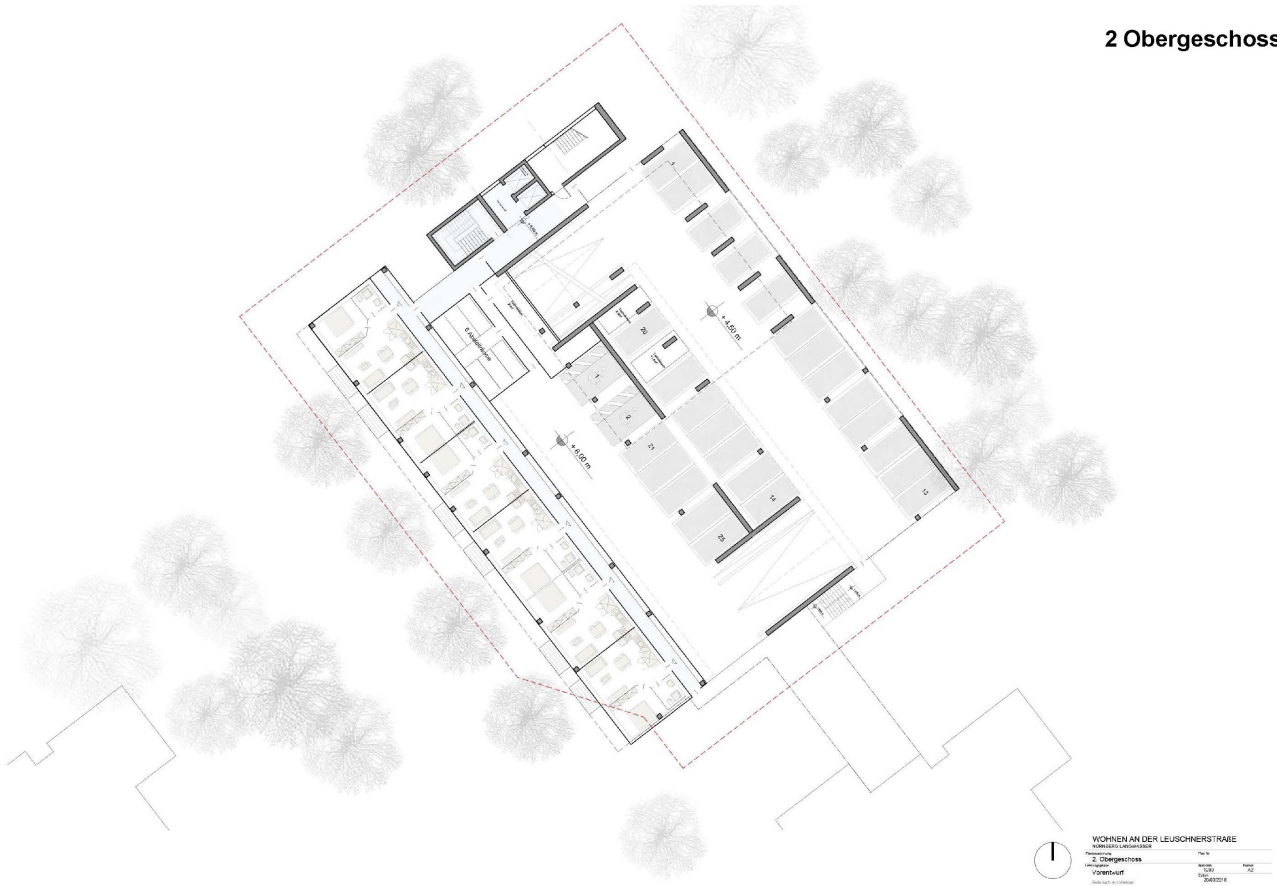


Abbildung 5: Lageplan

2 Obergeschoss



3 Obergeschoss Erdgeschoss Turm

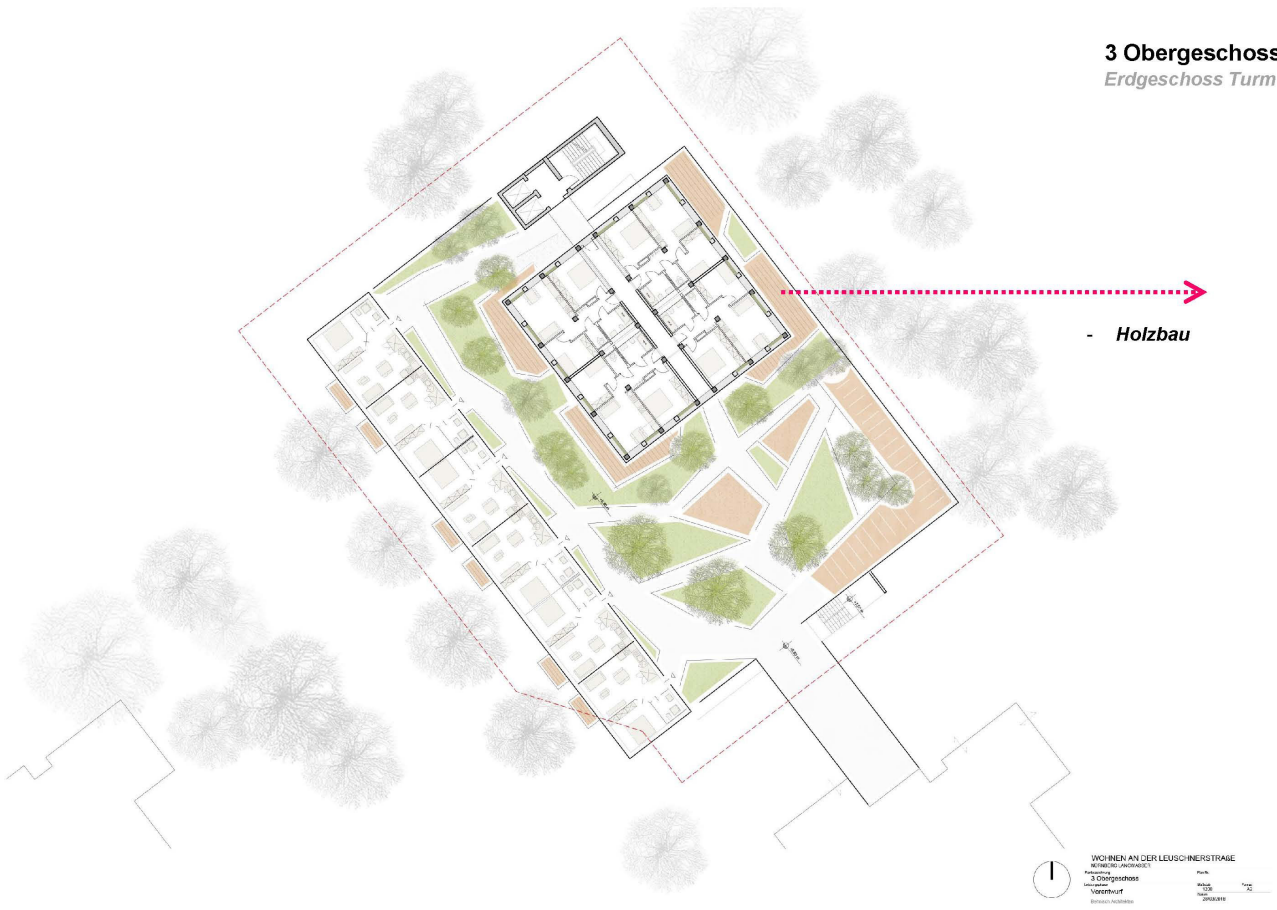


Abbildung 6: Lageplan

ansätze gibt, die zum Einsatz kommen können ohne sich den Vorgaben der Gesetzgebung zu widersetzen. Dabei ist abzuwägen inwieweit die Reduktion des Verbrauchs durch Materialeinsatz gerechtfertigt ist. Das Anstreben einer gesamtheitlichen Betrachtung des Lebenszyklus, erfordert ein Abwägen zwischen den Punkten des Energieverbrauchs, des Ressourcenverbrauchs sowie des umweltbewussten Einsatzes von Materialien.

Desweiteren ist in der Umsetzung des Gebäudes das Ziel der CO₂ Neutralität unter dem Gesichtspunkt der Energiegewinnung eine große Herausforderung. Da die Dachfläche nicht ausreichen wird um den Energiebedarf über eine PV Anlage komplett regenerativ zu decken, wurde eine Vergrößerung der nutzbaren Fläche auf die Fassade als Notwendigkeit vorgesehen.

Im Zuge des gebäudeklimatischen Gesamtkonzeptes wird das Maß der Energiebereitstellung mit dem Bedarf und Einspeisungspotential verglichen und dahingehend dimensioniert. Als Basis dieser Konzeptentwicklung wird es eine grundlegende Potentialanalyse des Klimaengineeringbüro Transsolar geben, die neben dem Fernwärmenetz auch weitere mögliche nutzbare Energiequellen untersucht und bewerten wird.

Aber nicht nur in der Nutzungsphase ist es wichtig den Energiebedarf gering zu halten. Um möglichst ressourcenschonend und CO₂ neutral zu bauen, muss das Gebäude und die Konstruktionsweise ganzheitlich untersucht werden. Daher wird versucht eine Kombination aus qualitativen Betrachtungen, wie einer Lebenszyklusanalyse und quantitativer Aussagen der statischen, brandschutztechnischen sowie konstruktiven Vorgaben anzustreben.



Abbildung 7: Objektbeschreibung - Lageplan

Arbeitsprozess und Darstellung des Ziels

Zielsetzung des Projektes für das Hochhaus in Nürnberg-Langwasser ist es, ein Holzhochhaus in Holzhybridbauweise zu erstellen. Erbaut auf einer bereits versiegelten Fläche (dem ehemaligen Garagenhof) ist das Bestreben, durch den nachwachsenden Rohstoff Holz, auf einem minimalen Baufenster und einer intelligenten Fassadenlösung, einen möglichst geringen ökologischen Fußabdruck und wenig Energieverbrauch in der Nutzung zu erzeugen und darüber hinaus eine maximale Nachverdichtung an Wohnraum zu schaffen.

Die Innovation des Vorhabens besteht darin, existierende Technologien auf die veränderten Anforderungen hin anzupassen. Der Einsatz innovativer Lösungen und deren Kombination soll eine ganzheitliche Betrachtung vorschlagen, die eine Übertragbarkeit auf zukünftige Planungsprozesse ermöglicht. Schwerpunkt dabei ist es, eine ökologische Bauweise mit kostenarmer Instandhaltung und einer reduzierten Gebäudetechnik zu verbinden. Bestandteil hierbei ist eine maximale Ressourcenoptimierung die sich auf drei Ebenen abspielt (s. Abbildung 8):

- gebaute Umwelt;
- Graue Energie;
- Betriebsenergie.

1. Das Gebäude wird auf bereits versiegelten Flächen (Parkplatz) errichtet, als nachhaltige und verantwortungsbewusste Bodennutzung in einer konsolidierten Stadtstruktur. Das Parkhaus beinhaltet die neuen notwendigen und die entfallenen Parkplätze. Das Erdgeschoss nimmt Geschäfte auf, um eine reine Wohnnutzung zu vermeiden und den angrenzenden Gebäuden weitere andienende Nutzungen zur Verfügung zu stellen; somit reagiert der ergänzende Stadtbaustein auf die nachhaltige Entwicklung der Umgebung und dient als Beispiel für eine vielschichtige Nachverdichtung mit Rücksicht auf die Versorgung und Nachfrage nach kurzen Wegen. Die Qualität der Außenräume steht im Mittelpunkt der Betrachtung. Diese sollen durch eine wertvolle grüne Infrastruktur stets einen attraktiven Ort der Begegnung darstellen, um das soziale Leben des Viertels in Hinblick auf ein inklusives Modell der Gesellschaft zu fördern.

2. Das Holzhochhaus soll als Prototyp für ökologisches Bauen im Bereich Wohnhochhaus gelten und erörtert dabei die Themen Brandschutz, Schallschutz im mehrgeschossigen Wohnungsbau sowie Lebenszyklusanalyse. Dabei soll die Flexibilität der Grundrisse durch die Konstruktion erhalten bleiben, um Transformationen zu ermöglichen und trotz gleicher Nutzung die Adaptionfähigkeit unterschiedlicher Wohnmodelle zu berücksichtigen. Die Holzbauweise in Kombination mit dem Betonkern, der eine ohnehin geplante Maßnahme darstellt, hat einen starken Einfluss auf den Gesamtenergiebedarf.

3. Ein weiteres Vorzeigeelement des Vorhabens besteht im Entwicklungsprozess der zur Minimierung des Energiebedarfs bei einer Maximierung der Energiegewinnung führt.

Das Gebäude wird weitestgehend durch regenerative Energie versorgt. Ein wichtiger Aspekt in der Planung ist nicht nur die Reduzierung des Energiebedarfs zur Deckung des Heizwärmebedarfs gewesen, sondern auch die Minderung der Komplexität eingebauter Technik für die Raumkonditionierung. Eine weitere Besonderheit des Planungsprozesses, ist die Tageslichtoptimierung der Räume mit Simulationstools. Sie optimieren das Gebäude im Bezug auf eine hohe Aufenthaltsqualität und der Maximierung der Tageslichtnutzung, um den Bedarf an künstlicher Beleuchtung zu reduzieren. In einem Rhino-Grasshopper Script wurden verschiedene Szenarien durchgespielt die verschiedene Ausrichtungen, Fensterabmessungen und Positionen parametrisieren. Diese Simulationen ermöglichen es, die Verteilung und die Intensität des Tageslichts zu quantifizieren und darzustellen. In einem iterativen Prozess können so verschiedene Lösungen im Bezug auf Tageslicht optimiert werden, um die Aufenthaltsqualität im Innenraum mit Kennwerten zu belegen.

Den Energiebedarf wird das Gebäude teils aus den bestehenden Netzen abdecken, teils soll aber auch durch eigene dezentrale Energiegewinnung die Abhängigkeit vom Netz reduziert werden. Einerseits wird die Dachfläche mit PV-Modulen belegt welche als zentrale Anlage Energie für das Hochhaus gewinnt, andererseits sollen die Überdachungen der Balkone in der Fasadenebene als persönliche Anlage den täglichen individuellen Bedarf der Haushaltsgeräte sichern und stellen ein Beispiel der Integration der Energiegewinnungssysteme in die Architektur dar. Diese Maßnahme soll den Verbraucher anregen, ein tieferes Bewusstsein für den Energieverbrauch zu

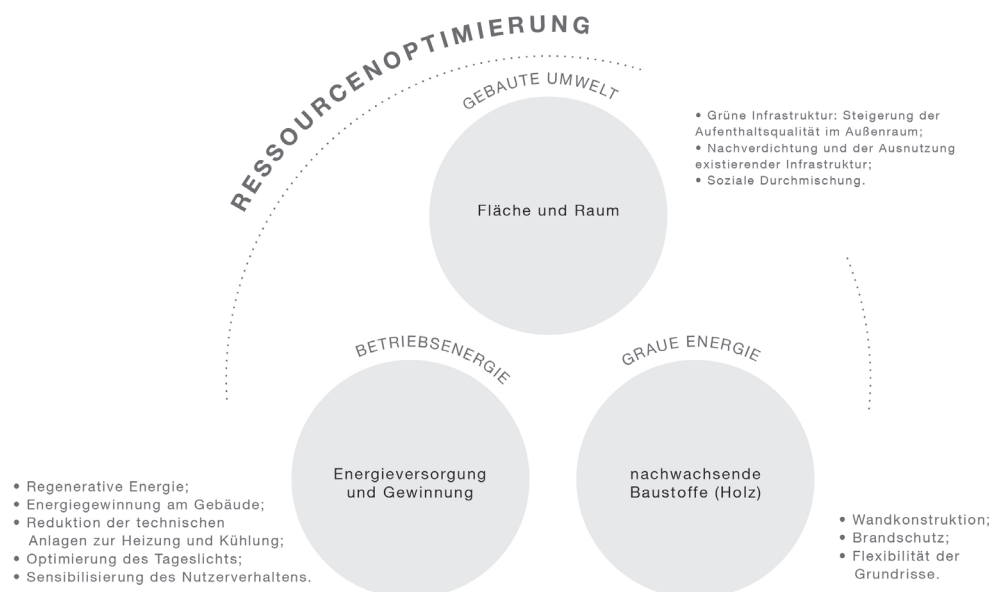


Abbildung 8: Arbeitsprozess

entwickeln und den Umgang mit Ressourcen in Eigenregie zu justieren. Die dezentrale Gewinnung (PV) wird zudem ein Gestaltungselement der Fassade und dient gleichzeitig als Witterungsschutz.

Für die Dimensionierung der Anlage wurde ein Software-Tool (Honeybee-Script) in Grasshopper entwickelt das die Gewinnung durch die Parameter - Orientierung und Auslegung – maximiert und gleichzeitig den statischen Anforderungen sowie der Konstruktion gerecht wird. Die dezentrale Gewinnung soll ermöglichen, den gewonnenen Strom vom Benutzer direkt verbrauchen zu lassen: damit sollen Erzeugung und Verbrauch so abgestimmt sein, dass die üblichen, anfallenden Überschüsse vermieden werden. Das Verhältnis zwischen Energiegewinnung und Energieverbrauch soll darüber hinaus das Gebäude als essentieller Baustein für die Dezentralisierung der Energiegewinnung hervorheben. Gebäude gelten als Verbraucher, sollen aber ihre Relevanz als Ort der Energiegewinnung im Kontext der Energiewende ausbauen.

Durch die Maximierung der Eigennutzung sollen die Schwankungen in der Produktion durch die Fluktuation der Ressource Sonne neutralisiert werden und die unvorteilhaften Überladungen des Netzes in den sonnenreichen Tagen vermeiden.

Lösungsentwicklung zur Erreichung der Genehmigungsfähigkeit eines Hochhauses in Holzbauweise

Der mehrgeschossige Holzbau erfährt seit Jahren eine steigende Beliebtheit. Die positiven Erfahrungen dieser Bauweise werden derzeit auch bereits in ersten Bundesländern in den jeweiligen Bauordnungen aufgegriffen und ermöglichen nun auch die Anwendung des Baustoffes Holz als Element der Tragstruktur in den Gebäudeklassen 4 und 5, als auch für Hochhäuser mit einer Gebäudehöhe größer 22m. Dies wird neben Baden-Württemberg nun auch in Hamburg als zweites Bundesland in deren Bauordnung umgesetzt [Gei17].

Die bisherige Vorsicht beruht auf dem Brandschutz. Jedoch belegen die Versuchsprogramme der Holzhersteller zur Erlangung von Verwendbarkeitsnachweisen zum Einsatz von Holzkonstruktionen im mehrgeschossigen Holzbau (v. a. auch für nicht durch die Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR) abgedeckte Produkte des Massivholzbau, z. B. Brettsperrholz), dass auch Holz aus brandschutztechnischer Sicht bei richtiger Anwendung keine Nachteile zu konventionellen Bauweisen bildet, wie dem Stahlbetonbau.

Das derzeit höchste im Bau befindliche Holzhaus in Deutschland mit insgesamt 10 Geschossen wurde in Heilbronn gebaut [Fri17] und wird 2019 fertiggestellt. Das Projekt „Nürnberg Langwasser“ reiht sich daher nahtlos in die Reihe der höchsten Hochhäuser in Holzbauweise in Deutschland ein. Dieses Bauverfahren ist keines Wegs neu. Seit Jahrhunderten wird Holz im mehrgeschossigen Bau von Gebäuden verwendet, z. B. beim 11-geschossigen Pura Besakih Tempel auf Bali mit einer Höhe von 44m aus dem 8./9. Jhd. [Kau17]. Zur Optimierung der Lastabtragung in den Baugrund wurden hier bereits stockwerksweise durchlaufende Stützen verwendet. Dieses Konzept wird ebenfalls im Projekt „Nürnberg Langwasser“ aufgegriffen, um die Stockwerkslasten mit möglichst wenig Zwischenschichten direkt in den Baugrund abzuleiten. Dies erhöht die Wirtschaftlichkeit der Fügetechnik durch eine geringere Anzahl von Verbindungen sowie durch einfachere Verbindungstechniken im Decken-Stützen-Anschlussbereich. Des Weiteren wird so die Robustheit des Bauwerks verbessert.

Einen wesentlichen Teil der Berechnung mehrgeschossiger Holzbauten bildet die Auslegung der Gebäudeaussteifung. Bereits im Mittelalter wurden Gebäude errichtet, deren Aussteifung alleine über Holzelemente erfolgte, z. B. der 7-geschössige Kornspeicher der Stadt Geislingen an der Steige aus dem Jahr 1445. [3] Dieses System wird grundsätzlich auch beim Projekt „Nürnberg Langwasser“ aufgegriffen. Die Aussteifung des Turms erfolgt dabei über Holzwände, die über eine Deckenscheibe aus Holz-Beton-Verbund zur Aussteifung gekoppelt werden. Die Betonschicht der Holz-Beton-Verbunddecken hat neben der aussteifenden Funktion auch die Funktion eines Brandriegels, um den stockwerksübergreifenden Brandschutz zu verbessern. Das Besondere am Projekt „Nürnberg Langwasser“ ist, dass für die Gebäudeaussteifung nicht wie üblich ein Stahlbetonkern, z. B. in Form eines Treppenhauses, herangezogen wird. Das Gebäude soll sich dabei selbst durch die Verwendung von Holzscheiben aussteifen. Das Stahlbetontreppenhaus wird entkoppelt vom Turm errichtet.

Im Gegensatz zu den klassischen Bauweisen, z. B. des Fachwerks, werden heute industriell gefertigte Holzprodukte eingesetzt. Dies sind zum einen Brettsperrholzelemente für aussteifende Scheiben und Decken oder auch die Verwendung von BauBuche, deren charakteristische Festigkeit in Faserlängsrichtung mit 70 N/mm^2 nahezu dreimal größer ist als die Druckfestigkeit eines üblichen Betons für den Wohnungsbau der Klasse C25/30 mit 25 N/mm^2 . Darüber hinaus ermöglicht die industrielle Fertigung die Herstellung und das Fügen von Querschnitten, die im natürlichen Wuchs nicht möglich wären, z. B. Stützenquerschnitte von $40 \times 40 \text{ cm}$ aus BauBuche. So können die Eigenschaften des Holzes optimal auf die jeweilige Verwendung abgestimmt werden.

In Bezug auf die Herstellung ist der Holzbau auf Grund des hohen Vorfertigungsgrades eine sehr schnelle Bauweise, die die Lärm- und Schmutzbelastung der Anwohner während der Bauzeit minimiert.

Eine der wichtigsten Aspekte im Holzbau ist in einer Zeit in der Ressourcenschonung, Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit sowohl gesellschaftlich als auch politisch einen sehr großen Stellenwert einnehmen, eine nachhaltige Holznutzung. In Deutschland hat daher die Waldfläche in den Jahren 1990 – 2010 um 5% zugenommen, es wachsen jährlich 120 Mio. m^3 Holz nach, von denen 80 Mio m^3 als Rohholz genutzt werden [Kau17]. Hierbei ist durch die nachhaltige Mischwaldnutzung neben den klassischen Nadelholzarten, wie Fichte, auch eine Steigerung der Laubholznutzung zu beobachten, z. B. der Buche.

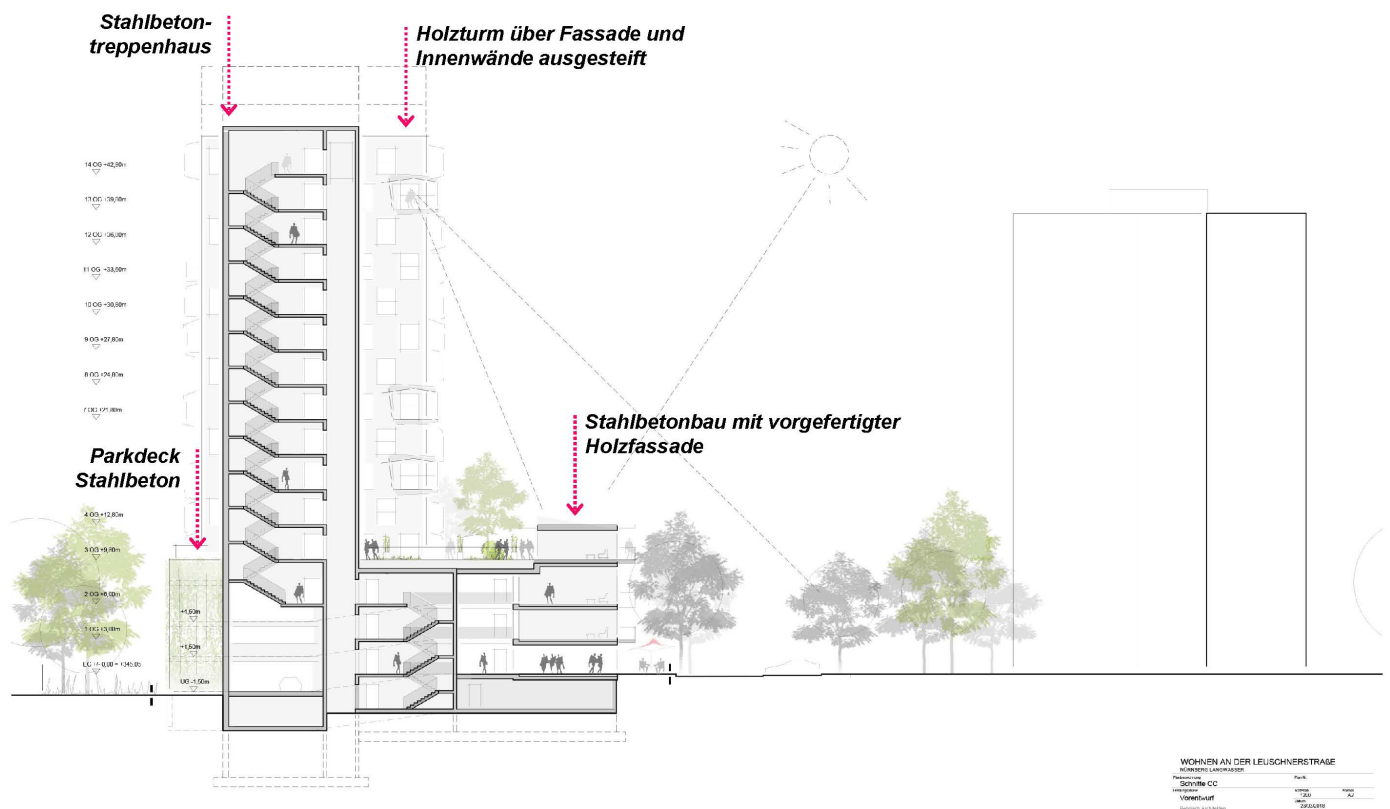


Abbildung 9: Schnitt - CC Treppenhaus

II. KONZEPTION UND MODELLIERUNG

II. 1. Tragwerkslösung

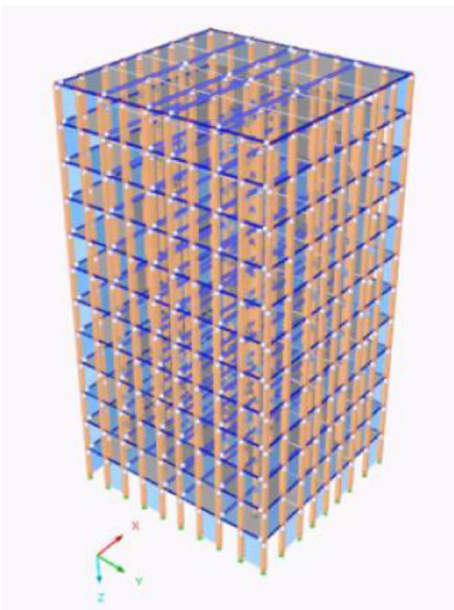


Abbildung 10: Statisches Berechnungsmodell

Vertikaler Lastabtrag beim Hochhaus

Die HBV-Decken spannen einachsig zwischen deckengleichen Stahlunterzügen. Der Verbund zwischen Beton und Brettschichtholz wird über Kerben hergestellt. Stahlunterzüge an den Außenkanten des Gebäudes spannen als Einfeld- bzw. Gerberträger von Stütze zu Stütze (vgl. Abbildung 10). Die Unterzüge im Mittelbereich des Gebäudes werden als Einfeldträger ausgeführt. Die Stützen aus Furnierschichtholz (in den oberen Geschossen voraussichtlich Brettschichtholz) nehmen so geschossweise die Lasten auf und geben diese an der Unterkante des dritten Obergeschosses – Übergang zum Parkdeck – an die Stahlbetondecke bzw. die Stützen und Wände aus Stahlbeton ab. Deckenelemente, Unterzüge und Stützen sind so konzipiert, dass ein sehr hoher Vorfertigungsgrad möglich ist.

Horizontaler Lastabtrag beim Hochhaus

Der Holzturm steht unabhängig von dem Treppenhausturm aus Stahlbeton und steift sich selbst ohne einen Kern aus Stahlbeton aus. Dies ist durch die schachbrettartig in der Fassade des Gebäudes angeordneten Wandscheiben und durch die von unten bis oben durchgängigen Innenwände aus Brettsperrholz möglich (vgl. Abbildung 11). Diese Wandscheiben stehen immer zwischen zwei – auch vertikal lastabtragenden – Stützen, fungieren so als reines Schubfeld, da die Stützen Druck und Zugkräfte aus lateralen Einwirkungen aufnehmen (vgl. Abbildung 12).

Die Randunterzüge, welche teilweise auch die HBV-Decke tragen, sind ebenso an diese Wände angeschlossen. Sie stellen die Verbindung der Deckenscheibe und den Wandscheiben dar. Die HBV-Decke ist als Fertigteil-Elementdecke geplant, welche auf der Baustelle durch Fugenverguss als Scheibe ausgebildet wird.

Die erwähnte Schachbrettanordnung führt dazu, dass sich bei horizontalen Einwirkungen, in unserem Fall maßgeblich Wind, Zug und Druckkräfte teilweise gegenseitig aufheben (vgl. Abbildung 13). So wird bei einer relativ offenen Fassadengestaltung mit effizienter Tageslichtnutzung ein effizienter Lastabtrag garantiert.

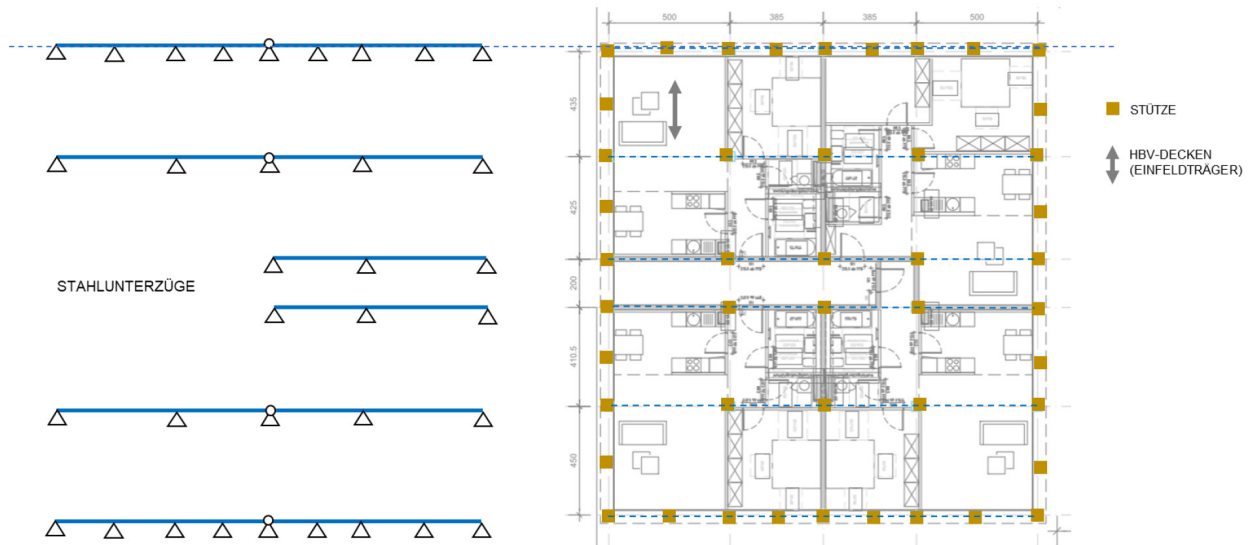


Abbildung 11: Systeme und Prinzip des vertikalen Lastabtrags

Im Allgemeinen verhält sich ein rein durch Bauteile aus Holz ausgesteiftes Hochhaus weicher als eine massive Stahlbeton oder Stahlkonstruktion, die laterale Steifigkeit des Systems ist niedriger. Dies bedeutet, dass den horizontalen Einwirkungen – bspw. Wind – besondere Beachtung geschenkt werden muss. Im Falle des Holzhochhauses beim Projekt Nürnberg Langwasser sind die horizontalen Verformungen aus Windeinwirkungen maßgebend für den Entwurf der Konstruktion und die Auslegung der Aussteifungskonstruktion.

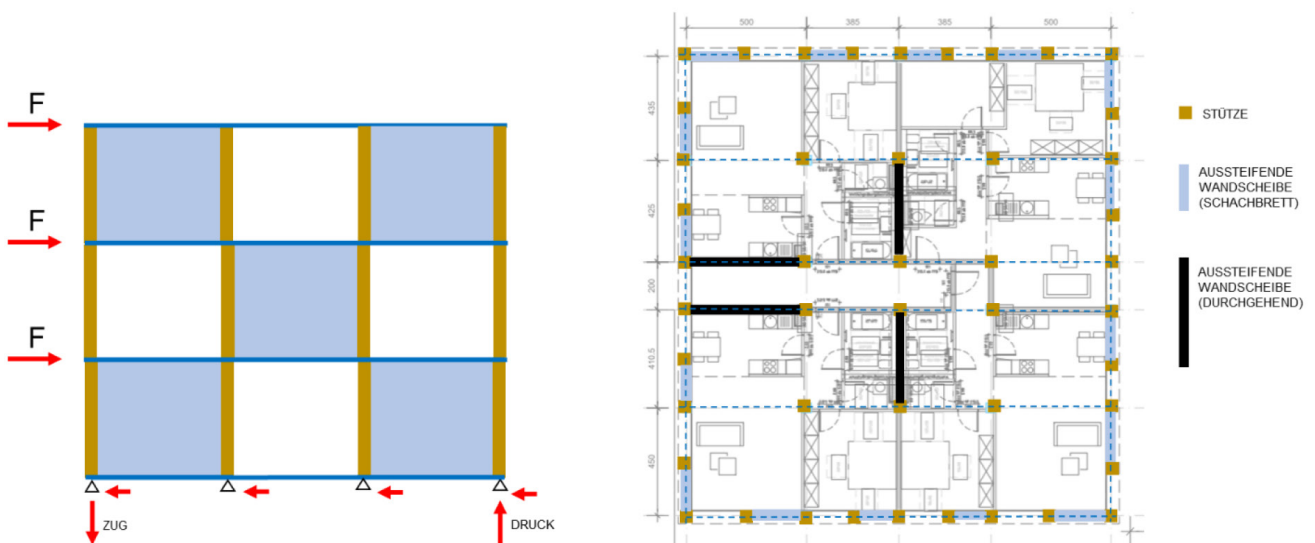


Abbildung 12: System und Prinzip des horizontalen Lastabtrags

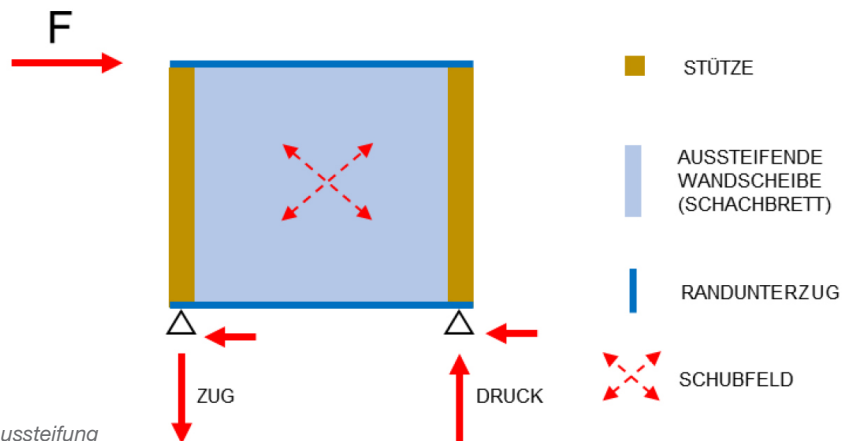


Abbildung 13: Teilsystem der Aussteifung

Baudynamische Gesichtspunkte

Neben den statischen Belastungen (vertikale Eigen- und Nutzlasten) und der quasi-statischen Belastung aus Wind gilt es bei Hochhäusern auch baulynamische Lasten und Effekte zu untersuchen. Gerade bei diesem Projekt bedarf es hierzu detaillierte Betrachtungen, denn Gebäude mit vergleichsweise niedrigen lateralen Steifigkeiten reagieren sensibler auf dynamische Belastung.

Unabhängig von der Konstruktion und der Materialwahl beim geplanten Bauwerk können die nahe gelegenen ähnlich hohen Nachbarbauwerke die Belastung und somit die Reaktion des Bauwerks aus Windeinflüssen maßgeblich beeinflussen.

Zum erwähnten dynamischen Verhalten erfolgten bereits Analysen der Eigenfrequenzen des Gebäudes am Berechnungsmodell. Ausstehend sind Windkanalversuche, welche Einblicke in die Bauwerks-Umgebungsinteraktion geben sollen. Die Ergebnisse daraus haben Einfluss auf die konstruk-

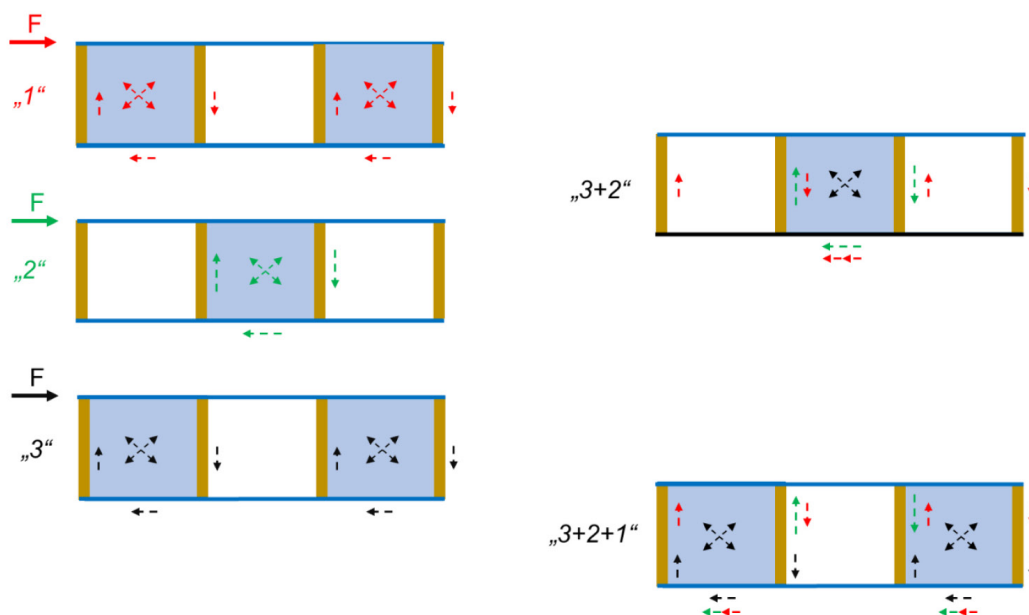


Abbildung 14: Effizienter Kraftfluss der „Schechbrettaussteifung“

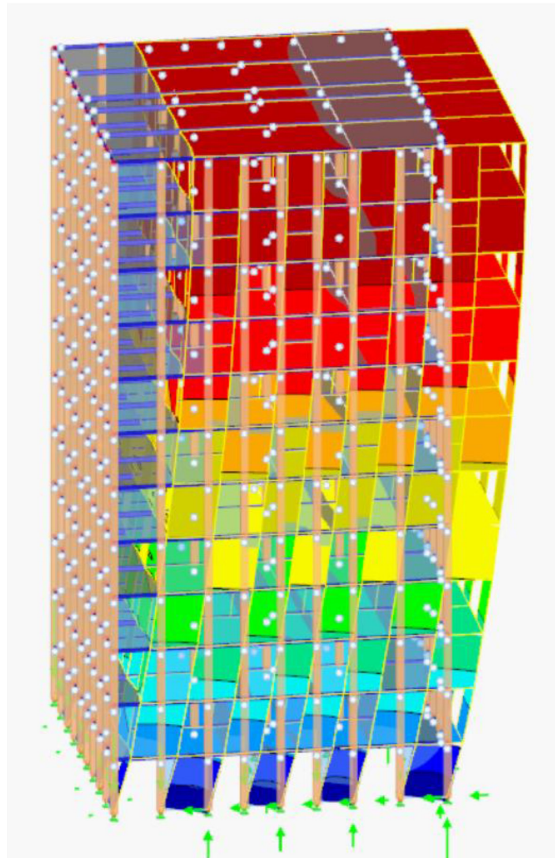


Abbildung 15: Struktur unter Windbeanspruchung (Verformungen überhöht dargestellt)

tive Auslegung der Aussteifung des Hochhauses. Zudem können durch die realere Simulation der Bedingungen im Windkanalversuch oft günstigere, niedrigere Windlasten angesetzt werden. Dies hat wiederum günstige Effekte hinsichtlich der Dimensionierung der Bauteile und deren Verbindungen. Die Ergebnisse der Windkanalversuche haben daher einen direkten Einfluss auf die Konzipierung der angedachten strukturmechanischen Versuche, da hierdurch Auswirkungen auf die Größenordnungen sowohl der Lasten als auch der Verformungen entstehen.

Forschungsbedarf

Aktuell ist die Vorplanung des Projektes abgeschlossen. Die verschiedenen statischen Lösungen der Gebäudeteile stehen fest und müssen nun detaillierter untersucht werden. Während der Ausarbeitung des Tragwerksentwurfs hat sich herausgestellt, dass vor allem hinsichtlich des Aussteifungssystems noch Forschungsbedarf besteht.

Im Unterschied zu monolithischen Bauweisen, wie einer Stahlbetonkonstruktion, beruht die Nachgiebigkeit der gesamten Aussteifungskonstruktion eines „reinen“ Holzhochhauses auf den Nachgiebigkeiten der Verbindungen der einzelnen Teile des Aussteifungssystems. Das hier geplante Stützen-Schubfeldsystem setzt sich aus der Verbindung der Stützen an die Wandscheiben und der Randunterzüge an die Wandscheiben zusammen. Hinzukommt, dass auch die Stützen nicht monolithisch zusammengeschlossen werden können, also auch hier Verbindungen vorhanden sind welche

eine gewisse Nachgiebigkeit aufweisen. Eine Bemessung als auch eine Optimierung der gesamten Struktur setzt demnach eine sehr genaue Kenntnis und Vorhersage der gewählten Verbindungsmethodik voraus. Normative Fraktilwerte von Materialparametern und normativ konservative Bemessungsansätze liefern hierfür keine zufriedenstellende Vorhersagegenauigkeit zur Prognose der Systemantwort sowohl für einzelne Einwirkungen als auch in der Kombination aller Einwirkungen (Eigenlasten, verschiedene Anordnungen von Nutzlasten und dynamische Windeinwirkungen).

Die Erkenntnisse aus den tiefergehenden experimentellen Untersuchungen soll zu belastbareren Aussagen hinsichtlich der Steifigkeit des Gebäudes führen und der kosteneffizienteren und materialsparenden Auslegung der gesamten Gebäudestruktur dienen. Die Steifigkeit des Aussteifungssystems und das sich daraus ergebende bauldynamische Verhalten des Gebäudes sollte demnach im Fokus der Versuchskonzeption stehen. Die Konzentration auf die statischen Verbindungen der Bauteile ist durch den hohen Wiederholungsgrad der Details, gegeben durch die stringente Struktur des Gebäudes, gerechtfertigt. Auf die Frage welche Verbindungsart hinsichtlich Vorfertigung, also Kosten und Termine, baustatisch und zu guter Letzt bauldynamisch bestmöglich für den Einsatz bei solchen Stützen-Schubfeldsystemen geeignet ist, soll eine wissenschaftlich begründete Antwort gefunden werden.

Die Ergebnisse der Forschung sollen ferner projektbezogen dazu führen die Gebäudestruktur weiter statisch und hinsichtlich der Herstellungs- und Materialkosten zu optimieren. Die Frage ob es zielführend ist, die Verbindung(en) statisch zu optimieren oder die Anzahl der aussteifenden Wände zu erhöhen, soll beantwortet werden. Über den Projektzeitraum hinaus dienen die Forschungserkenntnisse der Weiterentwicklung und Etablierung von hohen Gebäuden aus Holz und Holzhochhäusern.

Ermittlung des maßgebenden Einflusses der Verbindungssteifigkeiten und deren Dauerstandfestigkeit der Verbindungen.

Im Einzelnen liegen folgende Verbindungen bei gewählten Aussteifungssystem vor:

- Stützen-Stützen-Stoß
- Stützen-Wand-Stoß
- Wand-Randunterzug-Stoß
- Stützen-Stützen-Stoß

Bereits durchgeführte Sensitivitätsanalysen an statischen Berechnungsmodellen haben gezeigt, dass die Verbindung Stütze-Wand von den genannten Parametern den größten Einfluss auf die gesamte Steifigkeit der Struktur hat. Neben der Verbindungssteifigkeit stellt auch die Materialwahl der Holzstützen eine maßgebende Stellschraube dar. Zusätzlich zu den rein statischen Verbindungsmittelverhalten muss auch die Dauerstandfestigkeit beleuchtet werden. Es gilt mittels Literaturrecherche und Bauteilversuchen im bauprak-

tischen Maßstab herauszufinden welche Parameter in der Realität den größten Einfluss auf die Effizienz der Aussteifungskonstruktion haben.

Es sollen folgende Einflussgrößen variiert und die Einflüsse auf die Steifigkeit der Konstruktion untersucht werden:

1. Verbindung Wand-Stütze

a. Geklebte Verbindung

(bspw. Keilzinkungsvarianten in Gegenüberstellung zu stumpf gestoßenen Varianten)

b. Verbindung Wand-Stütze mittels stiftförmige Verbindungsmittel (bspw. schräge Verschraubung in Gegenüberstellung zu Schubholzlösungen mit genagelten Verbindungsmitteln)

2. Stützen Material

Furnierschichtholz in Gegenüberstellung zu Brettschichtholz

Hier soll v.a. auf den Einfluss des Materials in Hinblick auf die Zusammenwirkung der Stütze mit dem Schubfeld als Aussteifungssystem eingegangen werden.

3. Verbindung Stütze-Stütze

Hierbei liegt der Fokus auf die Ermittlung von Einflüssen von auswechselnden bzw. dynamischen Belastungen auf die Verbindung.

Bevor Bauteileversuche durchgeführt werden, sind im nächsten Schritt Versuchsstandsplanungen vorgesehen. Diese werden nach genauer Definition des Projektverlaufs an eventuelle Anpassungen der Architektur und den Erkenntnissen aus dem Windkanalversuch angepasst.

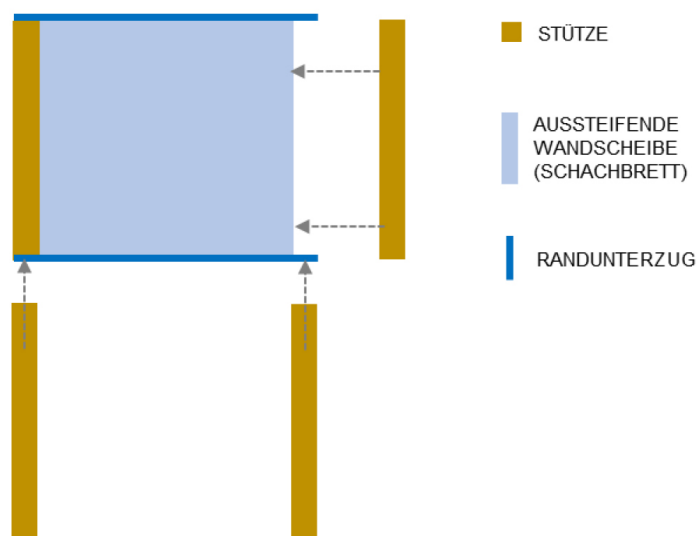


Abbildung 16: Statische Komponenten und ihre Zusammensetzung

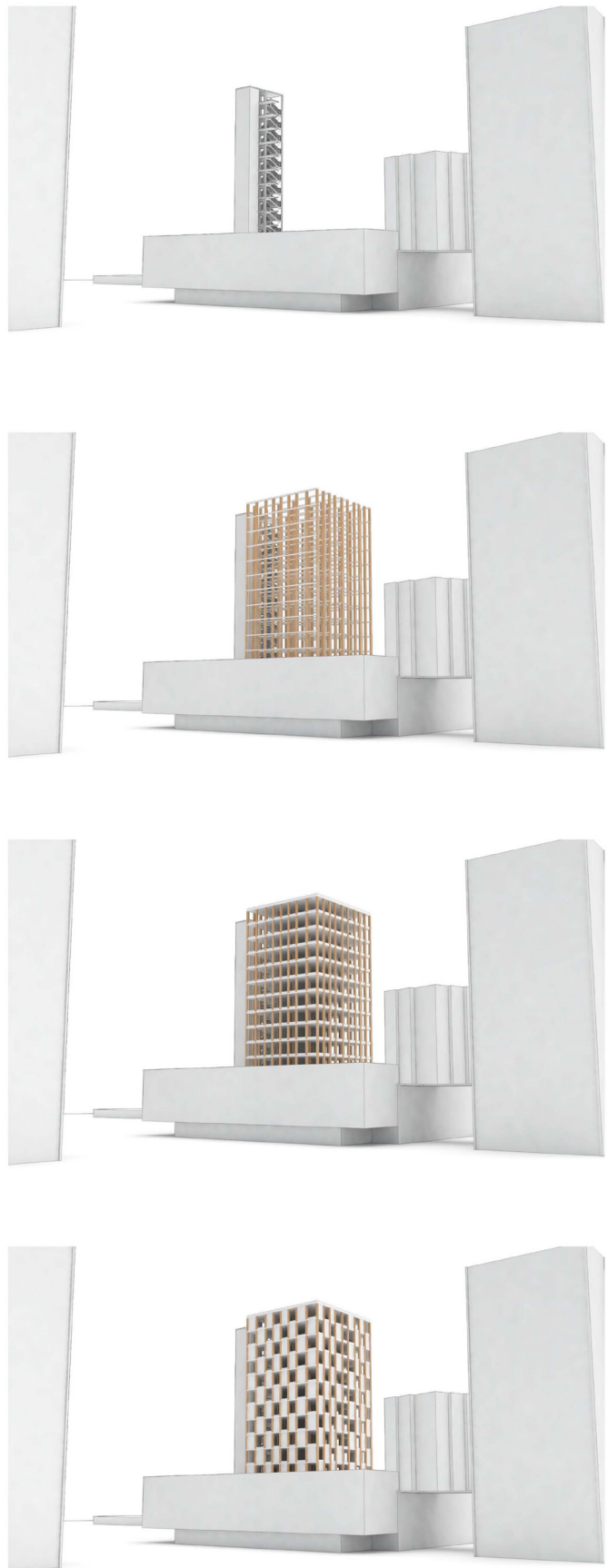


Abbildung 17: Struktureller Aufbau

II. 2. LCA und LCC

Das neue Gebäude soll ganzheitlich unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit entstehen. Dabei geht es darum, den Lebenszyklus schwerpunktmäßig anhand der Rohstoffgewinnung / Herstellung (cradle to gate) (A1-3) zu untersuchen. Da die Annahme getroffen wurde, dass wenig gesicherte Daten für die Errichtungsphase vorliegen, wird das Modul A4-5 (Gebäudeerrichtung) zu Beginn der Untersuchung ausgeschlossen. In der Betriebsphase (B1-7) werden insbesondere die Reparatur (B3) und der Austausch (B4) von Bauteilen sowie der Energieverbrauch (B6) betrachtet. Die Umweltwirkungen aus dem Betrieb werden aufgrund der sehr langen gewählten Lebensdauer von 100 Jahren als entscheidend eingeschätzt. Trotzdem müssen die Bilanzergebnisse pro Jahr im Auge behalten werden.

Datengrundlage

Primär werden aktuelle Daten aus der Ökobaudat (Stand Oktober 2017) für die Berechnungen der Ökobilanzen verwendet. Dabei werden soweit als möglich die Durchschnittsdatensätze für Deutschland ausgewählt, um eine möglichst allgemeingültige LCA zu erhalten. Ergänzend können spezifische EPD-Datensätze zur Anwendung kommen. Sollten diese Daten nicht ausreichen, bzw. für bestimmte Prozesse oder Produkte nicht vorhanden sein, dann wird auf wissenschaftliche Publikationen und ggfs. vereinfachte Prozessdaten aus Ökobilanzinventaren wie GaBi oder ecoinvent zurückgegriffen (thinkstep AG, 2018), (ecoinvent Association, 2018).

LCA Basisdaten: ÖKOBAUDAT 2017-I (27.11.2017), Lebenszyklusmodul A1-3 (cradle to gate), B4 (Austausch) und Modul C1-C4 (gate to grave).

Für das Verhalten der Konstruktion über die Lebensdauer von 100 Jahren sind die folgenden Annahmen zugrunde gelegt worden:

- Tragkonstruktion muss in den 100 a nicht ausgetauscht werden
- Erneuerung Anstriche werden vernachlässigt
- Erneuerung Innenputz 45 a
- Gesamtlebensdauer 100 a

LCA und LCC Analyse auf Gebäudeebene -Definition, Ziel und Untersuchungsrahmen:

- Hochrechnung der Raumbetrachtung auf generische Gebäudetypen (3 unterschiedliche Gebäudetypen und 3 verschiedene Energiestandards) über den Lebenszyklus von 100 Jahren
- Ort und Geometrie
- Errechneter GWP Beitrag (A1-A3) und zukünftiger Entsorgungsaufwand (C1-C4)
- Errechnete Kosten für Herstellung und Betrieb äquivalent zur Identifikation der wichtigsten Einflussgrößen auf die Umweltwirkung (aus den verwendeten Stoffen (A-C) und aus dem Energiebedarf im Betrieb (B6))
- Verhältnis von Herstellung der Konstruktion und Haustechnik (Errichtung und Entsorgung A1-3, (A4-5), B4, C) zum Einfluss des Betriebs der verschiedenen Bauweisen und Energiestandards, und dabei besonders der

Einfluss:

- o der Gebäudegeometrie A/V, Hüllflächenanteil und –qualität,
- o der Anlagentechnik, ihrer Effizienz und Lebensdauer,
- o des Brennstoffs bzw. der Primärenergiequelle.

Die Vorgehensweise für die LCA- und LCC-Untersuchungen wird in den folgenden Abschnitten dieses Kapitels näher beschrieben. Ziel dabei ist es, die Holzbauweise mit einer Standardbauweise hinsichtlich des Aufwandes der grauen Energie zu vergleichen. Vor diesem Hintergrund werden verschiedene Bauweisen miteinander verglichen, um eine Analyse der Konstruktions- und Betriebsparameter von Holzkonstruktionen auf die Lebenszyklusdaten von Typengebäude durchzuführen.

Zur Ermittlung der Sachbilanz der im Gebäude verbauten Materialien wird eine Mengenermittlung auf der Basis von Typenentwürfen in der Gebäudeklasse 5 angestellt. Als Referenz werden Bauten als ein Standardgebäude nach EnEV-Standard 2016 und ein Niedrigenergiegebäude, das an den Passivhausstandard angelehnt ist, gegenübergestellt.

Das Vorgehen auf der Gebäudeebene folgt in den Grundzügen der Untersuchung auf Bauteilebene und auf der Ebene des Einzelraums. Es werden Bauweisen untersucht, die in sich weitestgehend aus einem Baustoff bestehen, insbesondere hinsichtlich ihrer primären Tragstruktur und Hüllaufbauten. Damit werden die dominanten Massen an Materialien nach den Materialgruppen Ziegelmauerwerk, Leichtbeton und Holzmassiv unterteilt.

Die Systemdefinitionen und Inputparameter für die Umweltwirkungen gelten äquivalent für die Kostenanalyse der Herstellung und des Betriebs über den Lebenszyklus von 100 Jahren.

Ausgehend von den Bauteilen und der Mengenermittlung für die Gebäudetypen, wird das Ergebnis der Kosten hochskaliert. Die ausgewerteten Kostenarten sind dabei die Herstellungs-, Instandhaltungs-, Abbruchkosten für das Gebäude und die TGA. Dazu kommen die Betriebskosten der gebäudespezifischen Technischen Gebäudeausstattung.

Die ausgewählte und untersuchte Größe der Umweltwirkung ist das Treibhauspotential von der Herstellung bis zur Entsorgung der Baustoffe und Bauteile und zusätzlich der wesentlichen Bestandteile der Technischen Gebäudeausstattung (TGA).

Sachbilanz

Sachbilanzdaten

- Input an Materialmengen bezogen auf jeweils 1 m² Bauteilfläche als wesentliche Basisgröße für die Bauteilbetrachtung
- Skalierung der Bauteilaufbauten auf Gebäudeebene anhand der Mengen je Bauteil und unterschiedlich für die drei Gebäudetypen mit unterschiedlicher Nutzfläche
- Berücksichtigung der Schichten aus den in der Regel mehrschichtigen Bauteilaufbauten (bauphysikalisch funktional und damit zwangsläufig notwendig sind bspw. Wetterschutz-, Luftdichtheits-, Trittschalldämm-, Estrichschicht)
- Lebenszyklusdauer 100 Jahre mit Lebensdauern von Bauteilschich-

ten in der Regel nach LNB

- Annahme der vollständigen 100a Lebensdauer für Tragkonstruktionen ohne Austausch
- Bilanzierung der Gebäudetechnik und des Energieverbrauchs anhand einer jeweils an die Gebäudegröße und die Bauweise angepasste Anlagenkonfiguration.
- Zusammenfassung der Herstellungsbilanz der Phasen A1-3, B4 (Instandsetzung) und C1-4

In der Sachbilanz besteht die notwendige Basisgröße aus dem Stoffstrom der verbauten Baustoffe und -teile. Somit wird in der Sachbilanz auf der Gebäudeebene der Input an Materialmengen bezogen auf jeweils einen Quadratmeter der betreffenden Bauteilfläche und mit allen ungestörten Flächen des Bauteils skaliert. Insofern sind auch wieder alle an der Konstruktion beteiligten Bauteilschichten in der Sachbilanz mitberücksichtigt, bis auf die Oberflächen und Beläge. Da es durch die Klimaeinflüsse an der Hülle zu regelmäßigen Instandhaltungsmaßnahmen und Austausch einer oder mehrerer Bauteilschichten kommt, wird auch die TGA mit ihren relativ kurzen Erneuerungszyklen entsprechend betrachtet.

Die Genauigkeit der LCA- und LCC-Berechnung orientiert sich geometrisch ebenfalls am Monatsbilanzverfahren zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs und berechnet dabei die Gebäude- und Bauteilgeometrien mit Außenmaßbezug und die Fenster mit der Rohbauöffnung.

Die Leistung der Bauteile orientiert sich in diesem Abschnitt nur an den Anforderungen der EnEV bezüglich ihres Wärmedurchgangskoeffizienten, lediglich für die Referenzvariante des Niedrigenergiegebäudes werden höhere Anforderungen an die Hülle gestellt. Eine spezifische LCA- und LCC-Untersuchung von Detailanschlüssen und deren möglichen höheren Umwelteinwirkungen oder Mehrkosten wird nicht durchgeführt, da dieser Genauigkeitsgrad nicht in Entwurfsstudien abgebildet ist (vgl. Tabelle in Abb. 18).

Dabei wird die Elektroinstallation von der Berechnung ausgeklammert, da davon ausgegangen wird, dass diese Größe bei allen Gebäudetypen als gleichwertig anzusetzen ist und die Analyse nicht um diesen Parameter differenziert werden muss. Ergänzend dazu werden wieder die Emissionen für den benötigten Energiebedarf für den Betrieb (B6) der Gebäudetypen aufgrund deren Heizwärmebedarfs und Betriebsstroms ermittelt. Dieses Mal nicht mittels einer dynamischen Simulation, sondern auf Basis des Monatsbilanzverfahrens, weil sich aus den bisherigen Simulationsergebnissen ergeben hat, dass dieses Verfahren hinreichend genaue Ergebnisse für den vorliegenden Genauigkeitsgrad liefert. Aus diesen Ergebnissen werden die Einflussgrößen auf die Umweltwirkung aus den verwendeten Stoffen (A-C) für die Konstruktionen ermittelt. Dadurch, dass die Gebäudetechnik als neuer Parameter in die Lebenszyklusanalyse einbezogen wird, ist das Verhältnis der Umweltwirkung von Herstellung der Konstruktion und Haustechnik zueinander genauer zu analysieren. Dazu kommen die Einflüsse aus der Betriebsphase der verschiedenen Bauweisen und Energiestandards.

Lebenszyklusphase	Stoff- und Energieströme	Bilanzierungsweise	Lebensdauern
A1-A3	Baustoffe / Bauteile	Immer, Ökobaudat	nach LNB; und Experteneinschätzung
	TGA ¹ / Leitungen ²		
A4-A5	Baustoffe / Bauteile	bedingt, sofern Ökobaudat	-
	TGA / Leitungen		
B4	Baustoffe / Bauteile	Immer, Ökobaudat	nach LNB; und Experteneinschätzung
	TGA / Leitungen		
B6	Energiebedarf Monatsbilanzverfahren (Brennstoff oder Strom)	Immer, Ökobaudat	Betriebsdauer = Lebensdauer 100a
C1-C4	Baustoffe / Bauteile	Immer, Ökobaudat; Entsorgungsszenarien nach KrWG	-
	TGA / Leitungen		
Vereinfachungen	Geometrieerfassung mit Außenmaßbezug; ungestörte Bauteilflächen; Öffnungen abgezogen (bzw. als eigene Bauteile deklariert)	Immer	-
Ausschluss	Elektroinstallationen;	Nie	-
	Keine Anschlüsse mit konstruktiv-materiellem Mehraufwand		
¹ Geräte für die Heizung und Lüftung			
² Leitungen und Übergabe für Heizung und Lüftung			

Abbildung 18: Übersicht Methodik der Sachbilanz auf Gebäudeebene und Festlegung der notwendigen Inputparameter

LCA Ergebnisse auf Gebäudeebene

Das Ergebnis der Wirkungsbilanz bezieht sich auf den Indikator der klimaschädlichen Umweltwirkungen des Global Warming Potentials [kgCO₂äq]. Die absoluten Gesamtwerte für alle Gebäudetypen und Bauweisen werden normiert auf die jeweiligen Nutzflächen und ein Jahr. Somit sind die Ergebnisse der Varianten untereinander vergleichbar.

Eine Plausibilitätsprüfung der Berechnungsergebnisse der Umweltwirkungen ergibt, dass sich die bestehenden Zusammenhänge zwischen der Gebäudegeometrie, dem Hüllflächenanteil und ihren jeweiligen Auswirkungen auf den Hüllflächenanteil und den Heizwärmebedarf und damit wiederum auf die Emissionen der Erstellung der Konstruktion und des Betriebs des Gebäudes als voneinander abhängig erweisen. Als ein weiterer Anhaltspunkt der Plausibilitätsuntersuchung dient die Anlagentechnik, in ihrer Effizienz im Brennstoffverbrauch bzw. der Energiequelle. Auch hier wird deutlich, dass eine Verbesserung von Effizienz und ein erneuerbarer Energieanteil, wie bei

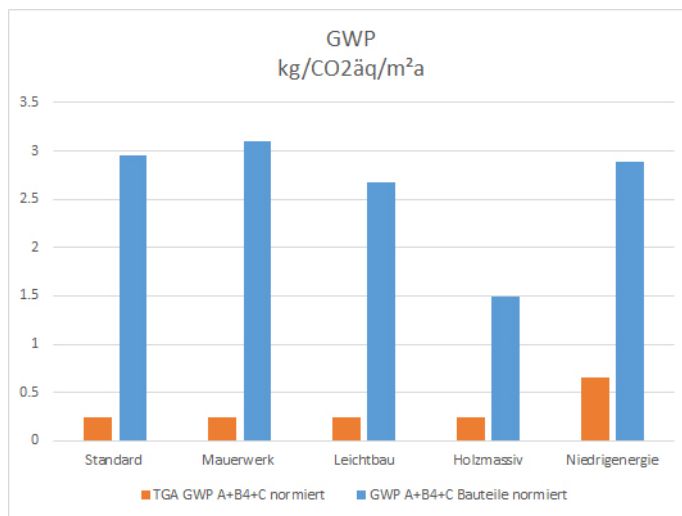


Abbildung 19: GWP Herstellung und Betrieb pro m² NF und a

	LCA												
	Herstellung								Betrieb				
	ZE GWP A Bauteile normiert	ZE GWP B4 Bauteile normiert	ZE GWP C Bauteile normiert	GWP A+B4+C Bauteile normiert	ZE TGA GWP A normiert	ZE TGA GWP B4 normiert	ZE TGA GWP C normiert	TGA GWP A+B4+C normiert	ZE GWP B6 Wärme normiert	ZE GWP B6 Lüftung normiert	ZE GWP B6 Bet.strom normiert	ZE GWP B6 TWW normiert	
	GWPA	GWPB4	GWPC	GWP	GWPA	GWPB4	GWPC	GWP	GWP	GWP	GWP	GWP	
	kg/CO2äq/m²a	kg/CO2äq/m²a	kg/CO2äq/m²a	kg/CO2äq/m²a	kg/CO2äq/m²a	kg/CO2äq/m²a	kg/CO2äq/m²a	kg/CO2äq/m²a	kg/CO2äq/m²a	kgCO2äq/m²a	kgCO2äq/m²a	kgCO2äq/m²a	kgCO2äq/m²a
Standard	1,22	1,13	0,60	2,95	0,14	0,04	0,07	0,24	612,27	185,20	760,25	254,83	
Mauerwerk	1,65	0,77	0,67	3,10	0,14	0,04	0,07	0,24	442,12	185,20	760,25	254,83	
Leichtbau	1,57	0,48	0,62	2,67	0,14	0,04	0,07	0,24	437,57	185,20	760,25	254,83	
Holzmassiv	-2,10	0,44	3,15	1,49	0,14	0,04	0,07	0,24	442,12	185,20	760,25	254,83	
Niedrigenergie	1,23	1,06	0,61	2,89	0,31	0,12	0,22	0,65	120,32	849,79	760,25	254,83	

Abbildung 20: GWP Herstellung und Betrieb pro m² NF

der Wärmepumpe, die Umweltwirkungen auf der Betriebsseite merklich senken.

Die reine Holzbauweise hat die Vorteile des erneuerbaren Baustoffs und ist im GWP immer noch 272 % niedriger als die Standardkonstruktionen. Es wird festgehalten, dass das Standardgebäude mit Solarthermie und das Niedrigenergiegebäude um 89 bzw. 169 % höhere Emissionen für die Herstellung der TGA haben. Der Betrieb (B6) bleibt gleich. Er dominiert wieder über die Herstellung und auch wieder in der Größenordnung des Faktors 100. Die Berechnungsergebnisse bei den Umweltwirkungen des GWP zeigen, dass der Betrieb über 100 Jahre die dominante Größe in Bezug auf die Emissionen darstellt. Weiterhin sind nachwachsende Baustoffe besser geeignet für die Reduzierung der aktuellen Klimawirkungen bei der Herstellung der Baustoffe. Erneuerbare Energiequellen leisten einen wesentlichen Anteil zur Reduzierung des GWP aus dem Betrieb.

LCC Ergebnisse auf Gebäudeebene

Das Ergebnis der Wirkungsbilanz bezieht sich auf den Indikator der Kosten für die Herstellung und den Barwerten für Instandsetzung, Abbruch und Betrieb der unterschiedlichen Gebäudetypen und –größen in Euro brutto [€]. Die absoluten Gesamtwerte für alle Gebäudetypen und Bauweisen werden normiert auf die jeweiligen Nutzflächen und ein Jahr. Somit sind die Ergebnisse der Gebäudetypen untereinander vergleichbar. Eine Plausibilitätsprüfung der Berechnungsergebnisse der Umweltwirkungen ergibt, dass sich die bestehenden Zusammenhänge zwischen der Gebäudegeometrie, dem Hüllflächenanteil und ihren jeweiligen Auswirkungen auf den Hüllflächenanteil und den Heizwärmebedarf und damit wiederum auf die Kosten der Erstellung der Konstruktion und des Betriebs des Gebäudes als voneinander abhängig erweisen.

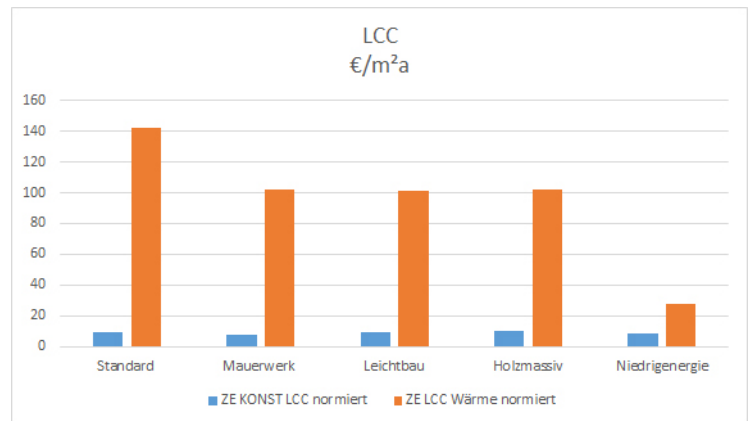


Abbildung 21: LCC Herstellung und Betrieb pro m² NF und a

	LCC					
	Herstellung		Betrieb			
	ZE KONST LCC normiert	ZE TGA LCC normiert	ZE LCC Wärme normiert	ZE LCC Luft normiert	ZE LCC Pumpe + Licht normiert	ZE LCC TWW normiert
	LCC €/m²a	LCC €/m²a	LCC €/m²a	LCC €/m²a	LCC €/m²a	LCC €/m²a
Standard	9,30	1,31	141,91	9,78	40,14	40,23
Mauerwerk	7,35	1,31	102,47	9,78	40,14	40,23
Leichtbau	9,03	1,31	101,42	9,78	40,14	40,23
Holzmassiv	10,38	1,31	102,47	9,78	40,14	40,23
Niedrigenergie	8,62	1,77	27,89	44,86	40,14	40,23

Abbildung 22: LCC Herstellung und Betrieb pro m² NF

Optimierung hinsichtlich LCA und LCC Ergebnisse

Der Betrieb des Standardgebäudes ist am teuersten von allen Bauweisen, allerdings hat das Standardgebäude mit GBW-Therme die geringsten Betriebskosten von allen Heizsystemen. Bei einfachen Gebäuden liegen die LCC für die Wärmebereitstellung um circa 25 % unter dem des Standardgebäudes. Allerdings hat das NE-Gebäude hier einen Vorteil und sogar 75 % weniger Wärmekosten. Das NE-Gebäude für die Lüftung allerdings 359 % höhere Kosten.

Die Verbesserung im Holzmassivbau beziehen sich auf die hohe Herstellungskosten, den höheren Instandhaltungsaufwand, einer Integration von Speichermasse für den sommerlichen Wärmeschutzes und ein Mehraufwand im Schallschutz. Außerdem sind die LCA Ergebnisse des Holzbaus so ausgezeichnet, dass sie aller Voraussicht nach auch Primärbauteilen wie Betondecken nicht besonders benachteiligt werden. Als Strategie wird die Deckenkonstruktion als Stahlbetondecke ausgeführt. Das Schallschutzproblem sowie die Überhitzungsthematik im Sommer werden durch die Erhöhung der Bauteilmasse und der thermischen Speichermasse der Betondecken deutlich reduziert. Gegenüber dem Betrieb über 100 Jahre ist die Herstellung allerdings verschwindend gering und hat nur einen Anteil von etwa 1/10. Weiterhin sind nachwachsende Baustoffe als sehr teuer bei der Herstellung der Gebäude aufgrund der hohen Rohstoffkosten und den hohen Rohstoffmengen in der Hülle. Erneuerbare Energiequellen leisten jedoch einen wesentlichen Anteil zur Reduzierung der Kosten aus dem Betrieb. Dennoch zeigen die Untersuchungen der Variante mit Gasbrennwerttherme, dass die niedrigen Wärmekosten nicht die Umweltwirkungen abbilden.

II. 3. Betriebsenergie

Ziel des Energiekonzepts ist die Minimierung des Ressourcenverbrauchs in Bau und Betrieb des Gebäudes und gleichzeitig eine optimale Aufenthaltsqualität. Abgesehen vom Nutzerstrom für Geräte (Waschmaschine, Spülmaschine, etc.) wird die erforderliche Energie für den Betrieb des Gebäudes mit Photovoltaikanlagen auf den Dachflächen gewonnen. Zusätzlich ist vorgesehen, die Balkone teilweise mit Photovoltaik zu belegen. Diese Teileinhausung bringt einen gewissen Witterungsschutz gegen Wind und Regen und erhöht dadurch den Zeitraum in dem der Balkon komfortabel nutzbar ist. Der an den Balkonen gewonnene Strom wird den Mietern der einzelnen Wohnungen für die Deckung des Nutzerstroms zur Verfügung gestellt und kann in einem gewissen Maße auch gespeichert werden – es erfolgt keine Netzeinspeisung. Neben der regenerativen Energiegewinnung ist ein wichtiger Aspekt die Mieter dafür zu sensibilisieren bewusster mit der zu Verfügung gestellten Energiemenge umzugehen. Die Größe der Anlage resultiert aus der Wohn-

fläche der jeweiligen Einheit und der zur Verfügung stehenden Balkonfläche. Die Balkone sind so angeordnet, dass Fallwinde minimiert werden und die Einstrahlung auf die Balkondächer maximiert wird, dies wird durch ein vertikales Versetzen erreicht. Durch die versetzte Anordnung wird die Tageslichtversorgung bzw. die Besonnung der darunterliegenden Wohnung kaum eingeschränkt.

Durch die Balkongeometrie wird sowohl die Fläche für PV-Module vergrößert als auch die jährliche Einstrahlung für Photovoltaikstromgewinnung und die Tageslichtversorgung der Wohnungen optimiert.

Das Haus soll nach der EnEV 2019 verwirklicht werden und den KfW 40 Standard erreichen und ist damit hinsichtlich der erforderlichen Heizleistung nur zu einem sehr geringen Teil auf Wärme aus dem Anschluss an das Fernwärmenetz angewiesen.

Mögliche Energieversorgungsoptionen werden hinsichtlich ihrer Eignung, des Primärenergieverbrauchs, der CO₂ Emissionen sowie wirtschaftlich bewertet.

V1	Fernwärmeanschluss	Hochtemperatur mit Konvektoren
V2	Wärmepumpe / Energiepfähle	Niedertemperatur mit Fußbodenheizung
V3	Biomasse	Hochtemperatur mit Konvektoren
V4	Cloud to Heat	Niedertemperatur mit Fußbodenheizung

Ergebnis der Untersuchungen:

Durch das bereits vorhandene Fernwärmenetz mit einem Primärenergiefaktor von 0 kWh/a und CO₂ Emissionen von 0 t/a stellt sich die Variante V1

Variante 1		Variante 2		Variante 3	
Fernwärmeanschluss		Wärmepumpe + Energiepfähle		Pelletkessel	
Heizleistungsbedarf Gebäude	90 kW	Heizleistungsbedarf Gebäude	90 kW	Heizleistungsbedarf Gebäude	90 kW
		Heizleistung Wärmepumpe	90 kW	Pelletkessel	90 kW
Investkosten		Investkosten		Investkosten	
Investitionskosten gesamt	170'000 €	Investitionskosten gesamt:	405'750 €	Investitionskosten gesamt:	218'000 €
Annuität 15 Jahre	0,0778	Annuität 15 Jahre	0,0778	Annuität 15 Jahre	0,0778
Abschreibung für 15 Jahre	13'230 €/a	Abschreibung für 15 Jahre	31'578 €/a	Abschreibung für 15 Jahre	16'810 €/a
Summe Kapitaldienst pro Jahr	13'230 €/a	Summe Kapitaldienst pro Jahr	31'578 €/a	Summe Kapitaldienst pro Jahr	16'810 €/a
Mehrkosten Kapitaldienst pro Jahr	0 €/a	Mehrkosten Kapitaldienst pro Jahr	18'347 €/a	Mehrkosten Kapitaldienst pro Jahr	3'580 €/a
Energiebezug		Energiebezug		Energiebezug	
Grundpreis Fernwärme	2'295 €/a	Stromkosten Wärmepumpe	11'450 €/a	Kosten Pellets	12'960 €/a
Arbeitspreis Fernwärme	14'040 €/a	Stromkosten el. Nacherwärmung	3'664 €/a		
Wärmezähler Fernwärme	250 €/a	Grundpreis Strom Wärmepumpe	84 €/a		
Energiebezugskosten gesamt:	16'585 €/a	Energiebezugskosten gesamt:	15'208 €/a	Energiebezugskosten gesamt:	12'960 €/a
		Einsparung Energiekosten	1'377 €/a	Einsparung Energiekosten	3'625 €/a
Wartung		Wartung		Wartung	
Wartung, Instandhaltung, Fernwärme	1'700 €/a	Wartung, Instandhaltung, Wärmepumpe	2'029 €/a	Wartung, Instandhaltung, Schornsteinfeger, Pelletkessel	3'240 €/a
Wartungskosten gesamt	1'700 €/a	Wartungskosten gesamt	2'029 €/a	Wartungskosten gesamt	3'240 €/a
Energiekosten+Wartungskosten gesamt	18'285 €/a	Energiekosten+Wartungskosten gesamt	17'237 €/a	Energiekosten+Wartungskosten gesamt	16'200 €/a
Kapitalkosten	13'230 €/a	Kapitalkosten	31'578 €/a	Kapitalkosten	16'810 €/a
Gesamtkosten pro Jahr	31'515 €/a	Gesamtkosten pro Jahr	48'814 €/a	Gesamtkosten pro Jahr	33'010 €/a
		Mehrkosten pro Jahr	17'299 €/a	Mehrkosten pro Jahr	1'495 €/a
		statische Amortisationszeit der Mehrkosten	12,6 a	statische Amortisationszeit der Mehrkosten	0,4 a
CO₂ Emissionen		CO₂ Emissionen		CO₂ Emissionen	
CO ₂ Emissionen Fernwärme	0 t/a	CO ₂ Emissionen Strom	37 t/a	CO ₂ Emissionen Pellet	4 t/a
Primärenergiebedarf		Primärenergiebedarf		Primärenergiebedarf	
Primärenergiebedarf Fernwärme:	0 kWh/a	Primärenergiebedarf Strom:	118'800 kWh/a	Primärenergiebedarf Pellet:	43'200 kWh/a

Abbildung 23: Wirtschaftliche Betrachtung

Entwicklung eines ressourcenschonenden Konstruktions-, Brandschutz- und Energiekonzepts im Holzhochhausbau als integraler Bestandteil des architektonischen Konzepts am Beispiel eines Holzhochhauses in Nürnberg-Langwasser

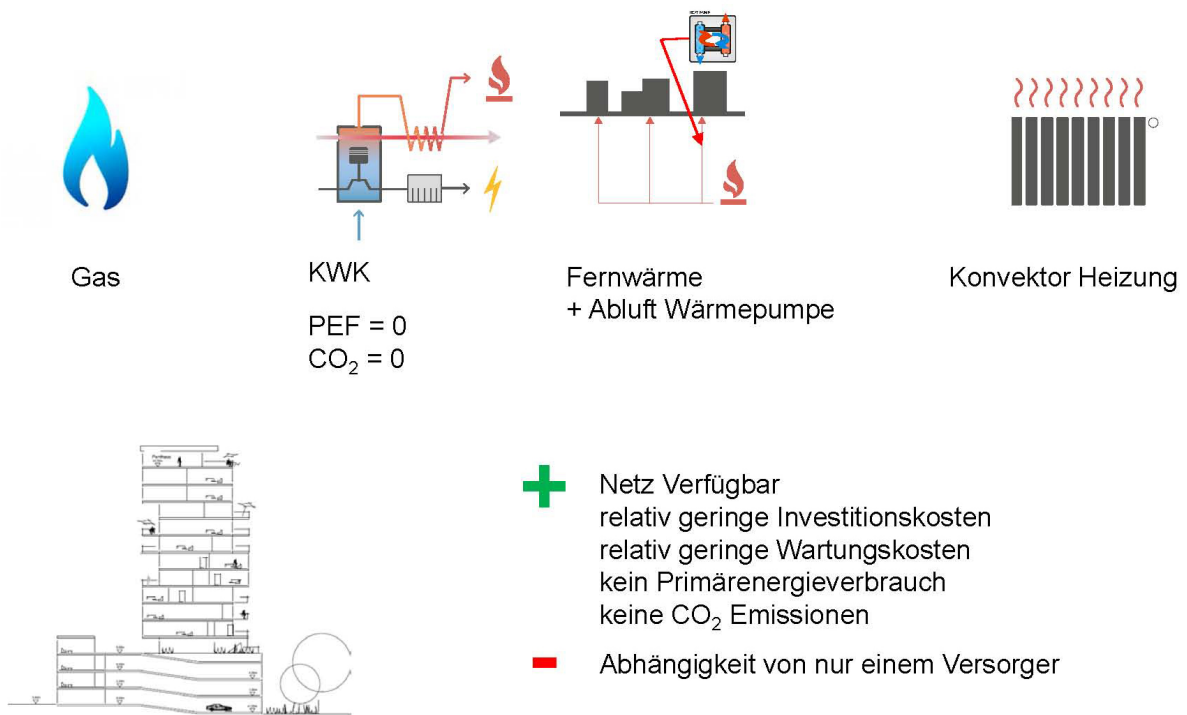
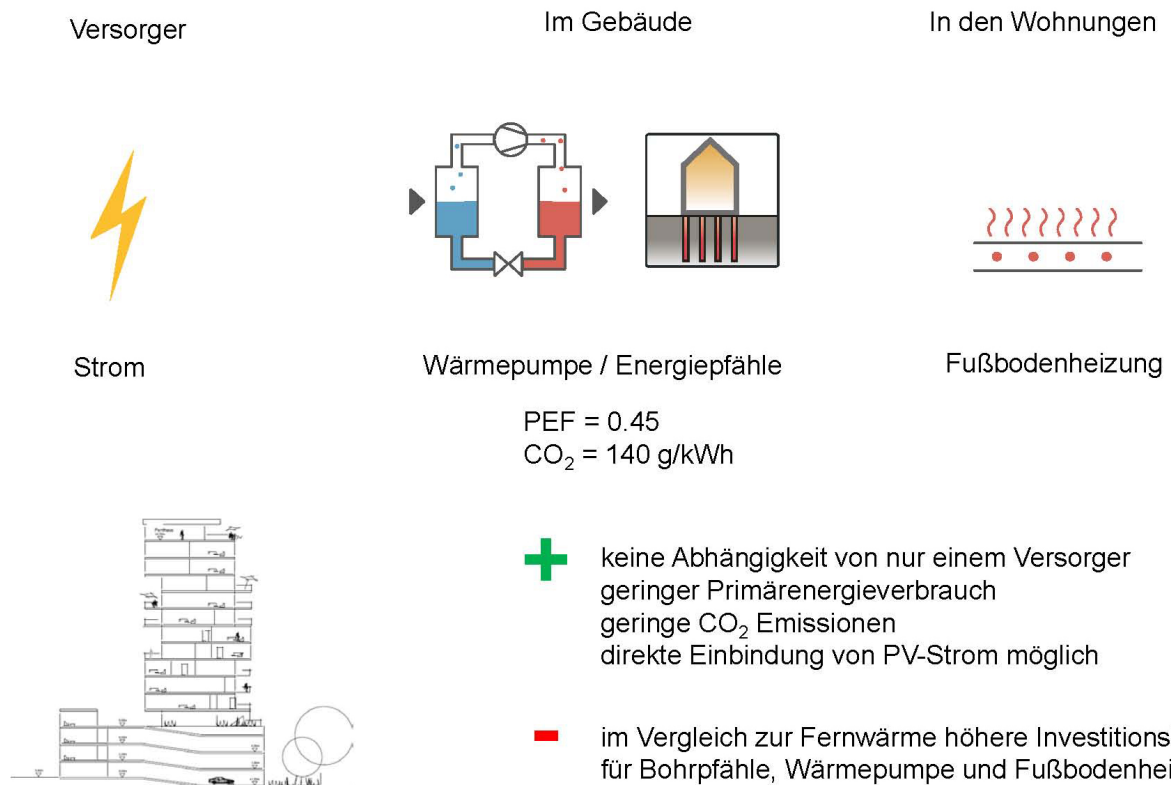


Abbildung 24: Versorgungskonzept über Fernwärme



Technikraum 20 m²

Abbildung 25: Versorgungskonzept über Wärmepumpe

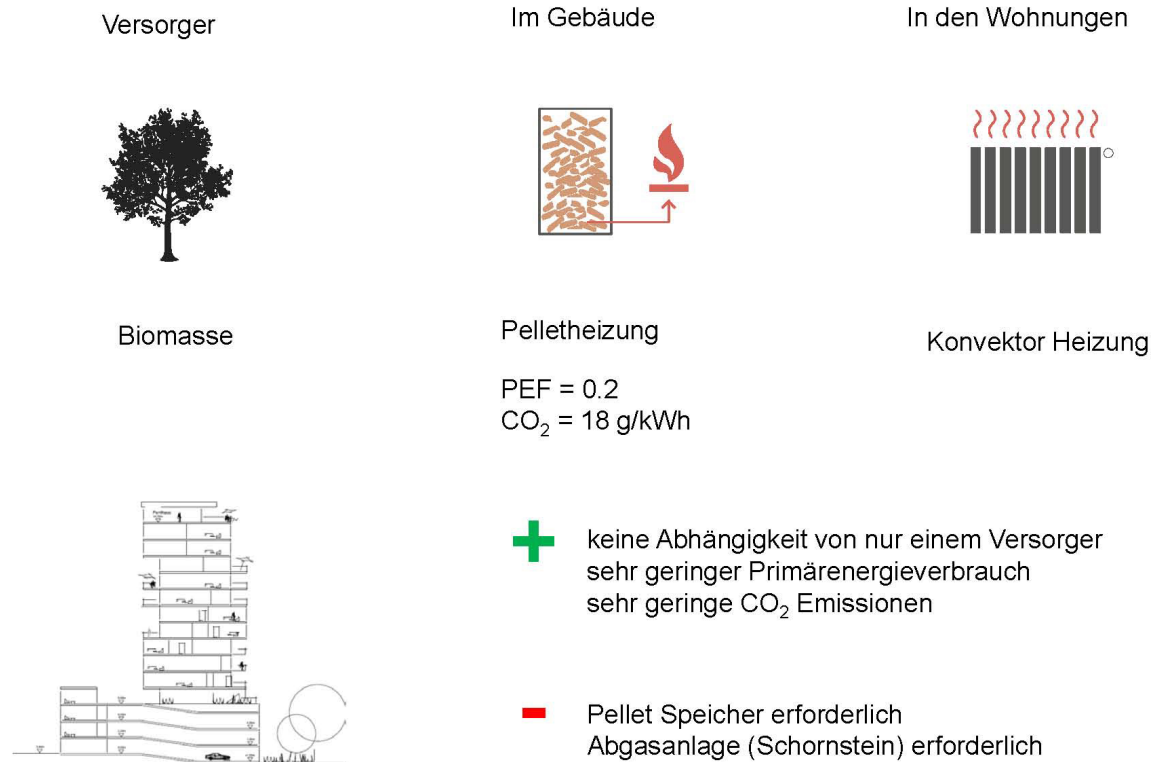


Abbildung 26: Versorgungskonzept über Biomasse

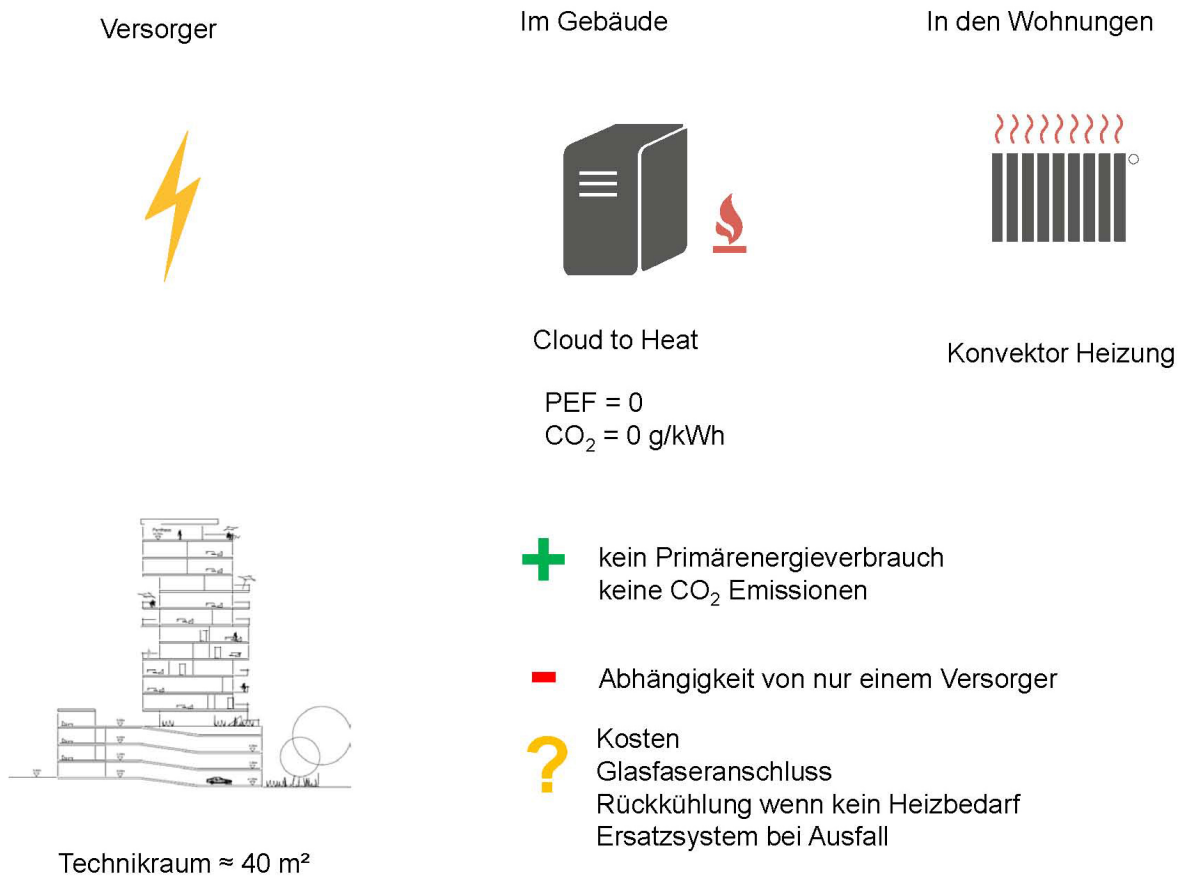


Abbildung 27: Versorgungskonzept Cloud to Heat

sowohl ökologisch als auch ökonomisch als zu favorisieren heraus. Des weiteren können bei der Variante V1 aufgrund des höheren Temperaturniveaus Konvektoren zur Raumheizung genutzt werden - welche unterhalb der Zuluftöffnungen in der Fassade platziert - Frischluft vorwärmen und damit eine zugfreie Frischlufteinbringung gewährleisten.

Photovoltaik zur Stromerzeugung:

Untersucht werden die solare Einstrahlung auf die verschiedenen Dachflächen sowie auf die Fassadenflächen unter Berücksichtigung der Verschattung durch Nachbargebäude und Balkone.

Anhand der Einstrahlungsdaten werden unter Berücksichtigung sinnvoller Belegungsdichten für zwei Modulwirkungsgrade der jährliche zu erwartende PV-Strom Ertrag ermittelt und mit dem abgeschätzten Stromverbrauch des Wohnhauses verglichen.

Ergebnis:

Bei einer Belegung aller Flächen (Dachflächen + geeignete Fassadenflächen), der Nutzung hoch effizienter PV-Module sowie bei Verwendung hoch effizienter Geräte in der Gebäudetechnik, Beleuchtung, weißer Ware usw. wäre eine Komplettversorgung (Gebäude + Nutzerstrom) bilanziert über ein Jahr durch Photovoltaik möglich.

Im Verlauf der Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die brandschutztechnischen Anforderungen an die Fassade bei einem Gebäude dieser Höhe

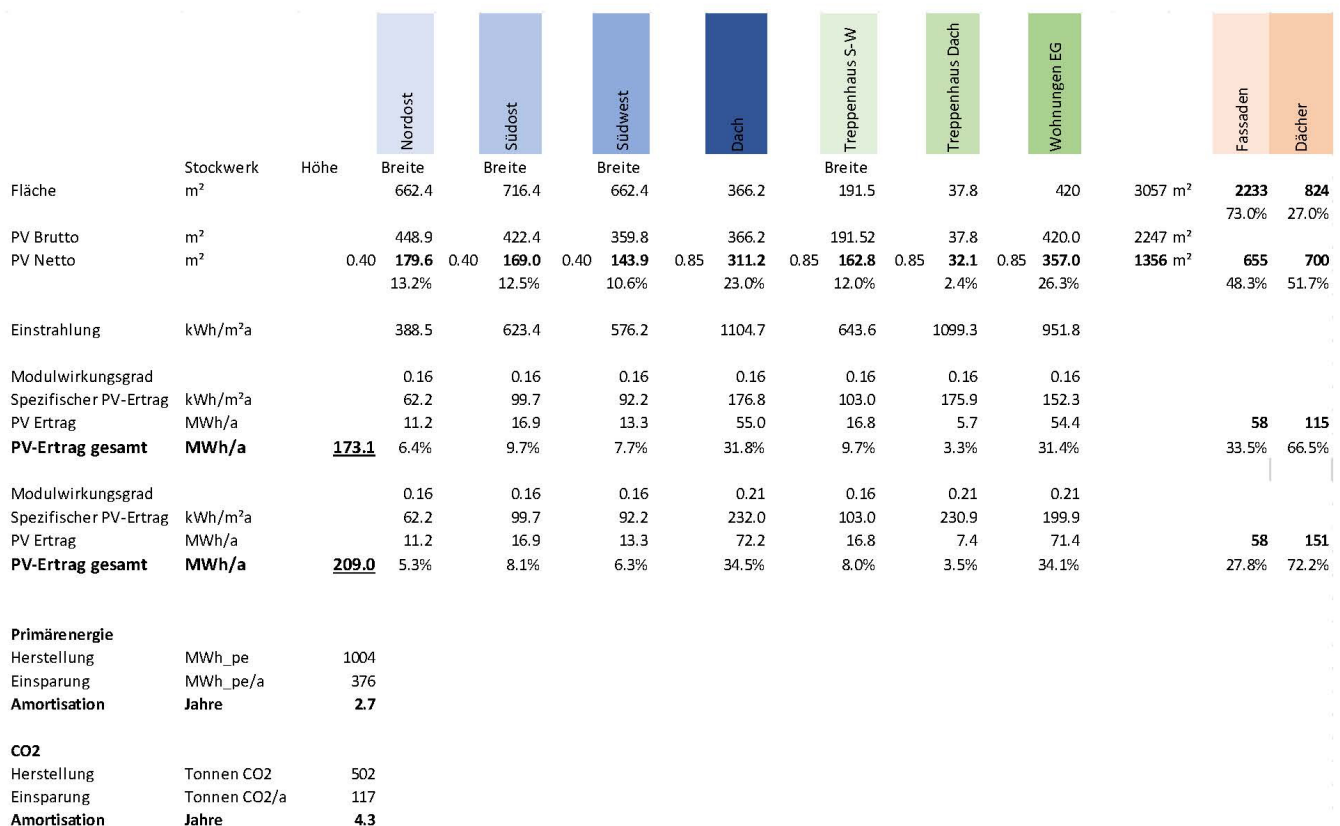


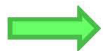
Abbildung 28: PV-Strom Erzeugungspotential alle Flächen

sehr hoch sind und sich deshalb Fassaden PV-Module schwer verwirklichen und auch wirtschaftlich schwer vermitteln lassen.

Des weiteren bevorzugt der Bauherr lediglich den Strom zum Betrieb des Gebäudes durch Photovoltaik auf den Dachflächen zu erzeugen.

Zum Betrieb des Gebäudes wird ein Strombedarf bei guter Effizienz der eingesetzten haustechnischen Geräte und Leuchtmittel von ca. 60 MWh/a ermittelt, hierzu wird eine PV-Nettofläche von ca. 350 m² bei der Verwendung eines mittleren Modulwirkungsgrades benötigt.

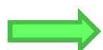
Fläche (Hochhaus 12 Stockwerke + Wohnen Süd-West 3 Stockwerke)		4500 m ²			
Strombedarf:				sparsam	
Durchschnittlicher Haushalt 2 – 3 Personen	35 kWh/m ² a	158 MWh/a	25 kWh/m ² a	110 MWh/a	
Lüftung	1.5 kWh/m ² a	7 MWh/a	0.75 kWh/m ² a	3 MWh/a	
Druckerhöhung	2.2 kWh/m ² a	10 MWh/a	2.2 kWh/m ² a	10 MWh/a	
Heizungspumpen, sonstiges	0.75 kWh/m ² a	3 MWh/a	0.53 kWh/m ² a	2 MWh/a	
Aufzug	8.1 kWh/m ² a	37 MWh/a	3.5 kWh/m ² a	16 MWh/a	
Parkgarage / Gangbeleuchtung (3500 m ²)	6.8 kWh/m ² a	31 MWh/a	4.8 kWh/m ² a	21 MWh/a	
Gesamter Strombedarf		245 MWh/a		163 MWh/a	
PV_Ertrag 16%	173 MWh/a	-72 MWh/a		10 MWh/a	
PV_Ertrag 16% Fassade; 21% Dach	209 MWh/a	-36 MWh/a		46 MWh/a	
PV_Ertrag 21% Dach	151 MWh/a	-94 MWh/a		-12 MWh/a	
Strombedarf Abluftwärmepumpe	6.4 kWh/m ² a	29 MWh/a	6.4 kWh/m ² a	29 MWh/a	



Komplettversorgung bei PV Belegung der Dach – und Fassadenfläche möglich

Abbildung 29: Strombedarf versus PV-Strom Erzeugung auf allen Flächen

Fläche (Hochhaus 12 Stockwerke + Wohnen Süd-West 3 Stockwerke)		4500 m ²			
Strombedarf:				sparsam	
Druckerhöhung	2.2 kWh/m ² a	10 MWh/a	2.2 kWh/m ² a	10 MWh/a	
Heizungspumpen, sonstiges	0.75 kWh/m ² a	3 MWh/a	0.53 kWh/m ² a	2 MWh/a	
Aufzug	8.1 kWh/m ² a	37 MWh/a	3.5 kWh/m ² a	16 MWh/a	
Parkgarage / Gangbeleuchtung (3500 m ²)	6.8 kWh/m ² a	31 MWh/a	4.8 kWh/m ² a	21 MWh/a	
Gesamter Strombedarf		81 MWh/a		49 MWh/a	
PV_Ertrag 16% Dach Hochhaus + Treppenhaus	61 MWh/a				



Zur Deckung des zum Betrieb des Gebäudes notwendigen Strom durch PV wird eine PV Fläche von ca. 350 m² benötigt

Abbildung 30: Strombedarf versus PV-Strom Erzeugung zum Betrieb des Gebäudes

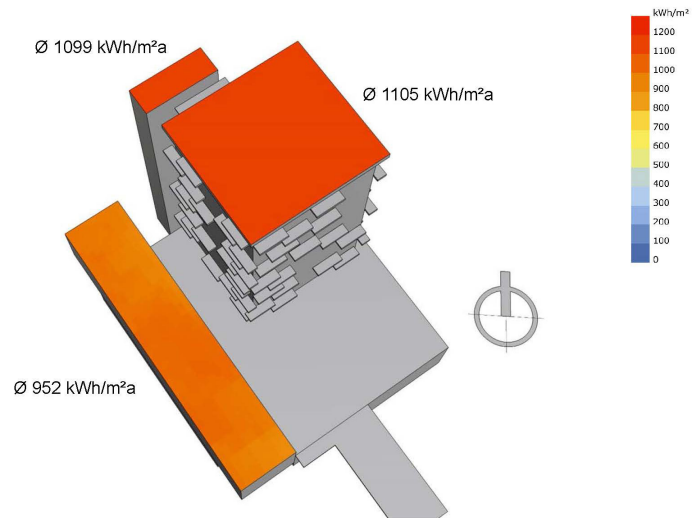


Abbildung 31: Solare Einstrahlung auf die Dachflächen

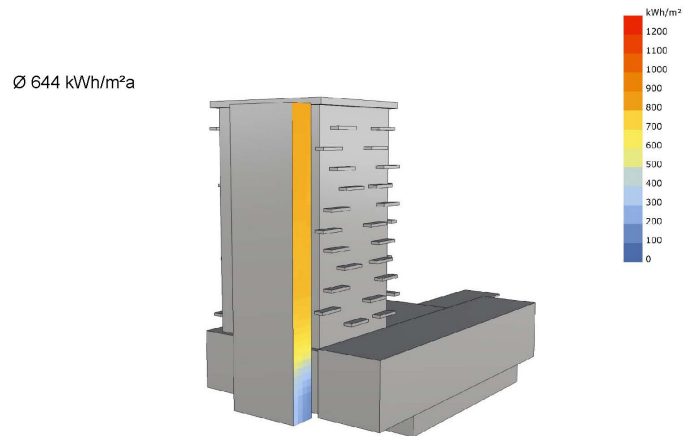


Abbildung 32: Solare Einstrahlung auf das Treppenhaus

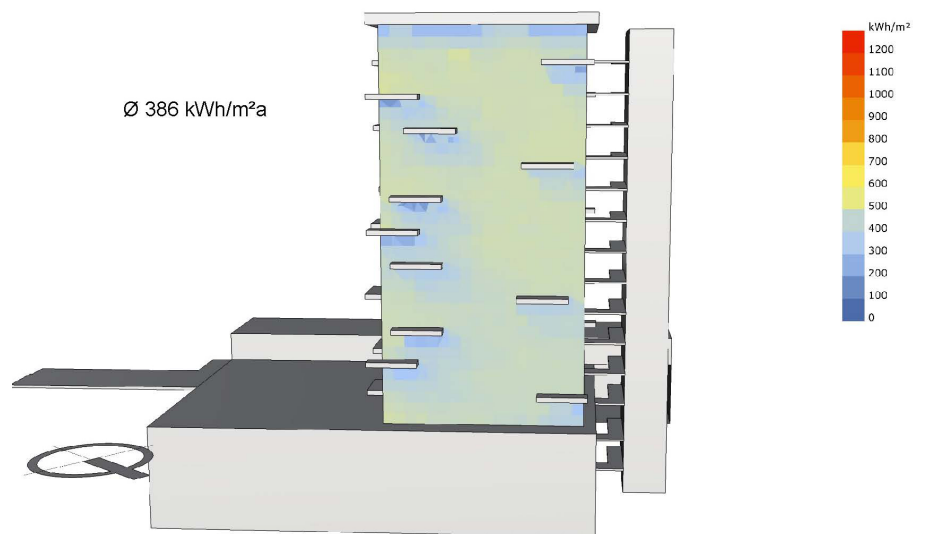


Abbildung 33: Solare Einstrahlung auf die Nord-Ostfassade

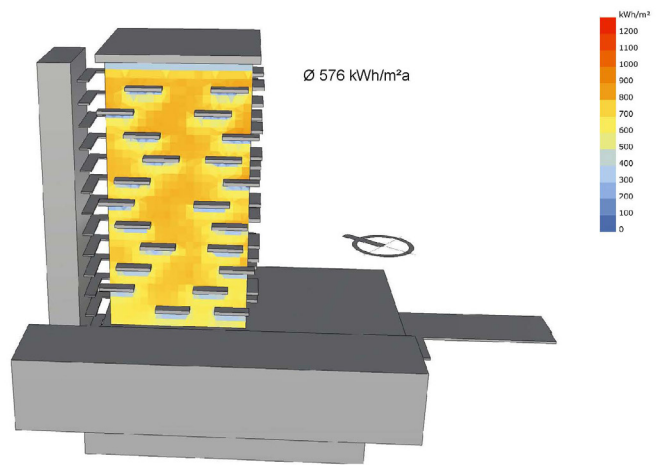


Abbildung 34: Solare Einstrahlung auf die Südwestfassade

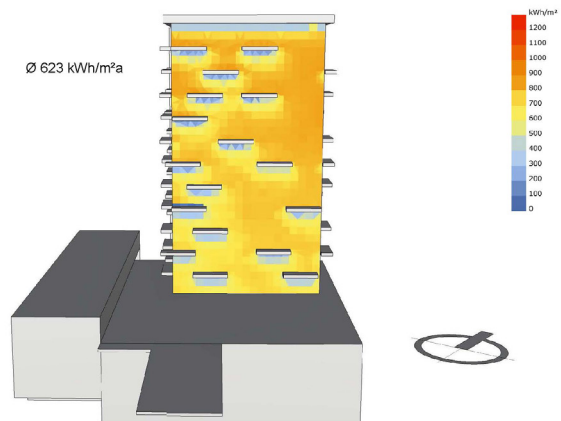


Abbildung 35: Solare Einstrahlung auf die Südostfassade

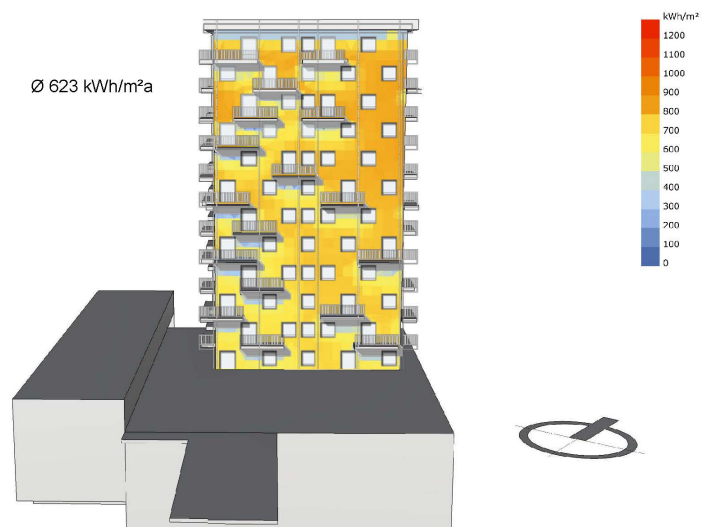


Abbildung 36: Solare Einstrahlung auf die Südostfassade mit Balkonen

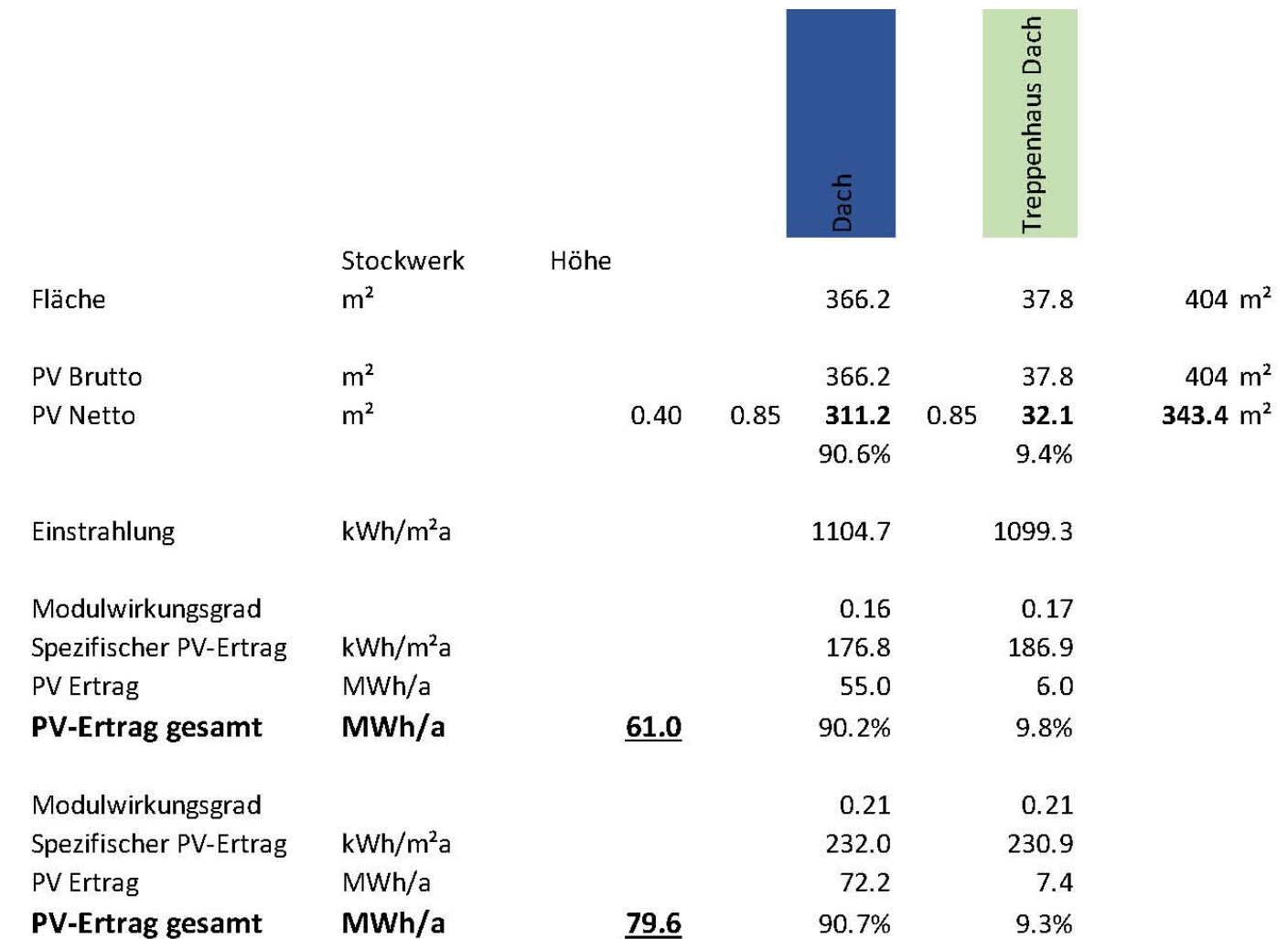


Abbildung 37: Strom Erzeugung auf Dachflächen Hochhaus und Treppenhaus

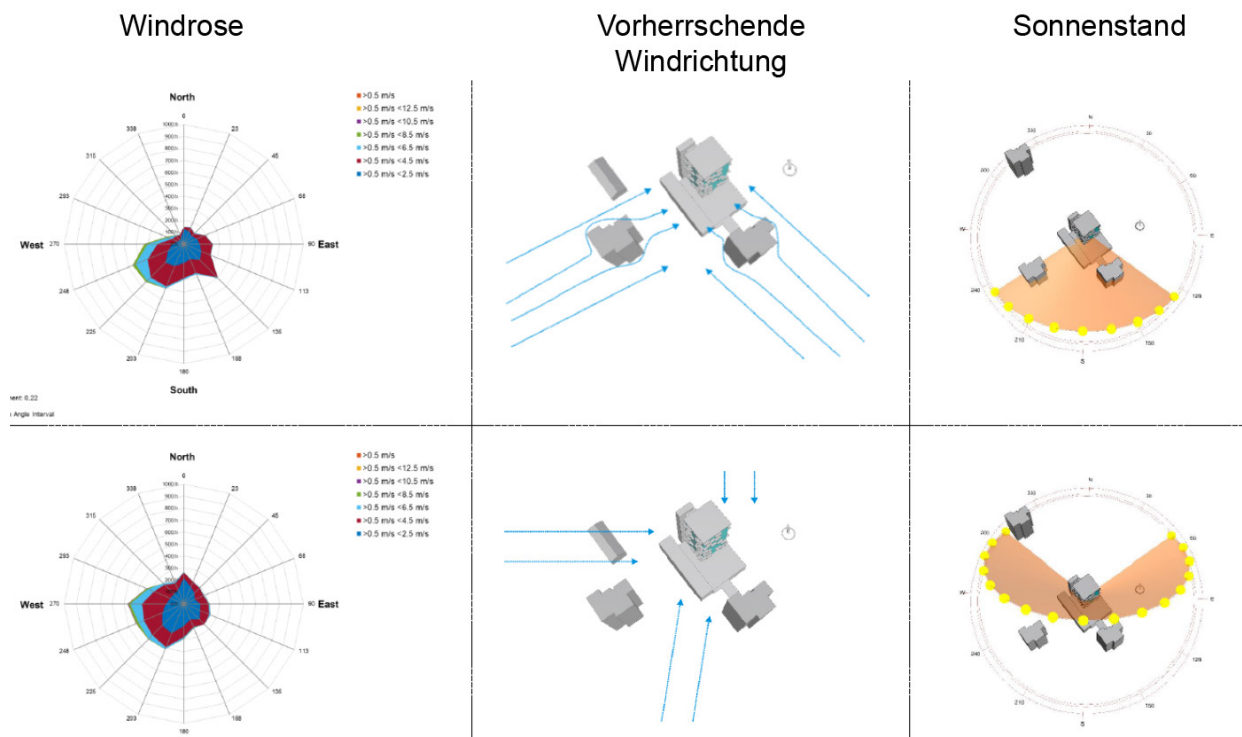
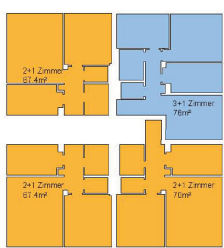
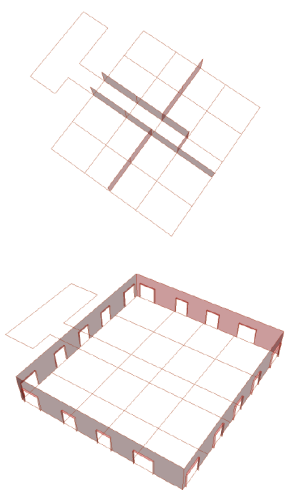


Abbildung 38: Grundlegende Anforderungen an die Balkone

ZWEIDIMENSIONALE GRUNDRISS



PARAMETRISCHE TYPOLOGIE



PARAMETRISCHES BALKONDESIGN

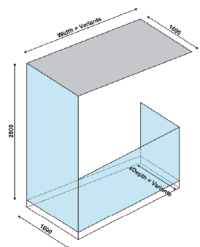
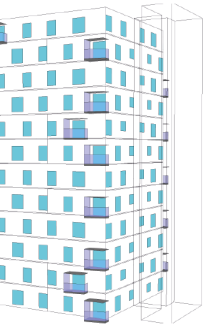
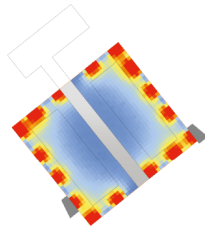


Abbildung 39: Darstellung des arametrischen Arbeitsmodells

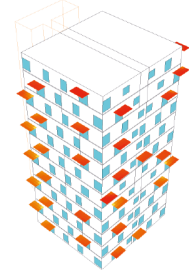
**PARAMETRISCHES
3D MODELL**



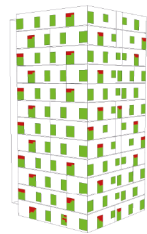
**MEHRDIMENSIONALE
SIMULATIONEN**



Daylight Factor

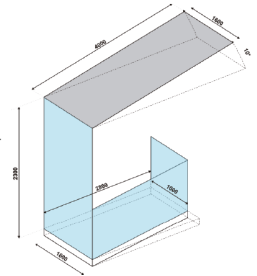


Energy Generation

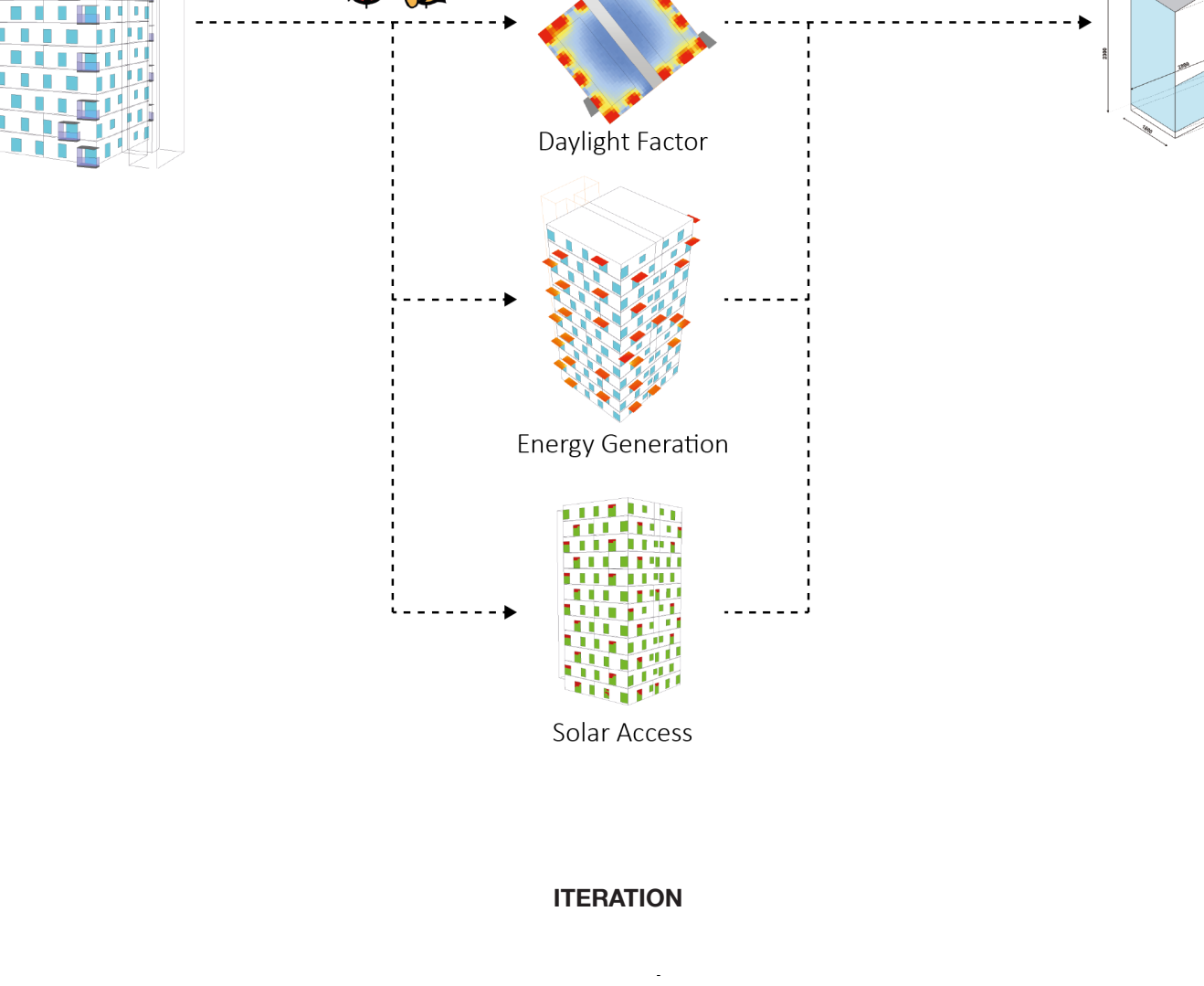


Solar Access

**EVALUATION UND
PLANUNGSENTSCHEIDUNGEN**



ITERATION



Entwicklung eines ressourcenschonenden Konstruktions-, Brandschutz- und Energiekonzepts im Holzhochhausbau als integraler Bestandteil des architektonischen Konzepts am Beispiel eines Holzhochhauses in Nürnberg-Langwasser

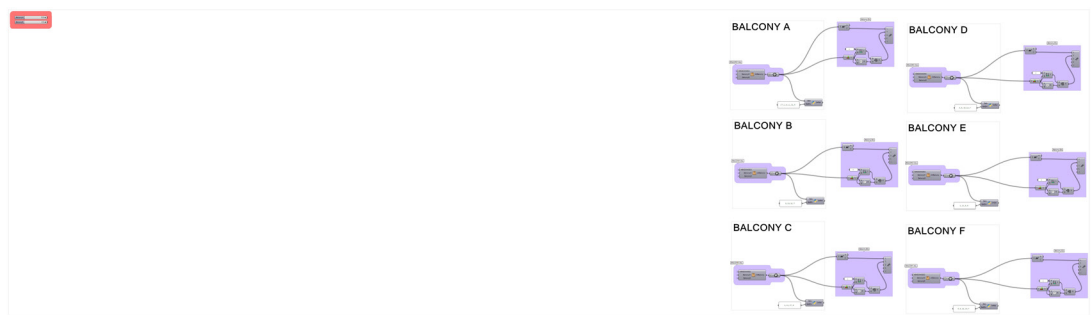
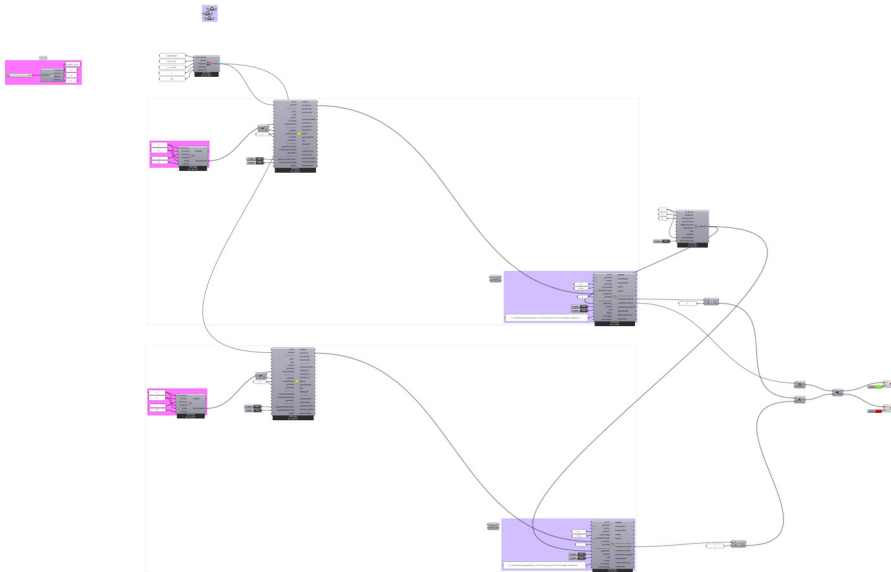
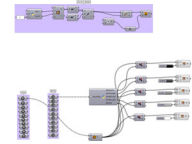
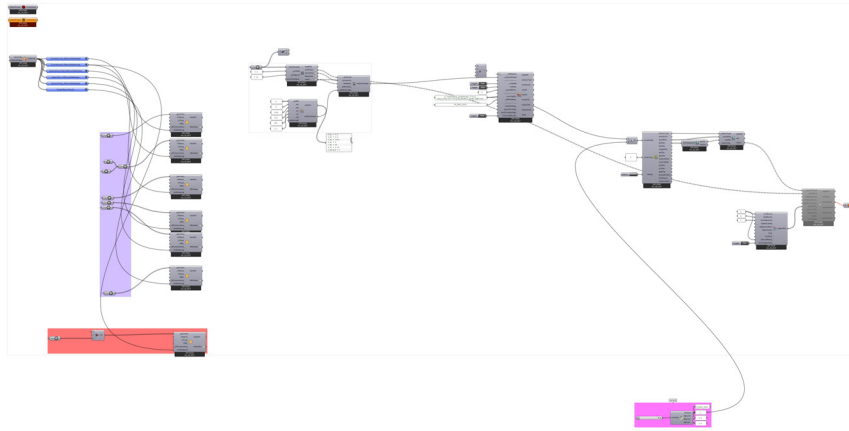


Abbildung 40: Arbeitsmodell in Grasshopper



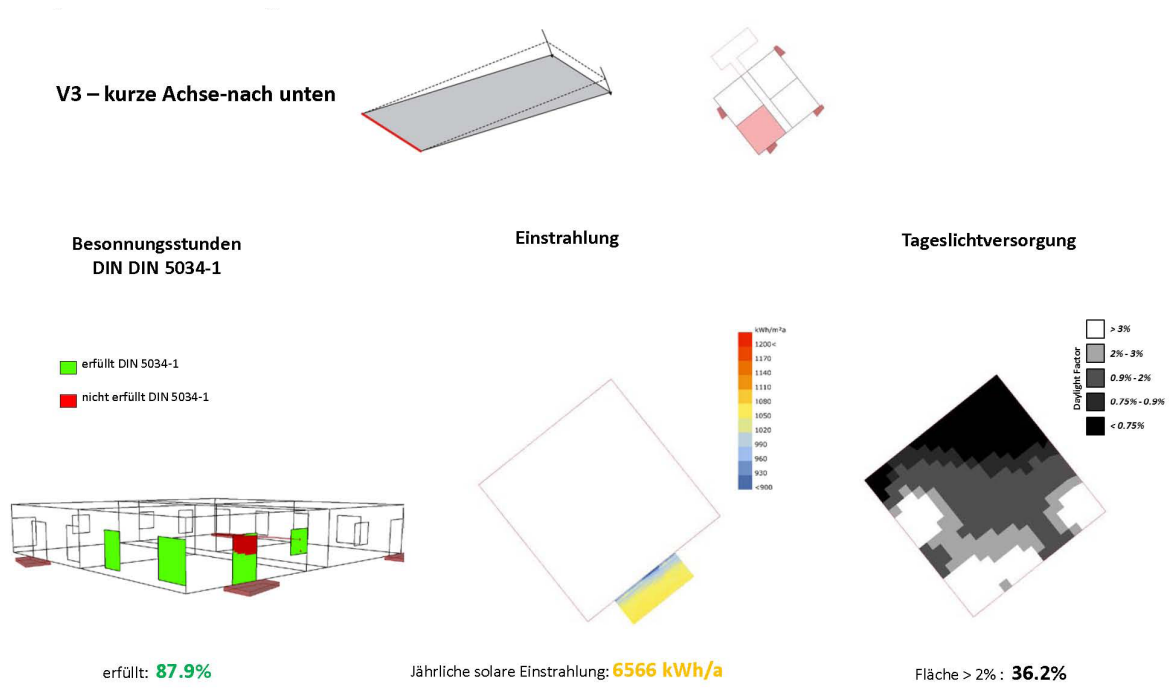


Abbildung 41: Ergebnisse Variantenvergleich Süd-West Balkone

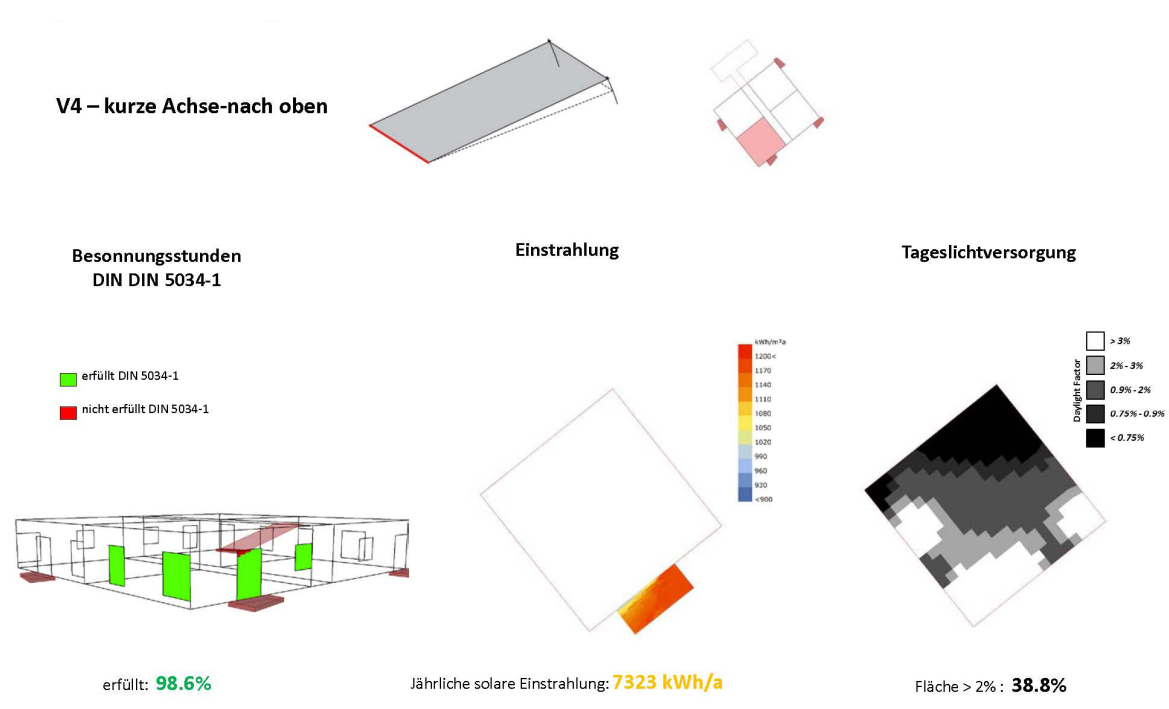


Abbildung 42: Ergebnisse Variantenvergleich Süd-West Balkone

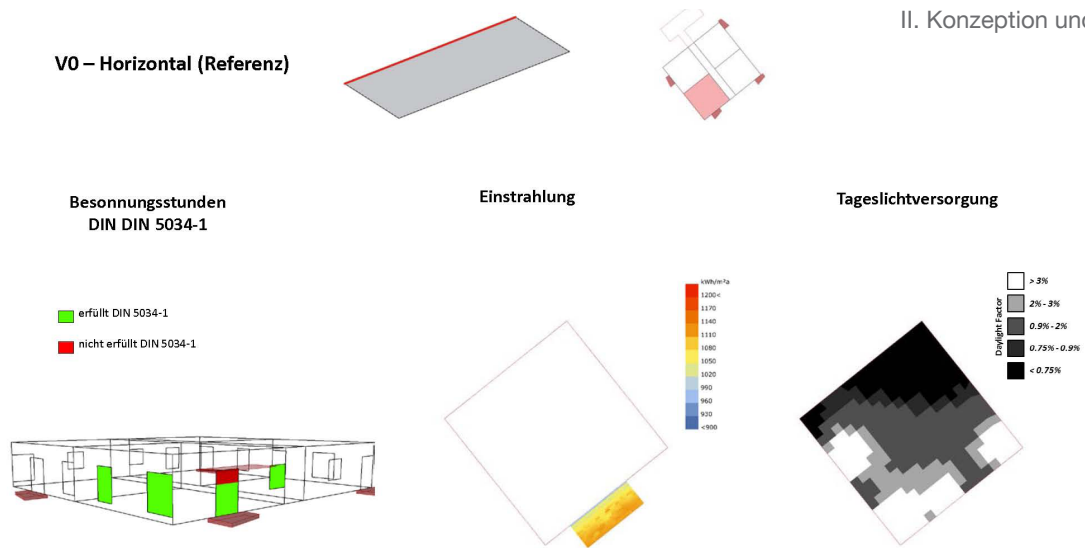


Abbildung 43: Ergebnisse Variantenvergleich Süd-West Balkone

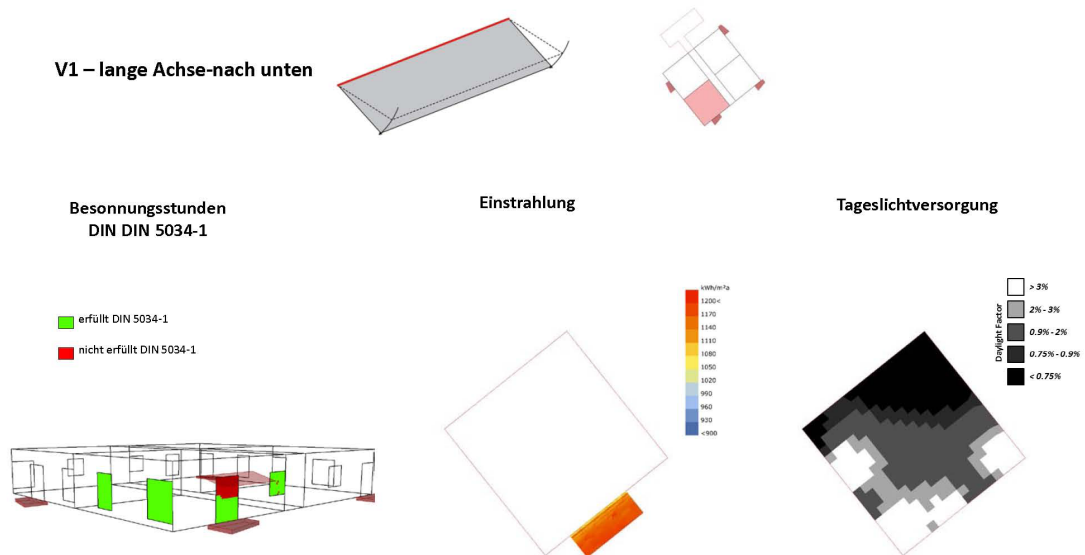


Abbildung 44: Ergebnisse Variantenvergleich Süd-West Balkone

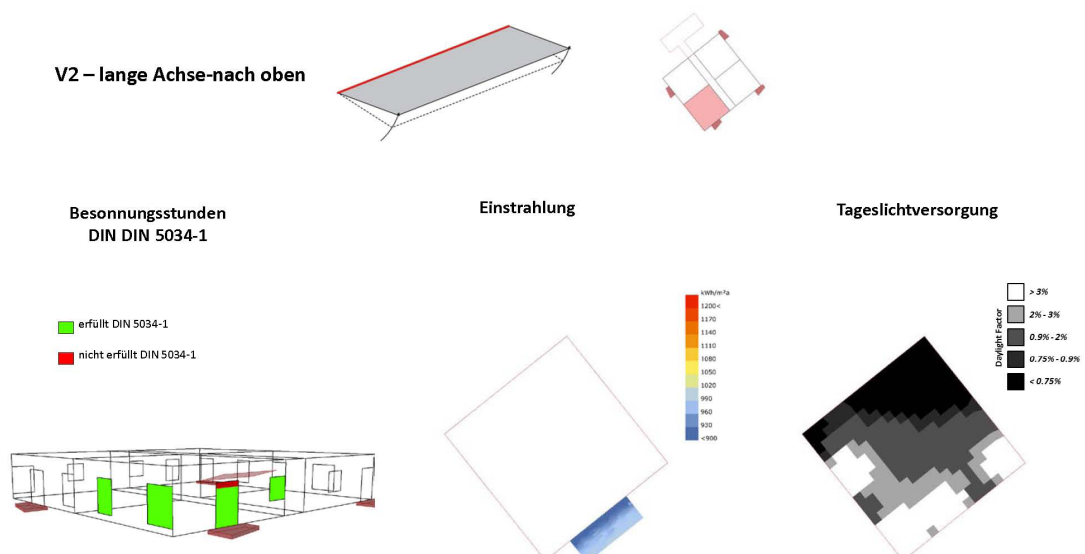
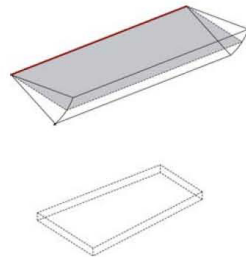


Abbildung 45: Ergebnisse Variantenvergleich Süd-West Balkone

Neigungsoption 1:
Drehung um lange Achse



Neigungsoption 2:
Drehung um kurze Achse

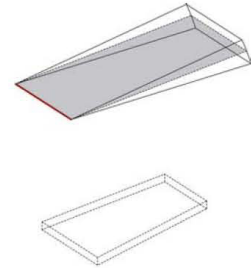


Abbildung 46: Balkonoptimierung - Balkongeometrie

	<p>Kriterium: TotalRadonBalcoRoof Jährliche Einstrahlung auf das Balkondach Zielsetzung: Maximum</p>
	<p>Kriterium: PassedSunhourRequirement Anteil der Fensterflächen erfüllt DIN 5034-1 Sonnenstunden Anforderungen (Minimum 1 Sonnenstunde am 17. Januar und Minimum 4 Sonnenstunden am 21. März) Zielsetzung: Maximum</p>
	<p>Kriterium: AreaMoreThan75lux Anteil der Wohnraumfläche mit einem Tageslichtfaktor größer als 0.75% Zielsetzung: Maximum</p> <p>Kriterium: AreaMoreThan200lux Anteil der Wohnraumfläche mit einem Tageslichtfaktor größer als 2% Zielsetzung: Maximum</p>

Abbildung 47: Berechnungskriterien (Optimierungsziel)

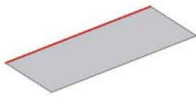
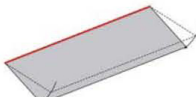
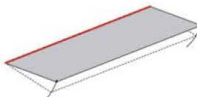
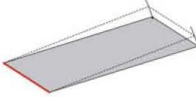
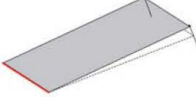
					
DIN 5034-1 Besonnungsstunden	0	--	+	-	++
DIN 5034-1 Tageslichtfaktor	-	--	+	0	++
Jährliche Einstrahlung	0	++	--	-	+

Abbildung 48: Ergebnisse Variantenvergleich Süd-West Balkone

	Neigungswinkel	Jährliche solare Einstrahlung [MWh/m ²]	Besonnungsstunden [%]	Fläche größer 75 lux [%]	Fläche größer 200 lux [%]
V2	0	192.4	76.2	74.7	32.2
V3	6	195.0	78.0	75.6	33.5
V4	12	195.4	79.4	76.3	34.9


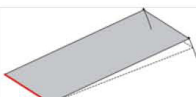
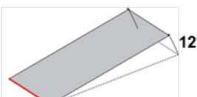
			
DIN 5034-1 Besonnungsstunden	0	+	++
DIN 5034-1 Tageslichtfaktor	0	+	++
Jährliche solare Einstrahlung	0	+	++

Abbildung 49: Gesamtes Gebäude Simulationsergebnisse

Entwicklung eines ressourcenschonenden Konstruktions-, Brandschutz- und Energiekonzepts im Holzhochhausbau als integraler Bestandteil des architektonischen Konzepts am Beispiel eines Holzhochhauses in Nürnberg-Langwasser

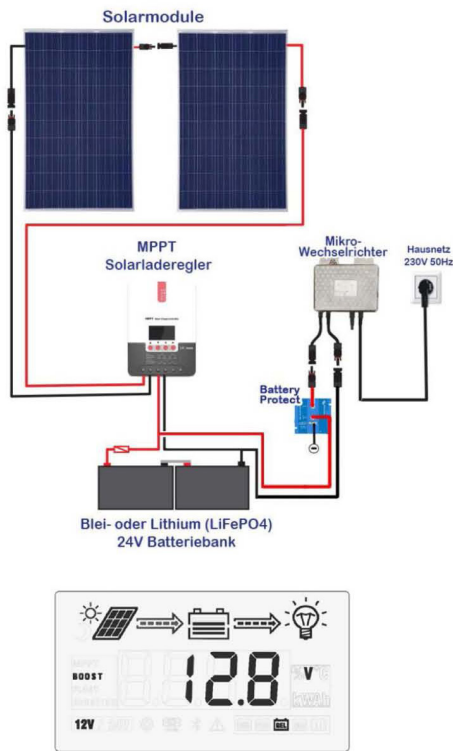


Abbildung 50: PV Module auf Balkondach (Konzept)

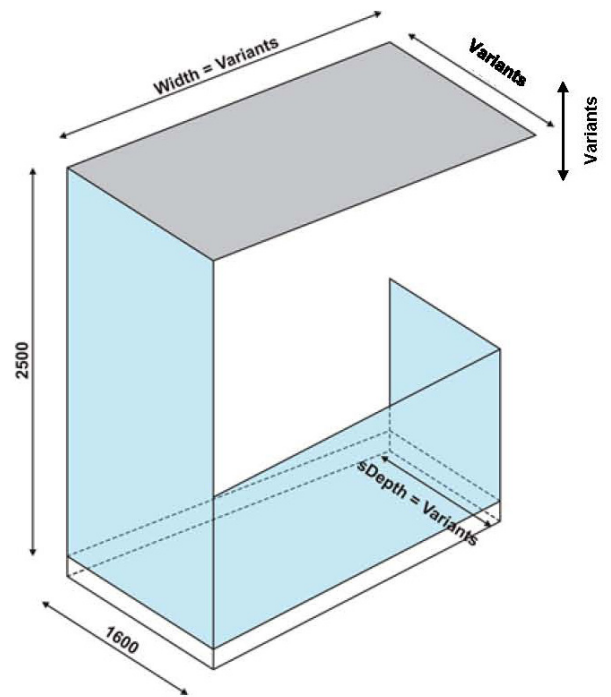
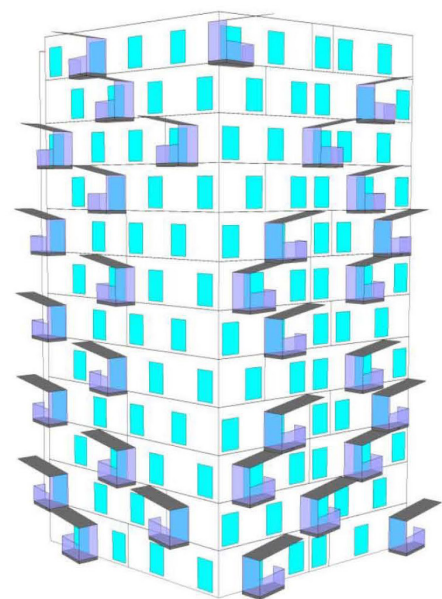
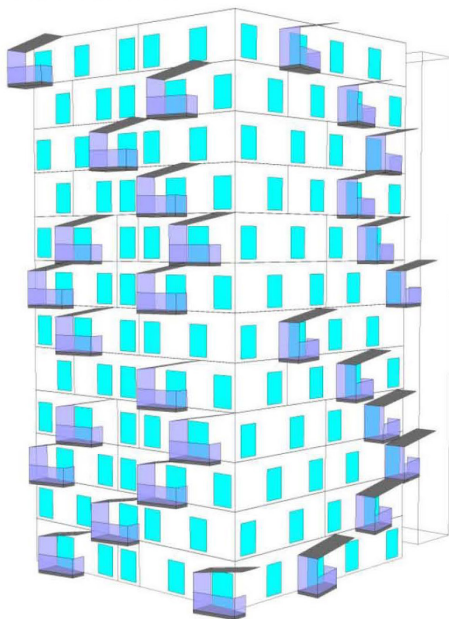


Abbildung 51: Vorentwurf Balkonoptimierung

- Previous model: 39 balconies
- Current model: 43 balconies



- Some collisions on South-East balconies due to floor typology A-E being stacked together, both of them have similar position for balcony.

Abbildung 52: New Geometry

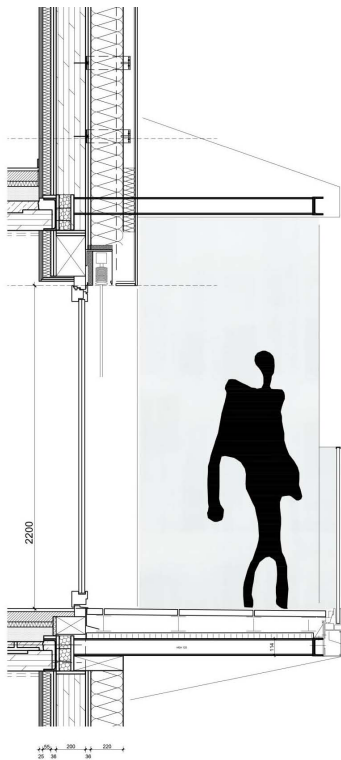


Abbildung 53: Balkonelemente

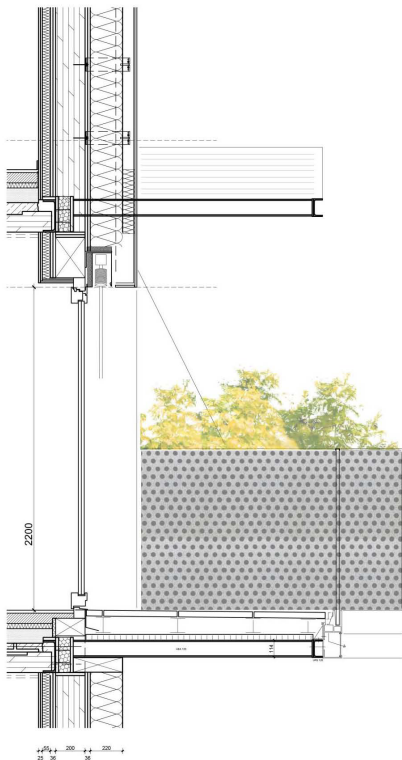


Abbildung 54: Balkonelemente

III. AUSBLICK

Der Vorentwurf des vorliegenden Projektes wurde im April 2018 vorgestellt: verschiedene Faktoren haben den weiteren Ablauf verzögert bzw. zwischenzeitlich gestoppt weshalb zum jetzigen Zeitpunkt zur Genehmigungsfähigkeit und zur Implementierung keine abschließenden Schlussfolgerungen formuliert werden können.

Ein wesentlicher Aspekt der sich durch das Forschungsvorhaben hervorhebt, ist die Übertragbarkeit der eingesetzten Technologien und des Arbeitsprozesses auf ähnliche Bauvorhaben. Es wurden Konstruktionsprinzipien auf das Anforderungsprofil hin evaluiert und die wesentlichen Besonderheiten die das Bauen mit Holz jenseits der Hochhausgrenze mit sich bringt, herausgearbeitet. Es wurde die Holzbauweise im mehrgeschossigen Wohnungsbau über 12 Stockwerke geprüft und gerechnet, womit ein wesentlicher Beitrag zur Weiterentwicklung des mehrgeschossigen urbanen Holzbaus als Stand der Technik geleistet werden konnte.

Die vorhandenen marktüblichen Standardlösungen für Decken, Fassaden, Stützen, Wände und Aussteifungssysteme (Gebäude mit 1-5 Stockwerken) wurden dazu hinsichtlich der tragwerks- und brandschutztechnischen Eigenschaften auf die erhöhten Anforderungen der 12 Geschosse geprüft und angepasst.

Durch die Unwägbarkeiten im Planungsverlauf konnte die ausführliche Untersuchung brandschutz- und tragwerksrelevanter Versuche nicht vollumfänglich abgeschlossen werden. Auch fehlen für eine aussagekräftige Lebenszyklusanalyse relevante Planungsschritte die zum jetzigen Zeitpunkt nicht erreicht werden konnten.

Die dezentrale Energieerzeugung am Gebäude ist im Kontext der Energiewende und des Umstiegs auf regenerative Energiequellen ein zentraler Baustein dieses Projektes. Auf unkonventionelle Weise enthebt sich das Konzept herkömmlicher Wege der Energiebereitstellung und verfolgt einen greifbareren Ansatz.

Sowohl als Gestaltungselement der Fassadenarchitektur als auch für den bewussteren Umgang im Kontext der Energiegewinnung wird ein innovativer Lösungsansatz verfolgt, der es dem Nutzer ermöglicht eine aktive Rolle im Kreislauf der Energieversorgung einzunehmen.

Neben den projektspezifischen Ansätzen und Ergebnissen, sind auch die ganzheitliche Betrachtung und die Auswahl der Projektpartner positiv zu nennen. Der Einbezug von Fachspezialisten aus den unterschiedlichen Disziplinen der Baubranche ist für diese Art der Optimierung der Typologie Hochhaus unter den gesteckten Zielen unerlässlich. So konnte neben der wissenschaftlichen Begleitung und der tieferegreifenderen fachspezifischen Betrachtung parallel zum Planungsprozess ein wesentlicher Beitrag geleistet werden, um den Fortschritt im Holzhochhaus Bereich voranzutreiben.

Die Bearbeitung begleitend zu einem realen Bauvorhaben ist ein wichtiger Schritt um die Übertragbarkeit und Realisierbarkeit zu ermöglichen. Diese Art der Forschung ist wesentlich um die praxisnahe Forschung zu forcieren. Der Abschluss des Projekts zeigt daher die Zukunftsfähigkeit des Forschungsgebiets auf, das durch weitere Projekte einen wesentlichen Betrag zum gezielten Weiterentwickeln des Hochhausbaus mit dem Werkstoff Holz leisten kann. Das Projekt dient somit sehr gut als Hilfestellung für weitere Maßnahmen, da die Überprüfung der Handlungsempfehlungen auf Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit berücksichtigt wurden. Beim Thema der Kosten schlägt das Projekt ein Konzept vor, das konkurrenzfähig gegenüber konventionellen Bauweisen ist, was die praktische Anwendung und die Fortsetzung der Forschungsanstrengungen zukünftig begünstigen wird.

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

- Abbildung 1: Luftbild, google.maps.de (2018).
- Abbildung 2: Handzeichnung, Behnisch Architekten (2018).
- Abbildung 3: Lageplan, Behnisch Architekten (2018).
- Abbildung 4: Konzeptschnitt, Handzeichnung, Behnisch Architekten (2018).
- Abbildung 5: Lageplan, Behnisch Architekten (2018).
- Abbildung 6: Lageplan, Behnisch Architekten (2018).
- Abbildung 7: Objektbeschreibung - Lageplan, Behnisch Architekten (2018).
- Abbildung 8: Arbeitsprozess (2018).
- Abbildung 9: Schnitt - CC Treppenhaus, Behnisch Architekten (2018).
- Abbildung 10: Statisches Berechnungsmodell, bauart Konstruktions (2018).
- Abbildung 11: Systeme und Prinzip des vertikalen Lastabtrags, bauart Konstruktions (2018).
- Abbildung 12: System und Prinzip des horizontalen Lastabtrags, bauart Konstruktions (2018).
- Abbildung 13: Teilsystem der Aussteifung, bauart Konstruktions (2018).
- Abbildung 14: Effizienter Kraftfluss der „Schechbrettaussteifung“, bauart Konstruktions (2018).
- Abbildung 15: Struktur unter Windbeanspruchung (Verformungen überhöht dargestellt), bauart Konstruktions (2018).
- Abbildung 16: Statische Komponenten und ihre Zusammensetzung, bauart Konstruktions (2018).
- Abbildung 17: Struktureller Aufbau, Behnisch Architekten (2018).
- Abbildung 18: Übersicht Methodik der Sachbilanz auf Gebäudeebene und Festlegung der notwendigen Inputparameter
- Abbildung 19: GWP Herstellung und Betrieb pro m² NF und a
- Abbildung 20: GWP Herstellung und Betrieb pro m² NF
- Abbildung 21: LCC Herstellung und Betrieb pro m² NF und a
- Abbildung 22: LCC Herstellung und Betrieb pro m² NF
- Abbildung 23: Wirtschaftliche Betrachtung, Transsolar (2018).
- Abbildung 24: Versorgungskonzept über Fernwärme, Transsolar (2018).
- Abbildung 25: Versorgungskonzept über Wärmepumpe, Transsolar (2018).
- Abbildung 26: Versorgungskonzept über Biomasse, Transsolar (2018)
- Abbildung 27: Versorgungskonzept Cloud to Heat, Transsolar (2018).
- Abbildung 28: PV-Strom Erzeugungspotential alle Flächen, Transsolar (2018).
- Abbildung 29: Strombedarf versus PV-Strom Erzeugung auf allen Flächen, Transsolar (2018).
- Abbildung 30: Strombedarf versus PV-Strom Erzeugung zum Betrieb des Gebäudes, Transsolar (2018).
- Abbildung 31: Solare Einstrahlung auf die Dachflächen, Transsolar (2018).
- Abbildung 32: Solare Einstrahlung auf das Treppenhaus, Transsolar (2018).
- Abbildung 33: Solare Einstrahlung auf die Nord-Ostfassade, Transsolar (2018).
- Abbildung 34: Solare Einstrahlung auf die Südwestfassade, Transsolar (2018).
- Abbildung 35: Solare Einstrahlung auf die Südostfassade, Transsolar (2018).

- Abbildung 36: Solare Einstrahlung auf die Südostfassade mit Balkonen, Transsolar (2018).
- Abbildung 37: Strom Erzeugung auf Dachflächen Hochhaus und Treppenhhaus, Transsolar (2018).
- Abbildung 38: Grundlegende Anforderungen an die Balkone, Transsolar (2018).
- Abbildung 39: Darstellung des arametrischen Arbeitsmodells, Transsolar (2018).
- Abbildung 40: Arbeitsmodell in Grasshopper, Transsolar (2018).
- Abbildung 41: Ergebnisse Variantenvergleich Süd-West Balkone, Transsolar (2018).
- Abbildung 42: Ergebnisse Variantenvergleich Süd-West Balkone, Transsolar (2018).
- Abbildung 43: Ergebnisse Variantenvergleich Süd-West Balkone, Transsolar
- Abbildung 44: Ergebnisse Variantenvergleich Süd-West Balkone, Transsolar
- Abbildung 45: Ergebnisse Variantenvergleich Süd-West Balkone, Transsolar
- Abbildung 46: Balkonoptimierung - Balkongeometrie, Transsolar (2018).
- Abbildung 47: Berechnungskriterien (Optimierungsziel), Transsolar
- Abbildung 48: Ergebnisse Variantenvergleich Süd-West Balkone, Transsolar (2018).
- Abbildung 49: Gesamtes Gebäude Simulationsergebnisse, Transsolar (2018).
- Abbildung 50: PV Module auf Balkondach (Konzept), Transsolar (2018).
- Abbildung 51: Vorentwurf Balkonoptimierung, Behnisch Architekten (2018).
- Abbildung 52: New Geometry, Behnisch Architekten (2018).
- Abbildung 53: Balkonelemente, Behnisch Architekten (2018).
- Abbildung 54: Balkonelemente, Behnisch Architekten (2018).

Literaturverzeichnis

- [Bos16] BOSSE, A.: Analyse konventioneller Außenwandkonstruktionen hinsichtlich ihrer Eignung als anthropogene Lagerstätten im Urban Mining durch die Identifizierung der relevanten Materialien und die exemplarische Optimierung ihrer Rückflussquoten“, Diplomarbeit, Mathematik/Naturwissenschaften, Universität Koblenz-Landau, Koblenz-Landau, 2016.
- [EUB11] EU-BAUPVO, VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates: EU-BauPVO. 2011.
- [Fri17] FRITZ-KADOR, B.: Deutschlands höchstes Holzhaus in Heilbronn. Rhein-Neckar-Zeitung. 2017.
- [Gei17] GEIGER, N.: Hamburgische Bauordnung bringt mehrgeschossigen Holzbau voran. Zentrum für Energie, Bauen, Architektur und Umwelt GmbH. 2017.
- [Ges01] Langwasser — heimisch werden in Nürnbergs jüngstem Stadtteil. Geschichte Für Alle e. V. (Hrsg.). 2001.
- [Ges07] Nürnberg-Langwasser, Geschichte eines Stadtteils. Geschichte Für Alle e. V. (Hrsg.). 2007.
- [Kau17] KAUFMANN, H. ET. AL.: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau. Detail Business Information GmbH. 2017.
- [KW14] KRAUSS, O. AND WERNER, T.: Potenziale eines hochwertigen Recyclings im Baubereich, Kurzanalyse Nr.8. 2014,
- [WMA13] WEIMANN, K., MATYSCHIK, J., ADAM, C., SCHULZ, T., LINSS, E. AND MÜLLER, A.: Optimierung des Rückbaus / Abbruchs von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung, Vol. 2013.

IMPRESSUM

Bewilligungsempfänger

St. Gundekar-Werk Eichstätt GmbH

Peter-Stephan Englert
Penzendorfer Straße 20
D-91126 Schwabach
Telefon: +49 (0) 9122 309-10
Fax: +49 (0) 9122 309-39
E-Mail: peter.englert@gundekar-werk.de

Projektleitung

Technische Universität München
Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen
Prof. Dipl.-Ing. Thomas Auer,
Arcisstraße 21
80333 München
Telefon: 089-289-22475
Telefax: 089-289-23851

Autoren

Technische Universität München
Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen
Prof. Dipl.-Ing. Thomas Auer
Dipl.-Ing. Architekt Daniele Santucci M. Sc.
David Selje M.Sc.

bauart Konstruktions GmbH & Co. KG

Univ. -Prof. Dr. -Ing. Stefan Winter
Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Stefan Burghard
Simeon Genov M.Sc.
Andreas Hipper M.Sc.

Behnisch Architekten Partnerschaft mbB, Stuttgart

Dipl.-Ing. Arch. Stefan Behnisch HON. FAIA, NCARB, RIBA, BDA
Dipl.-Ing. Arch. Robert Hösle
Dipl.-Ing. Arch. Maria Hirnsperger
Dipl.-Ing. Arch. Laura Baldelli
Dipl.-Ing. Arch. Aran Healy

Transsolar Energietechnik GmbH

Dipl.-Ing. Martin Engelhardt
Vu Hoang M.Sc.
Dipl.-Ing. Alexander Knirsch