

LifeCycle Tower

Energieeffizientes Holzhochhaus mit bis
zu 20 Geschossen in Systembauweise

M. Zangerl, H. Kaufmann, C.Hein et al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

86/2010

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

LifeCycle Tower

Energieeffizientes Holzhochhaus mit bis
zu 20 Geschossen in Systembauweise

Mag. Michael Zangerl
Rhomberg Bau GmbH

Bregenz, September 2010

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der Programmlinie *Haus der Zukunft* im Rahmen des Impulsprogramms *Nachhaltig Wirtschaften*, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie *Haus der Zukunft* intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten und Nutzerakzeptanz bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm *Nachhaltig Wirtschaften* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert, aber auch elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	9
Abstract	11
1 Einleitung.....	13
2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt	15
2.1 Beschreibung des Stands der Technik.....	15
2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	16
2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand	17
2.4 Verwendete Methoden	18
2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten	18
2.6 Ergebnisse des Projekts.....	20
2.6.1 Ökologie „Carbon Footprint“	20
2.6.2 Tragwerk.....	21
2.6.3 Energiedesign – Gebäudetechnik.....	31
2.6.4 Energiedesign – Fassade	37
2.6.5 Ökonomie	42
3 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms	44
3.1 Einpassung in das Programm	44
3.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms	44
3.3 Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt	45
3.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale für die Projektergebnisse.....	45
4 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	46
5 Ausblick und Empfehlungen	52

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Das rasche Urbanisierungswachstum der nächsten Jahre bedingt einen deutlich erhöhten Platzbedarf in den Städten. Überwiegend werden Bauten in konventioneller Stahlbeton-Bauweise errichtet. Die zunehmende Ressourcenknappheit sowie steigende Rohstoffpreise lassen den Baustoff Holz immer interessanter werden. Auch bieten (Hoch-)Häuser ungenutzte Potentiale zur Energieerzeugung und -speicherung. Bauwerke werden in der Regel als individuelle Prototypen erstellt, was hohe Baukosten sowie lange Planungs- und Errichtungszeiten bedingt. Systembauweisen hingegen geben Kostensicherheit und führen zu signifikanten Qualitäts- und Wirtschaftlichkeitsoptimierungen. All diese Überlegungen waren der Motivator, ein Produkt am Bausektor zu schaffen, mit dem die Abhängigkeit von konventionellen Baustoffen und Energieträgern reduziert werden kann. Das Projekt baut dabei auf Ergebnissen von Vorprojekten auf, in denen die technische Machbarkeit eines Holzhochhauses erforscht und Ansätze für nachhaltige Gebäudeentwicklungen erarbeitet wurden (achtplus, Immo Rate, inkl.wohnen).

Inhalte und Zielsetzungen

Ziel des Projekts LifeCycle Tower war es, ein baureifes, flexibles Holzfertigteil-Baukastensystem zur Errichtung energieeffizienter Bürohochhäuser, mit bis zu 20 Geschossen zu entwickeln. Ein weiterer Schwerpunkt war eine auf die Konstruktion abgestimmte Gebäude- und Fassadentechnik, die dazu beiträgt, vom energieverbrauchenden zum energieerzeugenden Gebäude zu gelangen und dadurch einen Beitrag zu einem CO₂-neutralen Gebäudesektor zu leisten.

Im gegenständlichen Forschungsprojekt wurde dabei folgendes Hauptziel definiert:

Entwicklung eines baureifen, flexiblen Holzfertigteil-Baukastensystems:

- für Hochhäuser mit bis zu 20 Geschossen
- zur Nutzung als Büro, Wohnung und/oder Hotel
- mit höchst effizientem Energiekonzept
- mit positiver Energiebilanz

Es sollte erstmalig ein Holz-Baukastensystem als eigenständiges Produkt entwickelt werden, das die Anforderungen an Brandschutz, Akustik und Tragfähigkeit erfüllt.

Methodische Vorgehensweise

Über den gesamten Projektverlauf kam ein integraler Planungsprozess zur Anwendung, was bedeutet, dass Vertreter sämtlicher Disziplinen (Architektur, Statik, Facility Management, Gebäudetechnik etc.) die wesentlichen Aufgaben gemeinsam und ganzheitlich bearbeitet haben. Ein weiteres zentrales Element der Methodik war die Durchführung von theoretischen Simulationen, die mit realen Versuchen (z.B. Brandversuch) überprüft und bestätigt wurden.

Ergebnisse und Ausblick

Folgende Ergebnisse liegen zum Ende des Projekts vor:

- ein umfassendes Gebäudekonzept für Konstruktion, Gebäudetechnik und Fassade
- ein Holz-Baukastensystem als neues, eigenständiges Produkt, das die Anforderungen an Brandschutz, Akustik und Tragfähigkeit erfüllt
- ein produkt- und herstellernerutrales Gebäudetechnik-Layout inkl. Fassadenkonzept
- ein Energiedesign für ein Plusenergiehaus
- eine einreichfähige Planung für einen fiktiven Standort
- eine lebenszyklusorientierte Wirtschaftlichkeitsberechnungen
- eine CO₂-Bilanz und Zertifizierung.

Das gesamte Gebäudesystem wurde auf seine technische und ökonomische Umsetzbarkeit sowie auf ökologische Kriterien ausgerichtet. Dadurch wurde ein Produkt kreiert, das Signifikanz hat und Kostensicherheit während des gesamten Lebenszyklus bietet. Erreicht wurde dies mittels einer modularen, industriell herstellbaren Holzverbundbauweise, die die Tragstruktur für ein energetisch optimiertes Fassadensystems bildet. Haustechnik, Fassade und Konstruktion bilden dabei ein voneinander abhängiges Gesamtsystem.

Die im gegenständlichen Forschungsprojekt gewonnenen Erkenntnisse sollen im nächsten Schritt anhand eines Demonstrationsprojekts veranschaulicht und weiter optimiert werden.

Abstract

Starting point/Motivation

The rapid urbanization growth of the next years requires significantly more space in the cities. Buildings are constructed by-and-large in conventional steel-concrete constructions. The increasing shortness of resources as well as increasing prices for raw materials are making wood more interesting as a construction material. Furthermore, (high-rise) buildings also have an untapped potential for energy production and storage. Constructed buildings are usually made as individual prototypes, what causes high construction costs and long planning and construction times. Modular construction types, on the other hand, provide cost security and lead to a significant optimization of quality and economics. All these considerations were the motivator for the creation of a product in the construction business, which can lead to the reduction of dependency on conventional construction materials and energy types. This project is building on the results of prior projects, during which the technical feasibility of a wooden high-rise building have been researched and the initial ideas for durable building developments had been worked out (achtplus, Immo Rate, inkl.wohnen).

Contents and Objectives

The goal of the project LifeCycle Tower was to develop a flexible, modular, ready-to-build wooden construction system for the construction of energy-efficient office high-rise buildings with up to 20 floors. Additional emphasis was placed on the construction of matching building and facade technology, which also contributes to going from an energy-using to an energy-producing building and thus contributes to a building industry which is CO₂-neutral.

During this research project the following main goals were defined:

Development of a ready-to-build, flexible "wooden construction system" (modular construction type):

- for high-rise buildings of up to 20 floors
- for use as offices, apartments and/or hotels
- with the most efficient energy concept possible
- with a positive energy balance sheet.

The goal of the project LifeCycle Tower is to develop a wooden construction system for the first time as a new, independent product which meets the requirements of fire protection, acoustics and bearing capacity.

Methods

An integrated planning process was applied to the entire project, which means that representatives of all areas of knowledge (architecture, static, facility management, building technology, etc.) had worked jointly through the essential tasks. Another central element was carrying out theoretical simulations, which were checked and confirmed with real trials (e. g. fire test).

Results

At the end of the project the following results had been achieved:

- a comprehensive building concept for construction, building technology and facade
- a wooden modular construction system as a new, independent product, which meets the requirements for fire protection, acoustics and bearing capacity
- a product- and manufacturer-neutral building technology-layout incl. facade concept
- energy design for a plus-energy-house
- ready-to-file planning for an imaginary location
- lifecycle-orientated economical calculations
- a CO₂-balance and certification.

The entire building system was geared towards its technical and economical feasibility as well as ecological criteria. Therefore a product was created which is significant and which offers cost security during the entire lifecycle. This was achieved through a modular, wooden construction system type, which can be industrially made and which forms the core structure of an energy-optimized facade system. For this, building technology, facade and construction were forming an interdependent total system.

Prospects / Suggestions for future research

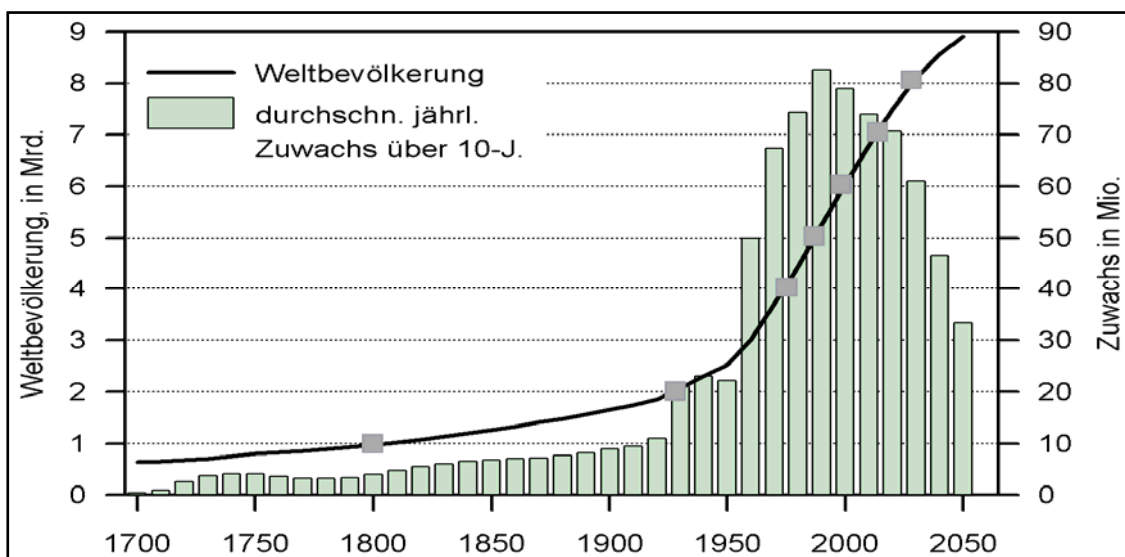
The findings of this research project will be shown as a next step through a demonstration project and shall be further optimized.

1 Einleitung

Um 1800 lebten etwa 25 % der Bevölkerung in Städten und rund 75 % auf dem Land. 2008 betrug der Anteil der Stadtbewohner über 50 % und laut Prognosen der Vereinten Nationen werden im Jahr 2050 über 75 % aller Erdbürger in Städten leben.

Entsprechend einem offiziellen UNO-Bericht¹ stellt die Verstädterung der Welt die größte Herausforderung an die Zukunft der Menschheit dar. Die Weltbevölkerung erlebt einen rasanten Zuwachs, jährlich nimmt sie um 78 Millionen Menschen zu. Das entspricht etwa der Zahl der Bevölkerung Deutschlands.

Bevölkerungsexperten sprechen davon, dass die laufende Urbanisierung der Erde neben der Erfindung der Landwirtschaft vor rund 10.000 Jahren und der Industrialisierung des 19. Jahrhunderts eine der existenziellen Veränderungen der menschlichen Bevölkerung darstellt – eine Revolution im (Um-)Denken der Menschen scheint unausweichlich.



Quelle: Bayerische Landeszentrale für politische Bildungsarbeit

Eine logische Konsequenz des raschen Urbanisierungswachstums ist ein deutlich erhöhter Platzbedarf, der in vielen Fällen durch die Entstehung von mehrgeschossigen Gebäuden (Hochhäusern) gedeckt werden wird.

¹ Weltbevölkerungsbericht des United Nations Population Fund (UNFPA)

Nachhaltige Lösungsansätze in der Entwicklung von Bauwerken leisten nicht nur einen ökologischen Beitrag im schonenden Umgang mit Ressourcen, sondern tragen auch zur Stärkung der Wettbewerbsposition innovativer Unternehmen im internationalen Marktumfeld bei.

Die Abhängigkeit von konventionellen Baustoffen und Energieträgern soll reduziert werden. Dafür werden neue wirtschaftliche Ansätze und Lösungen entwickelt und der Realitätsbezug in Umsetzungsprojekten nachgewiesen.

2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

2.1 Beschreibung des Stands der Technik

Hochhäuser wurden bislang überwiegend in konventioneller Massivbauweise (Stahlbetonskelettbau) errichtet. Durch die zunehmende Ressourcenknappheit, die CO₂-Thematik und die steigenden Preise für Stahl, Dämmstoffe und Beton wird die Bedeutung von Holz zunehmen und dieser Rohstoff wird immer interessanter für die Bauwirtschaft werden.

Auch im Energiebereich ist Verbesserungspotential gegeben. Derzeit optimieren neue Energiesysteme vielfach nur isolierte Teilaspekte eines Gebäudes (z.B. Reduktion von Heizenergie) mit zum Teil resultierendem hohem Technisierungsgrad, vernachlässigen jedoch die komplexen Zusammenhänge eines gesamten Objektes mit den damit verbundenen Lebens- und Arbeitsräumen. Durch die ganzheitliche Entwicklung von Bauwerken von Beginn an können qualitativ hochstehende und höchst effiziente Energielösungen mit relativ geringem Technikeinsatz realisiert werden. Zudem bieten Hochhäuser ungenutzte Potentiale zur Energieerzeugung.

Nach heutigem Stand der Technik werden Bauwerke in der Regel als Prototypen geplant und erstellt; dies bedingt hohe Baukosten, lange Errichtungszeiten und hohe Planungs- und Ausführungsrisiken.

Eine Systematisierung und Industrialisierung des Fertigungsprozesses, wie sie z.B. in der Automobilindustrie bereits vor Jahrzehnten Einzug gehalten hat, ist in der Bauindustrie bislang noch nicht zu beobachten. Ziel ist die Entwicklung einer Systembauweise, die zur Optimierung des Planungs- und Errichtungsprozesses führt und signifikante Qualitäts- und Wirtschaftlichkeitsoptimierung mit sich bringt.

Nachhaltige Lösungsansätze in der Entwicklung von Bauwerken leisten nicht nur einen ökologischen Beitrag im schonenden Umgang mit Ressourcen, sondern tragen auch zur Stärkung der Wettbewerbsposition innovativer Unternehmen im internationalen Marktumfeld bei.

Die Abhängigkeit von konventionellen Baustoffen und Energieträgern soll reduziert werden. Dafür werden neue wirtschaftliche Ansätze und Lösungen entwickelt und der Realitätsbezug in Umsetzungsprojekten nachgewiesen.

2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

„Acht oder mehr Geschosse aus Holz“ – im Projekt achtplus² wurde erforscht, ob und wie diese Vision zur Realität werden kann. Will man den Holzbau als ebenbürtige Alternative im Bauwesen etablieren, müssen Strategien des Bauens mit Holz im urbanen Raum erprobt werden. Achtplus behandelte dieses komplexe Thema im Rahmen einer erweiterten Machbarkeitsstudie. Das daraus entstandene Forschungskonzept stützt sich im Wesentlichen auf vier Säulen:

- Entwicklung und Untersuchung eines städtisch geeigneten Hochhaustypus – acht oder mehr Geschosse – in Holzverbundbauweise mit Büronutzung.
- Grundsätzliche Untersuchung der Machbarkeit in Bezug auf Tragwerk, Vorfertigung und Montage sowie Klärung des Brand- und Personenschutzes.
- Erstellen einer systematischen Stärken-Schwächen-Analyse samt Kostenermittlung zur Evaluierung der Konstruktion inklusive einer Risikoanalyse des Projekts samt Versicherungsmodell.
- Marktorientierte Positionierung der Typologie in Bezug auf die ökonomische und ökologische Relevanz im städtischen Kontext im Sinne nachhaltiger Entwicklung.

Ergebnisse

Es wurden 20 Regelgeschosse in Holzbauweise untersucht und auch rechnerisch nachgewiesen. Die Berechnung erfolgte nach Euro-Code.

Die wesentlichen ökonomischen Faktoren für die Umsetzung des Projekts liegen im Rohbau. Vier unterschiedliche Konstruktionsweisen wurden für die tragende Holzstruktur untersucht und miteinander verglichen. Alle Konstruktionsarten wurden statisch vorbemessen und für tauglich befunden.

Alle Holzkonstruktionen wurden kalkuliert und monetär bewertet.

Für einer der Konstruktionsweisen, den Kern-Typus, wurde eine Vergleichskalkulation in Massivbauweise erstellt und dem Holzbau gegenübergestellt. Resultat: Der Holzbau liegt in den Errichtungskosten um 12 % höher als der Massivbau.

Für den Brandschutz wurden die Anforderungen für Hochhäuser (ONR 22000) als Basis herangezogen. Ausnahme: Verwendung von brennbaren anstatt nicht brennbaren Baustoffen. Brandschutz und Evakuierung wurden nachgewiesen.

Alle Risiken für Personen in einem solchen Gebäude können minimal gehalten werden, zudem werden alle Sicherheiten bewusst erhöht.

² P. Krabbe: Möglichkeiten eines vielgeschossigen Holzbaus im urbanen Raum mit Zielrichtung auf acht oder mehr Geschosse, Schriftenreihe 70/2009

Das Bürogebäude ist im Passivhausstandard möglich, sowohl in Bezug auf die Heizlast als auch auf die Kühllast. Voraussetzung dafür sind beste Verglasung, Verschattung der Sonnenseiten, Erhöhung der Masse im Deckenaufbau sowie eine natürliche Belüftung.

2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand

Das Ziel des gegenständlichen Forschungsprojekts war die Entwicklung eines baureifen flexiblen „Holzfertigteil-Baukastens“ (Systembauweise):

- für Hochhäuser mit bis zu 20 Geschossen
- zur Nutzung als Büro, Wohnung oder Hotel
- mit höchst effizientem Energiekonzept
- mit positiver Energiebilanz

Es sollte erstmalig ein Holz-Baukastensystem als eigenständiges Produkt entwickelt werden, das die Anforderungen an Brandschutz, Akustik und Tragfähigkeit erfüllt.

Folgende Neuerungen bzw. Vorteile weist das entwickelte Baukastensystem auf:

- eine auf die Hälfte verkürzte Bauzeit
- Sicherheit für Kosten und Qualität
- geringere Lebenszykluskosten verglichen mit Bauwerken in konventioneller Bauweise
- Werterhaltung des Gebäudes durch lebenszyklusoptimierte Konzeption der Gewerke
- reduzierte Rohstoffabhängigkeit
- Wohlfühlfaktor in den Gebäuden
- geringer Flächenbedarf für die Bauabwicklung, daher geringere Störung des Alltagslebens der Anrainer und betroffenen Verkehrsteilnehmer
- attraktive städtebauliche Akzente und Imagepflege für Quartiere
- günstige CO₂-Bilanz

Das Baukastensystem ist hinsichtlich wirtschaftlicher Energieeffizienz optimiert und erzeugt Energie. Der Innovationsgehalt liegt in der Gesamtkonzeption sowie in der Adaptierung bestehender Technologien, einerseits zur Vermeidung von Energieverbrauch, andererseits zur Energiegewinnung:

- Geothermisches Heizen/Kühlen: hoher Komfort bei möglichst niedrigem Technisierungsgrad
- Einsatz von Solarthermie und Photovoltaik
- Einspeisung überschüssiger Energie in öffentliche Netze
- Rezyklierbarkeit der eingesetzten Materialien, Komponenten und Elemente

2.4 Verwendete Methoden

Über den gesamten Projektverlauf kam ein integraler Planungsprozess zur Anwendung, was bedeutet, dass Vertreter sämtlicher Disziplinen (Architektur, Statik, Facility-Management, Gebäudetechnik,...) die wesentlichen Aufgaben gemeinsam und ganzheitlich bearbeitet haben.

Es fanden regelmäßige Workshops in Bregenz und Berlin mit allen beteiligten Projektteilnehmern statt, deren Inhalte die Schaffung einer gemeinsamen Basis und die gemeinsamen Bearbeitung von Aufgaben waren.

Ein weiteres zentrales Element der Methodik war die Durchführung von theoretischen Simulationen, die mit realen Versuchen (z.B. Brandversuch an einem Deckenelement am 16.02.2010 in der Versuchsanstalt PAVUS in Tschechien) überprüft und bestätigt wurden.

Zur Darstellung des konstruktiven Prinzips wurde ein Modell des LifeCycle Tower erstellt, welches auf einschlägigen Messen präsentiert wurde.

2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten

Um die Projektziele zu erreichen, stand das Forschungsteam vor folgenden Herausforderungen:

Ein im Vorgängerprojekt (achtplus) nicht gelöstes Problem war ein den bauphysikalischen Anforderungen entsprechender Deckenaufbau. Es mussten neue Konstruktionen und Materialien (z.B. Holzverbundstoffe) entwickelt sowie die technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit getestet werden.

Die besonderen Risiken lagen dabei:

- in der Baubarkeit generell
- darin, dass für erarbeitete Lösungen Maßnahmen aufgrund rechtlicher Bestimmungen gesetzt werden müssen, die einer wirtschaftlichen Verwertung entgegenstehen
- darin, dass keine geeigneten Lösungen zur Erreichung eines angenehmen Raumklimas aufgrund der fehlenden Masse entwickelt werden können
- darin, dass weitere bauphysikalische Anforderungen nicht erfüllt werden können (Schall, Wärme, Feuchtigkeit)

- darin, dass unterschiedliche, internationale Bauvorschriften der Entwicklung einer Systembauweise entgegenwirken und daher die Wiederholbarkeit nicht gewährleistet ist

Des Weiteren musste ein auf großvolumige Holzbauten abgestimmtes Energiekonzept völlig neu entwickelt werden. Dabei waren die besonderen Charakteristiken des Baustoffs Holz zu berücksichtigen.

2.6 Ergebnisse des Projekts

Die durchgeführten Arbeiten am Forschungsprojekt wurden in mehrere zentrale Arbeitspakete (Ökologie, Tragwerk, Brandschutz, Energiedesign, Haustechnik, Ökonomie) gegliedert.

2.6.1 Ökologie „Carbon Footprint“

Hinsichtlich der ökologischen Performance des LifeCycle Tower wurde eine CO₂-Analyse bzw. der „Carbon Footprint“ erhoben und analysiert.

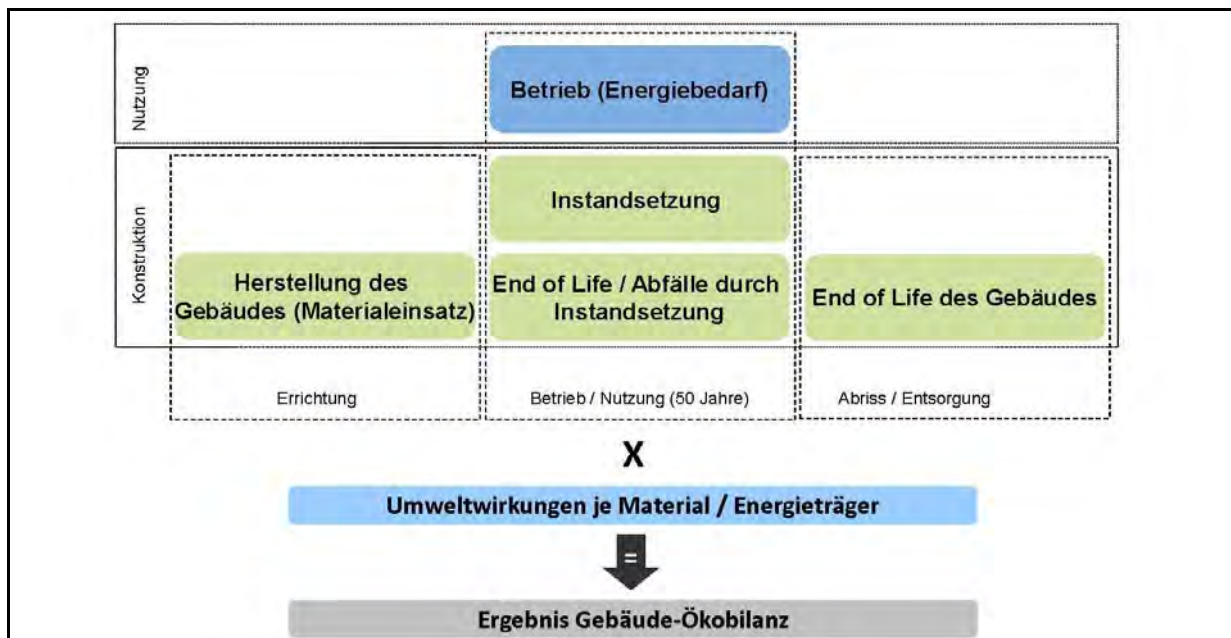


Abbildung: Ermittlung Gebäude-Ökobilanz

Der CO₂-Wert oder „Carbon Footprint“ ist die Gesamtmenge an CO₂, die entlang des gesamten Lebenszyklus des LifeCycle Tower entsteht.

Aufgrund der Verwendung des CO₂-neutralen Baustoffes Holz weist der LifeCycle Tower eine signifikant geringere CO₂-Emission auf, als ein konventionelles Gebäude.

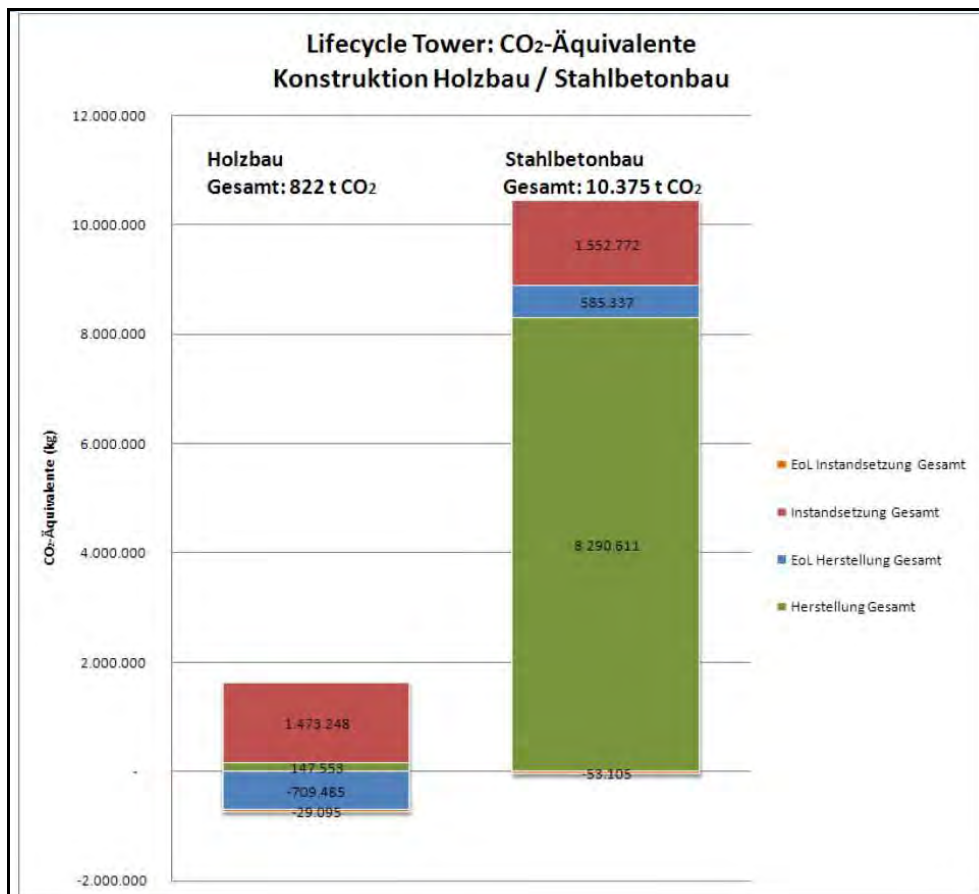


Abbildung: CO₂ Äquivalente Holzbau/Stahlbetonbau

Ein LifeCycle Tower mit 20 Stockwerken emittiert in Herstellung, Instandsetzung und Entsorgung 9.493 Tonnen weniger CO₂-Äquivalente als ein vergleichbarer Stahlbetonbau – das entspricht einer CO₂-Einsparung von über 90 %, oder etwa dem CO₂-Ausstoß von 15.000 Personenflügen von Zürich nach New York.

2.6.2 Tragwerk

Um in den aussteifenden Bauteilen möglichst einfache und wenige Knoten zu realisieren und an der Fassade jedes verfügbare Fassadensystem einsetzen zu können, gelangt ein Rechteck-Kerntyp mit einer Länge von 38,3 m, einer Breite von 24,8 m und einer Höhe von 76 m zur Ausformulierung.

Das Grundraster des Gebäudes beträgt 1,35 m. Dieses Raster wird durch die Fassadenstützen mit einem Achsabstand von 2,70 m aufgegriffen.

Im Wesentlichen lässt sich die Holz-Tragkonstruktion des Hochhauses in drei Bauelemente gliedern:

1. zentraler Erschließungskern

Das untersuchte System besteht aus massiven Brett-schichtholzwänden, welche mit Stahlverbindungs-mitteln verbunden werden. Hierdurch wird das Bauwerk vertikal ausgesteift.

2. Fassadenstützen

Die senkrechten Lasten an der Gebäudeaußenkante werden über Massivholzstützen nach unten abgetragen. Die Stützen bestehen aus Brett-schichtholz.

3. Geschoßdecken

Als Geschoßdeckensystem kommen grundsätzlich mehrere Ausführungsvarianten in Betracht. Die funktionalen und technischen Anforderungen an das Bauwerk können mit Hohlkastendecken, Vollholzdecken, Holzrippendecken und Holzbetonverbunddecken erfüllt werden. Die Systeme haben unterschiedliche Auswirkungen auf gestalterische Flexibilität und Wirtschaftlichkeit. Im Zuge des Forschungsprojekts wurde die Holzbetonverbunddecke als die am besten geeignete Variante identifiziert. Bei dem gewählten Hybridsystem wird der Baustoff Holz durch die Verbindung mit mineralischen, nicht brennbaren Materialien aufgewertet und stellt ein sowohl unter technischen als auch wirtschaftlichen Gesichtspunkten hervorragend geeignetes Bauteil dar, welches vor allem hinsichtlich Schallschutz und Brandschutz deutlich bessere Werte als Alternativsysteme mit sich bringt.

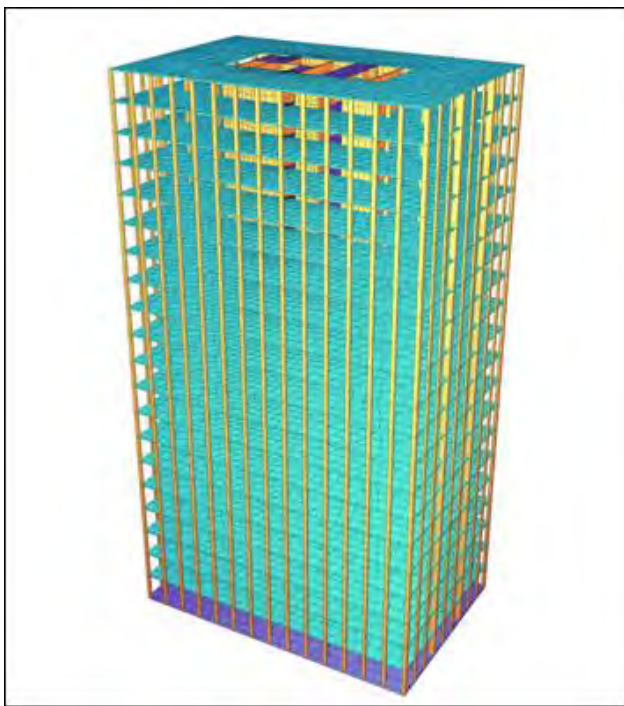


Abbildung: Visualisierung des Rechenmodells

In obiger Abbildung ist eine Visualisierung des Gesamtmodells als Grundlage für die statischen und dynamischen Berechnungen dargestellt.

Kern:

Der dargestellte Kern des Gebäudes wird ab dem 2. Obergeschoss in Brettschichtholz GL24h ausgeführt. Die Kernwände haben Wandstärken von 12 cm, 16 cm und 30 cm. Besondere Bedeutung für die Aussteifung kommt dabei den 30 cm starken Kernwänden zu. Diese Kernwände tragen horizontale Einwirkungen, wie beispielsweise Wind, über Schubkräfte und ein Druck-Zug-Kräftepaar zur Gründung ab.



Abbildung: Ausschnitt des Gesamtmodells

Decken:

Die Geschossdecken spannen 9,45 m zwischen den Fassadenstützen und dem Kern. In den Randbereichen ohne Kernanbindung lagern die Geschossdecken auf Unterzügen und Innenstützen auf. Statisch wirken die Geschossdecken als Holz-Verbundquerschnitte mit einer 18 cm starken mineralischen Decke und 18cm hohen und 36 cm breiten Holzquerschnitten als Rippen unterhalb der mineralischen Decke. Die Holzquerschnitte haben einen lichten Abstand von 31,5 cm. Die Rohdeckenstärke beträgt insgesamt 36cm. Die Holzquerschnitte laufen parallel zur Hauptspannrichtung und reichen von ca. 26 cm hinter der Fassadenkante bis ca. 1,50 m vor die Kernwand.



Abbildung: Deckenelemente

Der geplante Einsatz von 2,70 m breiten Fertigteilen für die Herstellung der Decke ermöglicht eine verkürzte Gesamtbauzeit. Die Fugen zwischen den einzelnen Fertigelementen werden bauseitig mit Spezialmörtel vergossen.

Die Deckenbereiche innerhalb des Kerns weisen eine geringe Spannweite auf, daher können diese Decken als klassische Stahlbetonflachdecken mit einer Dicke von 18 cm ausgeführt werden.

Stützen:

Die Stützen im Fassadenbereich werden aus Brettschichtholz verschiedener Qualitäten geplant. Sie dienen zum vertikalen Abtrag von Decken- und Fassadenlasten. Zusätzlich leiten sie horizontale Kräfte aus auftretender Windbelastung von den Fassadenelementen sicher in die Decke ein. Die Decke leitet die Kräfte zum aussteifenden Kern. Konstruktionsbedingt werden die Stützen nicht zur globalen Gebäudeaussteifung herangezogen. Sie sind an ihren Kopf- und Fußpunkten mit einer geringen Teileinspannung mit der Deckenkonstruktion verbunden; im Berechnungsmodell sind diese Anschlüsse als gelenkig angesetzt.



Abbildung: Stützelement

Die Stützen im Innenbereich haben die gleiche Funktionsweise wie die Fassadenstützen. Sie tragen jedoch keine Fassadenlasten ab und stützen einen größeren Deckenbereich, daher ist der statisch erforderliche Querschnitt der Innenstützen größer als der Querschnitt der Fassadenstützen.

Das Tragwerk im Erdgeschoss und im 1. Obergeschoss besteht aus Stahlbeton C30/37. Die Wand- und Stützenquerschnitte greifen die Querschnittsgröße der Holzstützen auf. So werden die Anschlüsse zwischen Holz und Beton sowie die Bewehrungsführung erleichtert.

Gegründet wird das Gebäude in dem hier vorliegenden Report auf einer 60 cm starken Fundamentplatte aus Stahlbeton. Untergeschosse sind nicht vorgesehen, können aber ohne

größere Probleme ergänzt werden, wenn das Stützenraster und die Kerngeometrie der Obergeschosse aufgegriffen wird.

Neben der Beschreibung und Darstellung eines Aussteifungs- und Tragwerkskonzeptes wurden alle notwendigen Tragelemente in Abhängigkeit von unterschiedlichen Nutzlasten statisch nachgewiesen und Angaben zu möglichen Bauteilabmessungen gegeben. Dabei wurde gezeigt, dass die vertikalen Tragglieder (Stützen und Kernwände) in Brettschichtholzbauweise ausgeführt werden können. Als Deckensystem wurde eine Holz-Verbunddecke entwickelt und ebenfalls für unterschiedliche Nutzlasten und Bodenaufbauten statisch und schallschutztechnisch nachgewiesen. Anschluss- und Verbindungsdetails wurden exemplarisch untersucht und berechnet und die Lösungsvorschläge zeichnerisch dargestellt. Darüber hinaus wurden an einem dreidimensionalen Gesamtmodell des Gebäudes umfangreiche dynamische Untersuchungen durchgeführt. Das dynamische Verhalten des Gebäudes bei Windeinwirkungen bzw. die Auswirkungen auf die späteren Nutzer des Gebäudes wurden ermittelt und ausgewertet.

Es konnte abschließend festgestellt werden, dass das Vorhaben, ein Hochhaus in Holzbauweise zu erstellen, statisch eindeutig durchführbar ist. Es wurden Lösungen zu Aussteifungs-, Verankerungs- und Anschlussproblematiken sowie zur Dimensionierung der notwendigen Bauteile erarbeitet.

Es erscheint sinnvoll, zu folgenden Punkten weitergehende Forschung zu betreiben, um den erreichten Kenntnisstand abzusichern und auszubauen:

- Verifizierung des vorab versuchstechnisch ermittelten Verhaltens der Fassadenstützen mit einer CFD-Naturbrandsimulation unter Ansatz realer Umgebungsbedingungen. Damit lässt sich einerseits die Art und Intensität des Abbrandes bestimmen. Andererseits kann dabei mittels Parameterstudien festgestellt werden, ob und mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Stützenpaar ausfallen kann bzw. zu welchem Zeitpunkt dies genau geschehen wird.
- Rechnerische Parameterstudien und versuchstechnische Untersuchungen von alternativen Deckensystemen, die für unterschiedliche Spannweiten und Fußbodenaufbauten mit einer jeweils bestimmten Gebäudenutzung optimiert sind. Die Untersuchungen und Versuche sollten sowohl unter statischen bzw. dynamischen als auch unter schallakustischen und brandschutztechnischen Gesichtspunkten erfolgen.
- Im vorliegenden Projekt wurde ein innenliegender Kern als Aussteifungssystem gewählt und nachgewiesen. Ein solches System beeinflusst dabei ziemlich deutlich den Gebäudegrundriss bzw. die Raumaufteilung. Außenliegende Aussteifungssysteme in Ebene der Gebäudehülle stellen eine gute und für den Holzbau sinnvolle Alternative dar.

- In einem realen Demonstrationsprojekt sollten die bisher erarbeiteten und theoretisch funktionierenden Bausysteme auf ihre Praxistauglichkeit hin geprüft werden. Ein solcher Prototyp eignet sich außerdem hervorragend dafür, Messungen und Untersuchungen vorzunehmen, um das reale Gebäudeverhalten abzubilden.

2.6.2.1 Brandschutz

Der Brandschutz stellt grundsätzlich einen wesentlichen Aspekt der Genehmigungsfähigkeit von mehrgeschossigen Gebäuden dar. In den letzten 20 Jahren durchlebte der moderne Holzbau sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht einen enormen Entwicklungsschub, welcher sich auch in der stetigen Anpassung der gesetzlichen Regelwerke widerspiegelt. Die Abbildung auf dieser Seite zeigt, dass sich das Thema Brandschutz in den letzten Jahren permanent verändert hat und die gesetzlichen Restriktionen gegenüber mehrgeschossigem Holzbau nach und nach gelockert werden.

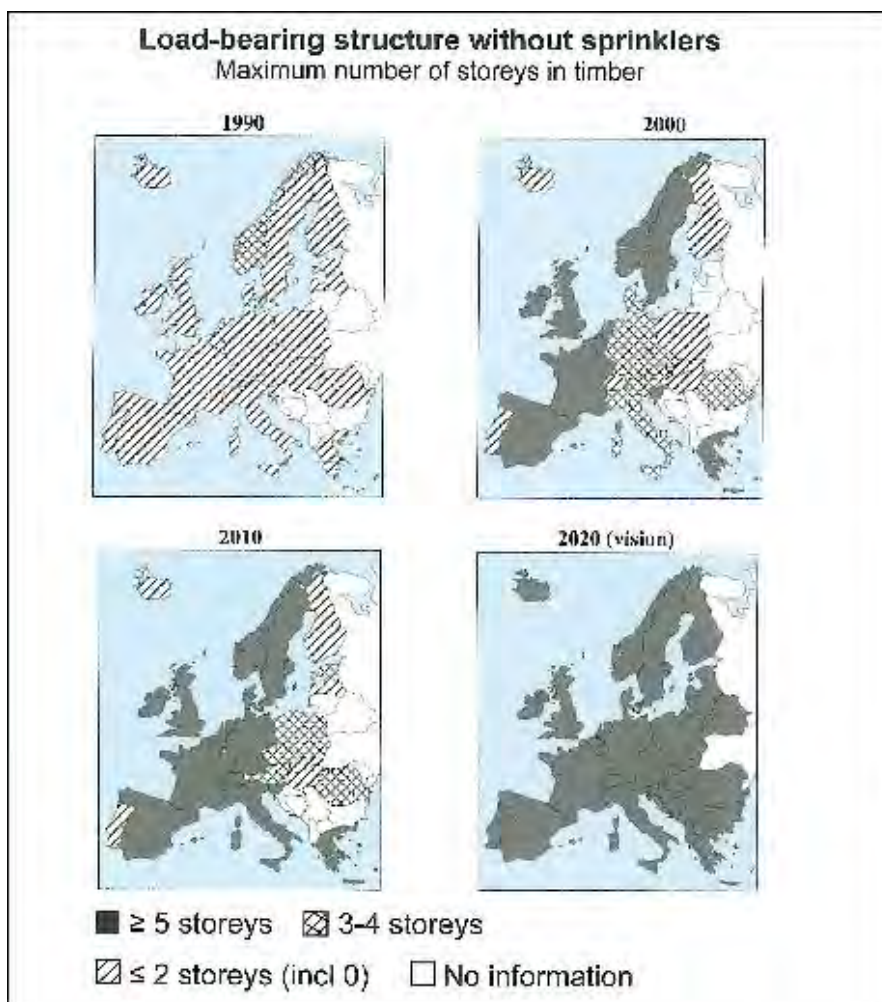


Abbildung: Entwicklung der Brandschutzbestimmungen in Europa (Quelle: Fire In Timber³, SP INFO 2010:15)

³ Fire Resistance of Innovative Timber structures

Aufgrund der nach wie vor signifikanten Unterschiede der nationalen und regionalen gesetzlichen Regelwerke sind Pauschalaussagen zur Genehmigungsfähigkeit von mehrgeschossigen Gebäuden nicht zulässig, insbesondere auch deshalb, weil das Genehmigungsreglement in Abhängigkeit zur Nutzungsbestimmung (Hotel, Büro, Wohnen) steht.

Der Einsatz von Holz für die Tragstruktur eines Hochhauses ist in den deutschsprachigen Ländern zum momentanen Zeitpunkt nur in Verbindung mit Kompensationsmaßnahmen zur Erreichung der gleichwertigen Schutzziele möglich. Erste Ansätze gibt es bei innerstädtischen Projekten, wo bis zur Hochhausgrenze mit Tragelementen aus Holz gebaut wurde. Die Tragstruktur wurde größtenteils in gekapselter Ausführung hergestellt. Bei der Genehmigung dieser Projekte wurden Sonderwege durch das Einbeziehen der Genehmigungsbehörden und der Feuerwehr beschritten. Dieser Weg über die Behörden kann nur mit einem ganzheitlichen Brandschutzkonzept gegangen werden, in dem die Abweichungen von den Bauregeln und erforderliche Kompensationsmaßnahmen für die Erreichung des mindestens gleichwertigen Schutzzieles beschrieben werden. Ein Herauslösen von einzelnen Betrachtungspunkten aus dem Konzept ist in der ganzheitlichen Betrachtung nicht möglich.

Im Forschungsbericht wird der entwickelte Bautyp LifeCycle Tower auf der Grundlage der österreichischen Regelungen bewertet und ausgelegt. Zusätzlich wird ein Abgleich mit den Ländern Deutschland und Schweiz durchgeführt.

Laut den OIB-Richtlinien muss ein Bauwerk derart entworfen und ausgeführt sein, dass bei einem Brand die Tragfähigkeit des Bauwerkes während eines bestimmten Zeitraumes erhalten bleibt, die Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Bauwerkes begrenzt wird, die Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauwerke verhindert wird, die Bewohner das Gebäude unverletzt verlassen können, die Sicherheit der Rettungsmannschaften gewährleistet wird und wirksame Löscharbeiten möglich sind.

Das Tragwerkskonzept für den LifeCycle Tower sieht vor,

- den zentral gelegenen Kern als Massivholzkern mit einer Kapselung über 90 Minuten aus nicht brennbaren Materialien,
- die Geschossdecken als Holz-Beton-Verbunddecken und
- die Stützen im Bereich der Fassaden aus Brettschichtholz in nicht gekapselter Ausführung

herzustellen.

Ziel ist es, dass der Einsatz von Holz innerhalb der oben beschriebenen Tragstruktur die einzige Abweichung zu den baurechtlichen Vorschriften und Regelwerken darstellt. Insbesondere werden die genannten Anforderungen aus der Hochhausregel ONR 22000 [A03] zu den Fluchtweglängen und -breiten, zur Gestaltung der Treppenträume mit Vorräumen, zum Feuerwiderstand der Bauteile, zum Raumabschluss, zur sicherheitstechnischen Gebäudeausrüstung wie Branderkennung, Rauchabführung und Brandunterdrückung, zur Infrastruktur für die eingreifende Feuerwehr und im organisatorischen Brandschutz mindestens erfüllt bzw. höherwertiger geplant.

Folgende Maßnahmen sind als Kompensationsmaßnahmen zum Einsatz von nicht gekapselten Holzelementen im Forschungsprojekt vorgesehen:

- Kompensation durch die Erhöhung der Wirksamkeit und der Verfügbarkeit der eingesetzten Löschanlage.
- Kompensation durch die Erhöhung der Wirksamkeit der Rauchgasdruckanlagen in notwendigen Treppenträumen und deren Vorräumen.
- Kompensation durch das Einführen eines Qualitätsmanagements für die Errichtung und das anschließende Betreiben des Gebäudes.
- Kompensation durch die Begrenzung der maximalen Größe von brandschutztechnisch abgetrennten Nutzungsbereichen auf ca. 140 m².

In intensiver Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten im Holzbau und unter Einbeziehung der Gefahr der möglichen Brandweiterleitung durch die Brennbarkeit des Baustoffes Holz wurde folgender Ansatz für das Forschungsprojekt entwickelt:

- Einfache und jederzeit übersichtliche Fluchtwegstruktur und Sicherstellung der Angriffswege für die Feuerwehr.
- Bauen in Fertigteilen (Elementbauweise) mit durchgeplanten Standardlösungen, um Einzellösungen zu reduzieren. Hierbei wird der Vorteil genutzt, dass Detaillösungen baulich vorgegeben sind und die einzelnen Bauteile auf der Baustelle nur zusammengefügt werden müssen. Nachträgliche Arbeiten mit nichtvorgefertigten Elementen auf der Baustelle, wie z.B. separate Brandschutzverkleidungen, werden auf ein Minimum beschränkt. Durch diese Elementierung werden komplexe, vor Ort auszuführende Details und deren Umsetzung, die im normalen Baugeschehen auf fachliche Richtigkeit schwer kontrollierbar sind, vermieden.
- Bemessung der nicht gekapselten Holzelemente auf Abbrand (90 Minuten).
- Auflösung der Verbunddecke von flächigen Holzelementen in eine Linien- und Einzelstruktur.
- Anschluss von brandschutztechnisch notwendigen Trennwänden an Decken, Böden und Flurtrennwänden aus mineralischen Baustoffen.
- Anschluss der horizontal verlegten anlagentechnischen Ausstattungen an nicht brennbare mineralische Baustoffe.

- Offene Verlegung von anlagentechnischen Ausstattungen in Bereichen von nicht gekapselten Holzmaterialien.
- Entwicklung einer Holzverbundstütze aus brennbaren und nichtbrennbaren Baustoffen.
- Keine Hohlräume in den Bauteilen.
- Unterbindung der Brandübertragung von Geschoss zu Geschoss durch das Fortführen des Betonteiles der Verbunddecke bis an die Fassade.
- Zoneneinteilung in den Geschossen, d.h. Rettungswege nur mit gekapselten Holztragelementen und sichtbare Holzelemente nur in den Nutzungsbereichen. Durch diese Zonierung wird erreicht, dass alle Bestandteile der Rettungswege nicht mit einer immobilen Brandlast beaufschlagt werden und eine sichere Evakuierung und Angriffsmöglichkeit für die Feuerwehr gewährleistet ist.

Es wurden Lösungsansätze zum bautechnischen Umgang mit dem Baustoff Holz für ein Hochhausbauvorhaben ausgearbeitet. Für das Decken-Element wurde am 16.02.2010 ein Deckenbrandversuch bei der Brandversuchsanstalt PAVUS durchgeführt bei welchem die Erreichung der Brandschutzklasse REI90 nachgewiesen werden konnte.



Abbildungen: Brandversuch am 16.02.2010

Damit ist eine solide Basis geschaffen, auf der weitere Untersuchungen und Pilotprojekte aufbauen können. Es erscheint sinnvoll, zu folgenden Punkten weitergehende Forschung zu betreiben, um den erreichten Kenntnisstand abzusichern und auszubauen:

- Realbrandversuche an Fassadenstützen, um das genaue Brandverhalten und die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen (u.a. Fire-Stop-Layer, Kapselung) zu bestimmen.
- Verifizierung des vorab versuchstechnisch ermittelten Verhaltens der Fassadenstützen mit einer CFD-Naturbrandsimulation unter Ansatz realer Umgebungsbedingungen. Damit lässt sich einerseits die Art und Intensität des Abbrandes bestimmen. Andererseits kann dabei mittels Parameterstudien festgestellt werden ob und mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Stützenpaar ausfallen kann bzw. zu welchem Zeitpunkt dies genau geschehen wird.

In einem realen Pilotprojekt sollten die bisher erarbeiteten und theoretisch gut funktionierenden Bausysteme auf ihre Praxistauglichkeit hin geprüft werden. Ein solcher Prototyp eignet sich außerdem hervorragend dafür, Messungen und Untersuchungen vorzunehmen, damit das reale Gebäudeverhalten abgebildet werden kann.

Die baurechtlichen Aspekte wurden im Forschungsprojekt erarbeitet und Ansätze für noch folgende Diskussionen mit den Behördenvertretern geliefert. Dabei wird die Diskussion der Schutzziele eine entscheidende Rolle einnehmen.

2.6.3 Energiedesign – Gebäudetechnik

Planungsziel der technischen Gebäudeausrüstung im vorliegenden Projekt LCT – LifeCycle Tower – war, neben der Funktionalität des Gebäudes, ein Raumklima zu schaffen, dass je nach Nutzungsbereich ein konzentriertes Arbeiten (Bürobereiche) oder einen entspannten Aufenthalt (Hotelbereiche) ermöglicht. Gleichzeitig sollte der erforderliche Energiebedarf auf ein Minimum reduziert werden. Das Planungsziel wurde unter Beachtung der vorhandenen Randbedingungen und der Umsetzbarkeit der Konzepte realisiert.

Als Zielsetzung für die Gewerke der technischen Gebäudeausrüstung waren Versorgungsanlagen und –systeme zu planen, die den Ansprüchen eines hochenergieeffizienten Gebäudes gerecht werden. Grundsätzlich liegen die energetischen Anforderungen an ein Plusenergie- oder Passivhaus deutlich über den Maßgaben für Niedrigenergiehäuser, so dass durch weitere Verringerung der Wärmeverluste und konsequente Nutzung gebäudeinterner Energien und externer Umweltenergien der Gesamtenergiebedarf weitgehend ohne konventionelle Erzeuger bereitgestellt werden kann.

Die besondere Herausforderung zum Erreichen dieses Standards im vorliegenden Projekt lag im Charakter des LifeCycle Tower als Hochhaus mit unterschiedlichen und anspruchsvollen Nutzungskonzepten. Dies erforderte eine möglichst genaue Betrachtung aller relevanten Energieströme und die Entwicklung eines integralen Energiekonzeptes.

Das grundlegende Energieversorgungskonzept beruht auf der vorrangigen Nutzung regenerativer Energien und wird in allen versorgungstechnischen Bereichen umgesetzt. So kann ein Teil der verbrauchten elektrischen Energie über fassadenintegrierte Photovoltaikmodule regenerativ erzeugt werden. Ebenso wird die Energie für die Trinkwarmwasserbereitung durch eine solarthermische Anlage auf dem Dach bereitgestellt. Als Energiequelle für Raumheizung und -kühlung des Gebäudes wird ausschließlich die Geothermie genutzt, die über ein unter dem Gebäude liegendes Erdsondenfeld erschlossen wird. Die Zentralgeräte der Raumluftechnik verfügen über hocheffiziente Wärmerückgewinnungssysteme. Die Nachheizung der Trinkwarmwasseranlage sowie die Bereitstellung der erforderlichen Erhitzerleistung für die Raumluftechnik erfolgt ebenfalls regenerativ durch einen Biomasse-Brennstoffkessel.

Auf konventionelle Energieträger wie beispielsweise Heizöl oder Erdgas wird gänzlich verzichtet.

Technische Detailangaben zu den Sanitär-, Sprinkler-, Heiz-, Kühl-, Lüftungs-, Elektro- und Aufzugsanlagen sowie zur Gebäudeautomation sind den Anhängen zu entnehmen. Dort ist ebenfalls eine umfassende thermische Simulation für die Büro- und Hotelbereiche dokumentiert.

Im Projekt LifeCycle Tower wurde ein umfassendes und consequentes Energiekonzept realisiert, welches sowohl die gewerkeübergreifenden Energieströme als auch mögliche Umweltenergien oder interne Gewinne berücksichtigt. Letztendlich wurden die Verluste den Gewinnen in einer Bilanz gegenübergestellt.

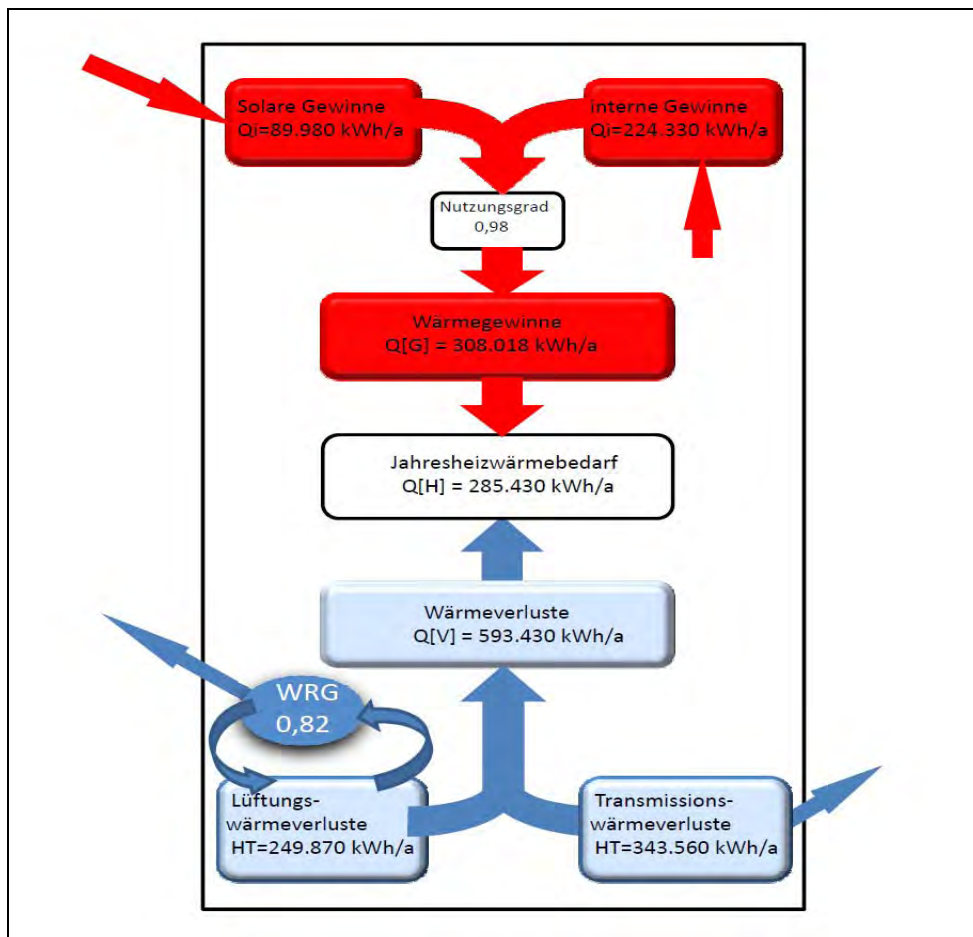


Abbildung: Heizseitige Energiebilanz

Die heizseitige Bilanz wird durch die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste unter Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung einerseits und durch die Gewinne nach Berücksichtigung des Nutzungsgrades andererseits aufgestellt.

Für das LCT-Projekt ergibt sich ein Heizwärmebedarf von 285.430 kWh/a. Bezogen auf die Bruttogeschossfläche beträgt der Jahresheizwärmebedarf demnach weniger als 14 kWh/m² und erfüllt damit das wesentliche Passivhaus-Kriterium.

Im Vergleich zu konventionellen Hochhäusern, deren Jahresheizwärmebedarf sich im Bereich zwischen 50 und 100 kWh/m² bewegt, nimmt das LCT-Projekt damit eine hervorragende Stellung ein.

Die Betrachtung der Energieströme erfolgte jahreszeitlich differenziert. Für den Winterfall ergibt sich folgendes Energieflussbild:

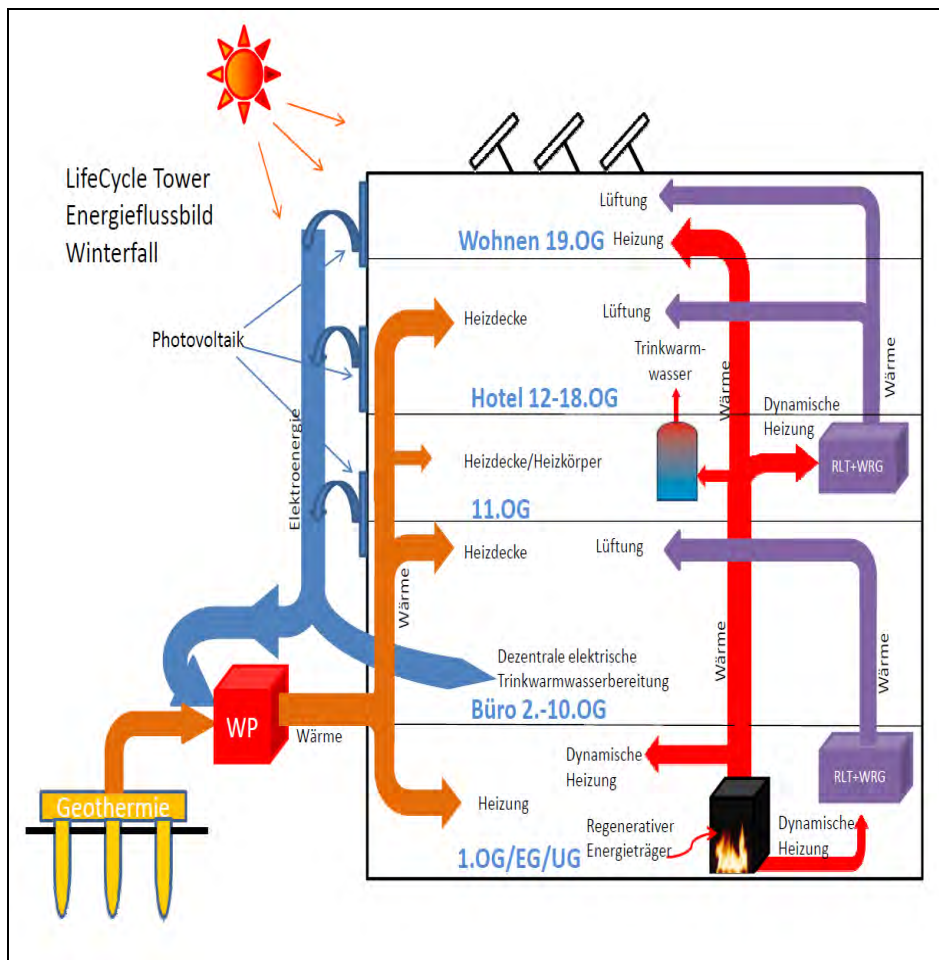


Abbildung: Energieflussbild im Winterfall

Die geothermische Erdsondenanlage steht im Winterfall einer Kompressionswärmepumpe als Wärmequelle zur Verfügung. Die Wärmepumpe bringt die Systemtemperaturen auf Anforderungsniveau. Hierfür wird elektrische Energie für den Kompressor benötigt. Diese kann teilweise durch die Erträge der Photovoltaik gedeckt werden. Ein mit regenerativem Brennstoff betriebener Heizkessel versorgt die Verbraucher mit höheren Anforderungen an die Systemtemperatur. Dies sind die Erhitzer der raumlufttechnischen (RLT-)Anlagen, die im weiteren Verlauf einen Teil der Raumheizlast abdecken, sowie die Trinkwarmwassererwärmung für den Hotelkomplex. Die den RLT-Erhitzen zugeführte Energie wird zum großen Teil durch ein Wärmerückgewinnungssystem zurück gewonnen. Die RLT-Anlagen sind mit unterschiedlichen Wärmerückgewinnungssystemen ausgerüstet – für die Gesamtanlage wurde ein mittlerer Wärmerückgewinnungsgrad von 0,82 ermittelt.

Im Sommer ist eine Kühlung des Gebäudes notwendig. Kerngedanke ist wiederum die Nutzung des Erdsondenfeldes. Anstatt über eine Wärmepumpe, wird die Entzugsleistung im Sommer direkt über einen Wärmeübertrager in das System gebracht und der Raumkühlung zugeführt. Ein weiterer Teil der Raumkühllast wird über die Lüftungsanlage abgeführt. Die notwendige Kälte hierfür wird geräteintern erzeugt.

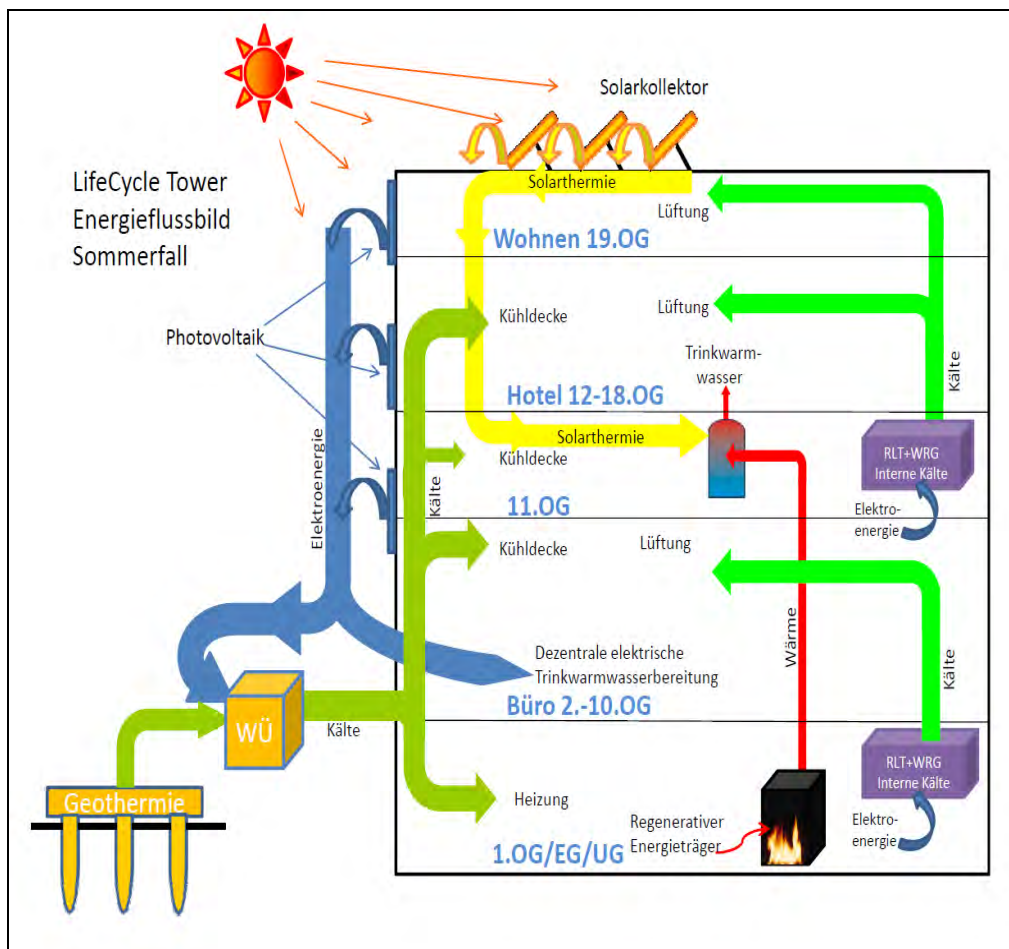


Abbildung: Energieflussbild im Sommerfall

Die Trinkwarmwasserbereitung übernimmt bereits in den Übergangszeiten einen Großteil der notwendigen Erwärmungsleistung. In den Sommermonaten Juni und Juli deckt sie diesen Bedarf vollständig. Nur während nicht auszuschließender ungünstiger Sommerperioden wird über die regenerative Brennstoffanlage nachgeheizt.

Bei der Zusammenfassung der Energieströme des LCT wurde zweistufig vorgegangen. Zum einen bilden die ermittelten Planungsergebnisse die Grundlagen der Jahresenergien, d.h. die verwendeten Leistungen sind der konkreten haustechnischen Planung entnommen. Diese basiert auf einer wirtschaftlichen Auslegung der Komponenten.

Der zweite Ansatz ist eine überschlägige Ermittlung der maximal möglichen Erträge. Hintergrund ist die Fragestellung, inwieweit sich der LifeCycle Tower als ein Plus-Energie-Haus planen lässt. Plus-Energie-Häuser weisen eine positive Energiebilanz auf, d.h. sie stellen mehr Energie zur Verfügung, als sie verbrauchen.

Für diese Betrachtung wurde das Solarkollektorfeld auf eine maximale Größe erweitert, wodurch 46.300 kWh/a an zusätzlicher Energie zur Verfügung stehen.

Die Größe des Erdsondenfeldes orientiert sich an der Grundfläche des Gebäudes. Im Plus-Energie-Ansatz wurde das Erdsondenfeld vergrößert und die Zahl der Erdsonden erhöht. Die zusätzlich zur Verfügung stehende Energiemenge beträgt 870.000 kWh/a.

In einem weiteren Schritt wurden die Photovoltaik-Dünnschicht-Module der Fassaden-PV-Anlage durch effizientere Kristallinmodule ersetzt, wodurch der jährliche Energieertrag um etwa 70% erhöht werden kann.

Darüber hinaus wurde versucht, auch auf der Verbrauchsseite ein Energieeinsparpotential zu finden. Grundgedanke dabei ist eine zu beobachtende und in Fachkreisen derzeit diskutierte erhöhte Akzeptanz der Nutzer von Passivhäusern im thermischen Behaglichkeitsbereich. Demnach stehen Nutzer im Wissen um die ökologische Sinnhaftigkeit des Gebäudecharakters eventuellen Temperaturüberschreitungen toleranter gegenüber. Diesem Ansatz folgend, kann im Hotelkomplex auf die Raumkühltechnik verzichtet werden. Diese Maßnahme verringert den jährlichen Energiebedarf um etwa 160.000 kWh.

Auf der Seite der technischen Ausstattung ist der Einsatz von LED-Leuchtmitteln denkbar. Aus energetischer Sicht sind hier Einsparpotentiale von ca. 25% zu erwarten, die über den verminderten internen Gewinnen liegen werden.

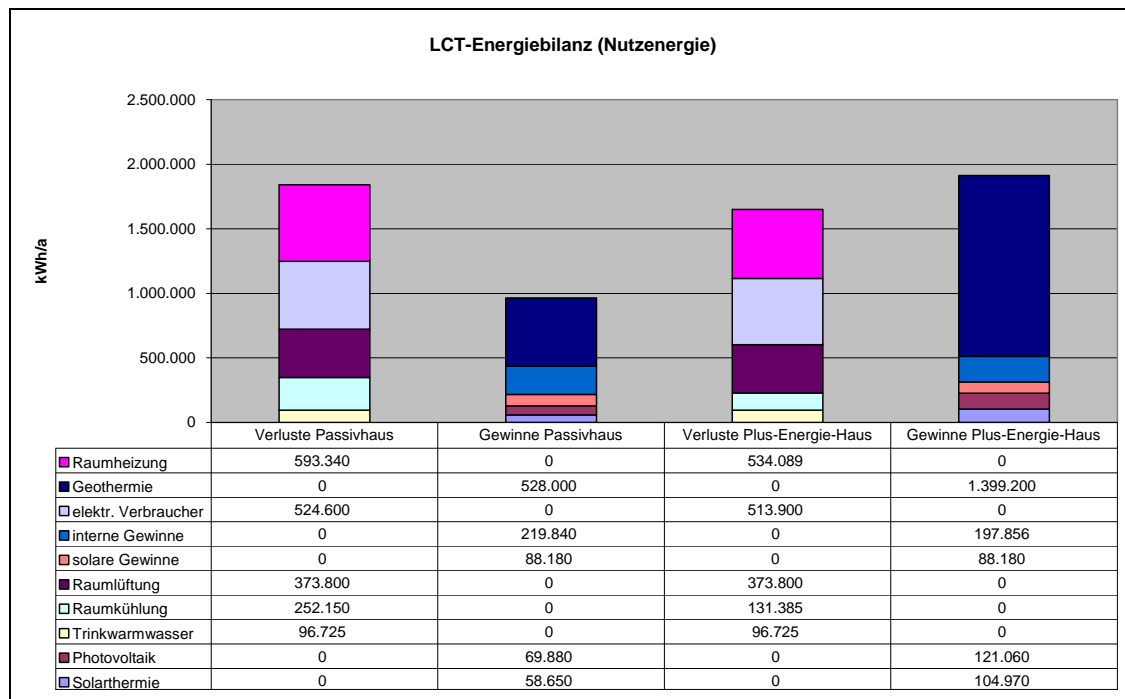


Abbildung: LCT-Nutzenergiebilanz

Die beschriebenen Maßnahmen zeigen mögliche Wege des LifeCycle Tower zum Plus-Energie-Haus auf. Bei dieser Betrachtung ist zu bedenken, dass sämtliche Maßnahmen einer Wirtschaftlichkeitsüberprüfung unterzogen werden müssen. Dabei stellt sich vorrangig die Frage, wie die über den Gebäudebedarf hinaus erzeugte Energie genutzt werden soll. Im Bereich der Photovoltaikanlage ist dies kein vorrangiges Problem, da die gewonnene elektrische Energie in das Versorgungsnetz eingespeist werden kann. Für die überschüssige Wärmeenergie werden jedoch Abnehmer benötigt, die ein Verbrauchsprofil aufweisen, welches dem Angebotsprofil entspricht.

Das Nutzerverhalten stellt eine weitere wesentliche Einflussgröße auf den Energieverbrauch des Gebäudes dar. Dies beschränkt sich nicht nur auf herkömmliche Verhaltensweisen, die sich auf den Verbrauch auswirken, sondern auch auf die Bereitschaft, die Regelmechanismen des Gebäudes zu akzeptieren und zu nutzen. In vielen bestehenden Niedrigenergie- und Passivhäusern zeigte sich eine entsprechende Nutzeraufklärung als erfolgreicher Weg. Den späteren Betreibern des Gebäudes sollen deshalb entsprechende Lehrgänge angeboten werden. Bei ständigen Mietern (Bürobereiche) kann die Nutzeraufklärung beispielsweise in Form eines Handbuchs erfolgen. Nichtständige Nutzer (Hotelbereiche) können über ausgelegte Flyer informiert werden.

In jedem Fall sind die Nutzer auf den besonderen Charakter des Gebäudes hinzuweisen.

2.6.4 Energiedesign – Fassade

Dem einzigartigen Ansatz, ein Hochhaus in Holzelementbauweise zu errichten, war weitest möglich auch im Fassadenbau Rechnung zu tragen.

Durch die Auflage, die Fassade eines Hochhauses als nicht brennbar ausführen zu müssen, sind jedoch der offenen Verwendung von Holz als großflächigem Fassadenbaustoff Grenzen gesetzt. Der inhärente Aspekt des „grünen Gebäudes“ sollte daher auf andere Art nach Außen transportiert werden.

Dies wurde zum Beispiel durch Ausstattung und Verwendung der opaken Flächen und Brüstungsbänder als Energieproduzent und Nutzer natürlicher Ressourcen erreicht.

Über Photovoltaik und Solarthermie ist es möglich, Energie bereitzustellen. Vertikale Grünflächen in den unteren Geschossen wirken als Klimaverbesserer der Innenstadtversiegelung entgegen. Zusammen mit einer maximierten Tageslichtnutzung wird der ökologische Anspruch nach Außen getragen und verbessert zudem den „Carbon Footprint“.

Die Absicht war, wie schon beim Rohbau, auch für die Fassade eine möglichst universelle Matrix für die Länder Österreich, Schweiz und Deutschland zu erstellen, um im Zuge der Vermarktung passende Objektlösungen anbieten zu können.

Die entwickelte Fassade stellt daher in idealer Weise ein offenes, für verschiedene gestalterische und lokale Ansprüche verwertbares Musterbauteil dar. Dies sollte jedoch explizit nicht zu einer uniformen Gestalt führen, sondern nur als Werkzeug, quasi als Grundgerüst, dienen.

Mit diesem universellen Ansatz kann auf die individuellen Bedingungen des Ortes, der anvisierten Nutzung, der Konstruktion und der Ökologie reagiert werden. Nicht zu unterschätzen ist die Notwendigkeit, der gestalterischen Freiheit und Diversität Raum zu lassen.

Ausgehend von der frei gewählten rechteckigen Grundform eines 20-stöckigen Gebäudes mit einem zentralen Kern, errichtet auf einem fiktiven Grundstück in Bregenz in der Nähe zum Bodensee, wurden vermarktungsfähige Nutzeranforderungen definiert.

- Variable Nutzung (auch nachträglich) zwischen Büro, Hotel und Wohnen. Trennwände in jeder 1,35 m-Achse ermöglichen.
- Variable Ausstattung der Fassadenflächen nach Ort, Orientierung, und bauphysikalischer Anforderung.
- Fassadenmontage ohne Gerüst. Elementierung der Bauteile mit rationeller Fügungstechnik auf der Baustelle.
- Kombiniertes Errichten der Fassadentragstützen zusammen mit bereits vorgehängter Fassade in einem Arbeitsschritt um, mit den im Anschluss aufgelegten Fertigteildecken, ein bereits dichtes Bauteil zu schaffen.
- Vermarktungsvorteile durch schnelle, 'trockene Bauweise' nutzen.
- Natürliches Belichten und Belüften ermöglichen, um die Nutzerakzeptanz zu erhöhen.

Ausgehend von 1,35 m Achsabstand bei einer Tragstützenstellung von 2,70 m wurde hier eine Doppelfassade in nicht brennbarer Aluminiumelementbauweise mit eingesetzter Holzfensteröffnung entwickelt.



Abbildung: Aluminium-Elementfassade mit eingesetztem Holzfenster und unterschiedlicher Brüstungsbelegung

Ausschlaggebend für die Konzentration auf eine Doppelfassade waren der jederzeit gesicherte Sonnenschutz und die Reduzierung der Schallschutzanforderung der inneren Ebene um bis zu zwei Klassen.

Die Doppelfassade hat raum- und geschossweise getrennte Funktionen zum Außenklima. Auch die Funktionsbereiche von Belichtung und Belüftung haben eigene zugewiesene Bereiche.

Detailzeichnungen zur Doppelfassade sind der Anlage zu entnehmen.

Das Konzept einer echten Elementfassade wurde angepasst an die hohen Anforderungen hinsichtlich des Wärmeschutzes und der Fugendichtigkeit einer Passivhausfassade.

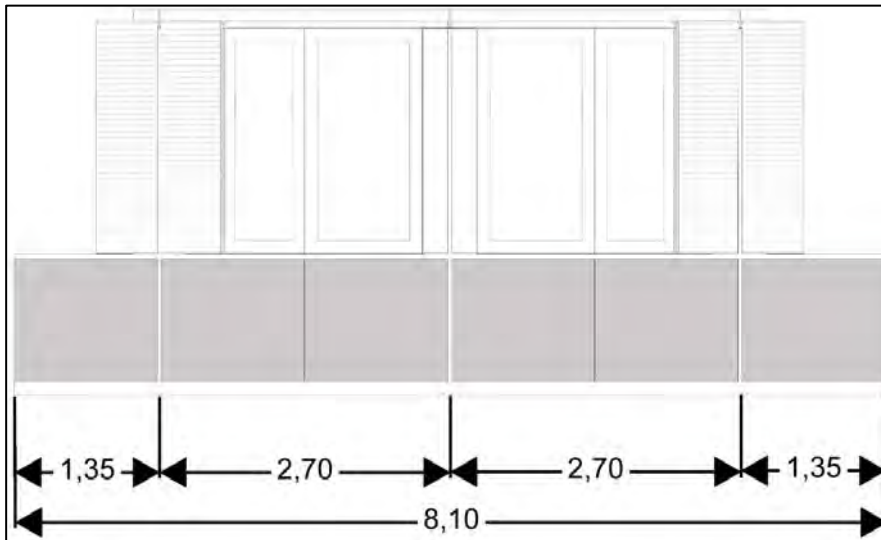


Abbildung: Ansicht 8,10m Elementbreite mit beidseits 1/2 Achsen auskragend

Das elementierte Bauteil ist 8,10 m breit, um den Fugenanteil gering zu halten. Zusätzlich wurde die Fuge weg vom geschosshohen Wandbauteil im Bereich Stütze in den niedrigen Brüstungsbereich gelegt. Die Elemente enden mit jeweils einer halben Fensterachse. Jeweils zwei komplett ausgestattete Fensterfelder werden mit dem Element in Position gebracht. Jedes dritte Fensterfeld wird auf der Baustelle montiert.

Die gewohnte Trennung der Gewerke Rohbau und Fassade wurde bewusst aufgegeben, da die sich aus der Elementfertigung des Tragwerkes ergebenden Vorteile des leichten und trockenen Baustoffes Holz genutzt werden und darüber hinaus sich sogar ein Vorteil gegenüber der hergebrachten Bauweise ableitet.

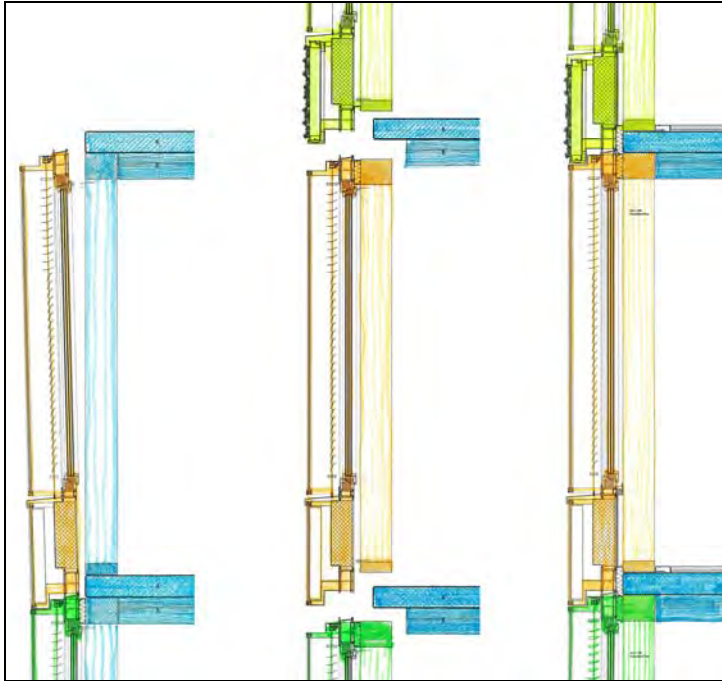


Abbildung: Getrennte (herkömmliche) Montage; gemeinsame Montage; eingebauter Zustand

Hinsichtlich des Wärmeschutzes wird bei den opaken Bauteilen ein U-Wert von $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ erzielt. Dies stellt einen sehr guten Mittelwert für eine Passivhauswand dar. Unter Betrachtung der elementierten Bauweise ist der Wert sogar exzellent.

Die transparenten Fassadenflächen weisen einen U-Wert von $0,62 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf.

Die Ergebnisse von Detailuntersuchungen zum Taupunktverlauf, zur natürlichen Lüftung und Belichtung, zum Brandschutz sowie zur Montage sind den Anhängen zu entnehmen.

Die hier erarbeitete Fassade zeigt nur eine mögliche Lösung im Rahmen der gestellten Parameter.

Mit der Entwicklung und der Verarbeitung neuer Materialien erweitern sich auch die Möglichkeiten des Fassadenbaus. Im Idealfall wird die Fassade der Zukunft auf unterschiedlichste, auch widersprüchliche, Anforderungen reagieren können.

2.6.5 Ökonomie

Vergleich Errichtungskosten LifeCycle Tower - Stahlbetonbau

Es wurde ein ökonomischer Vergleich zwischen den Errichtungskosten eines LifeCycle Tower und jenen eines konventionellen Stahlbetongebäudes durchgeführt.

Folgende, zentrale Unterschiede konnten dabei festgestellt werden:

Da im LifeCycle Tower keine abgehängten Decken notwendig sind, konnte eine beträchtliche Einsparung im Bereich der Raumhöhe und somit der sehr kostenintensiven Fassade erzielt werden.

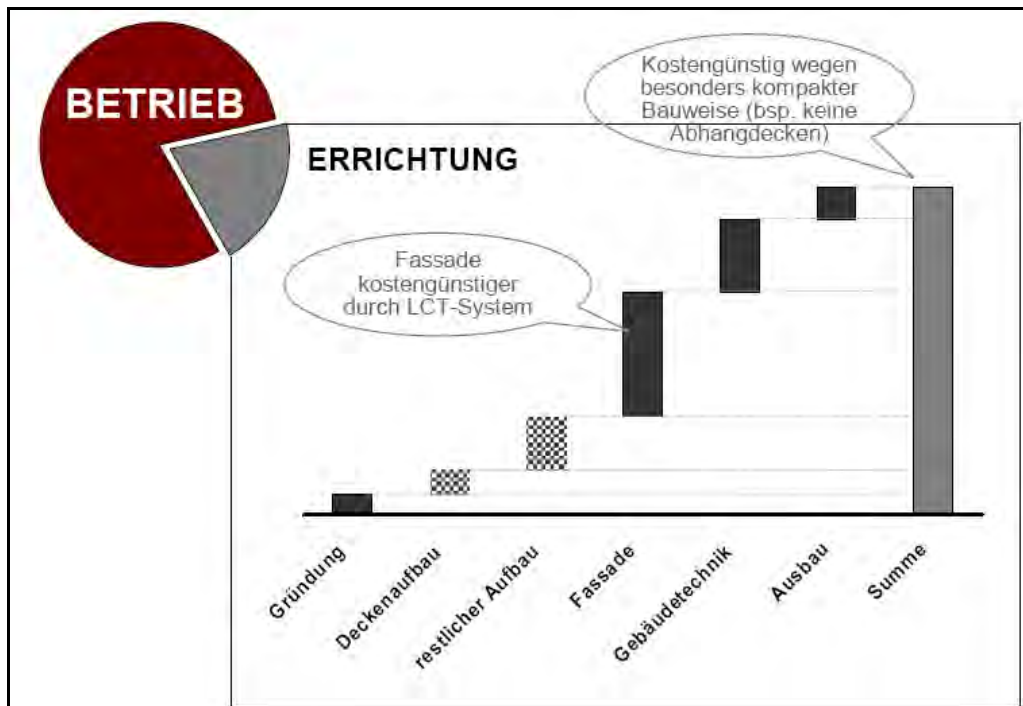


Abbildung: Kostenverteilung Errichtung/Betrieb

Trotz der momentan vergleichsweise höheren Rohstoffkosten des Baustoffes Holz war der LifeCycle Tower in dieser Berechnung nur um weniger als 3 % teurer als ein konventionelles Stahlbetongebäude.

Zu beachten ist, dass es sich bei dieser Berechnung um die reinen Errichtungs-, nicht jedoch um Betriebs- bzw. Lebenszykluskosten handelt. In diesen Bereichen werden deutliche Einsparungen im Vergleich zu einem konventionellen Stahlbetongebäude erzielt.

Lebenszykluskosten:

Es erfolgte eine Kalkulation der Lebenszykluskosten aus Investoren-, Mieter und Gesamtsicht zur wirtschaftlichen Optimierung des Gebäudes und Bewertung von Varianten. Zusammenfassend konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Der Anteil der Nutzungskosten (70 %) an den Lebenszykluskosten ist vergleichsweise gering (üblich bei Büro bis zu 80 %). Dies liegt an den aufgrund der integralen Planung und Investition in regenerative Energien vergleichsweise geringen Nutzungskosten.
- Aufgrund des hohen Energiestandards sind die Kosten für Wärme vergleichsweise gering.
- Die Kosten für Aufsichtsdienste im Betrieb sind ebenfalls gering, da davon ausgegangen wird, dass die wesentliche Überwachung des Objekts über die GLT erfolgt.
- Die Kosten für die technischen Dienstleistungen liegen über den Durchschnittswerten. Jedoch muss das Paket technische Dienstleistungen, Wartungs- und Instandsetzungskosten summiert betrachtet werden. Hier liegen die Kosten in einem üblichen Rahmen.
- Die Objektreinigungskosten sind relativ hoch. Der Grund hierfür ist das notwendige, hohe Reinigungsintervall für Hotelflächen.
- Die restlichen Kosten befinden sich in üblichen Bandbreiten.

Gesamthaft kann gesagt werden, dass die Nutzungskosten (ca. 6,00 €/m²NGF p.m.) exkl. Kapitalkosten, Abschreibung und Abriss als niedrig einzuschätzen sind. .

3 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

3.1 Einpassung in das Programm

Die Bauwirtschaft ist verantwortlich für 25-40% des weltweiten Ressourcen- und Energieverbrauches sowie für 30-40% des Abfallaufkommens und CO₂-Ausstoßes⁴. Nachhaltige Ansätze im Bausektor tragen daher erheblich zur Lösung globaler Probleme bei. Das Projekt „LifeCycle Tower“ baut auf Ergebnissen von FFG- bzw. Haus der Zukunft-Vorgängerprojekten auf:

- Das Projekt „achtplus“ lieferte die Idee und den Beweis für die technische Machbarkeit des Hochhauses in Holzbauweise.
- „Immo Rate“ festigte mit einem neuen Immobilienrating das wirtschaftliche Fundament für nachhaltige Bauten.
- Im Projekt „inkl.wohnen“ wurden die Grundlagen für nachhaltiges Wohnen erforscht und die Erkenntnisse in einem konkreten Projekt umgesetzt.
- „BRIX“ entwickelt ein Bewertungssystem für Produkte und Dienstleistungen bezüglich Ressourcenverbrauch und Ökoeffizienz.

Durch das im Projekt „LifeCycle Tower“ entwickelte Baukastensystem in Holzbauweise können die Produktionsprozesse in der Bauwirtschaft signifikant optimiert werden. Der Ressourceneinsatz bei Bauwerken wird reduziert, nachwachsende Rohstoffe kommen zum Einsatz. Damit wird ein wesentlicher Grundstein gelegt, um die Bauwirtschaft langfristig um einiges ressourcen- und energieschonender zu gestalten.

3.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Das Projekt trägt wesentlich zum Gesamtziel des Programms - und zwar der Entwicklung und Markteinführung wirtschaftlicher umsetzbarer innovativer Lösungen im Sinne eines CO₂ neutralen Gebäudesektors - bei. Konkret wurden folgende Anliegen verfolgt:

- **Schaffung der technologischen Basis für das Gebäude der Zukunft insbesondere das Plus-Energie-Haus**
Die Fragestellung, inwieweit sich der LifeCycle Tower als Plus-Energie-Haus planen lässt, wurde eingehend betrachtet. Im Ergebnis konnten mögliche Wege für eine Umsetzung des LifeCycle Towers als Plus-Energie-Hauses beschrieben werden, wobei sämtliche Maßnahmen einer Wirtschaftlichkeitsprüfung unterzogen werden müssen. Dabei stellt sich vorrangig die Frage, wie die über den Gebäudebedarf hinaus erzeugte Energie genutzt werden soll.
- **Überleitung innovativer Technologien und Produkte zur Serien- bzw. industriellen Fertigung**

⁴ Quelle: UNEP SBCJ

Die Entwicklung eines Baukastensystems war eines der zentralen Elemente des Projekts LifeCycle Tower. Die theoretisch-technische Realisierbarkeit eines 20 stöckigen Hochhauses im entwickelten Holz-Baukastensystem konnte nachgewiesen werden und wird in einem nächsten Projektschritt auch umgesetzt.

- **Initiierung von Demonstrationsprojekten, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten**

Auf Basis der vorliegenden Forschungsergebnisse ist die Umsetzung eines Demonstrationsgebäudes geplant. Im Ergebnis soll ein optimiertes Gebäudekonzept vorliegen, dessen Funktionsfähigkeit und Nutzungseigenschaften am Demonstrationsobjekt im realitätsnahen Betrieb nachgewiesen wurden.

- **Unterstützung der internationalen Vernetzung der österreichischen KompetenzträgerInnen, Verstärkung des internationalen Know-how Transfers sowie Aufbau von Humanressourcen**

Das entwickelte Baukastensystem ist auf eine internationale Vermarktung ausgerichtet. Bereits im Zuge des Projekts und den damit verbundenen Verbreitungsmaßnahmen erfolgte ein internationaler Know-how Transfer, der durch den geplanten Aufbau eines internationalen Vertriebes, der Kooperation mit internationalen Holzbauern und durch weitere Vorträge und Messeauftritte noch verstärkt werden wird.

3.3 Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt

Für das Projekt wurde ein interdisziplinäres Forschungsteam zusammengestellt. Somit wurden bereits in der Entwicklungsphase Experten aus den Fachbereichen Architektur, Holzbau, Generalunternehmerbau, Systembau sowie Gebäudetechnik hinzugezogen. Die Ziele und Anforderungen an das Projekt wurden in enger Zusammenarbeit erstellt und während der Entwicklungsphase über alle Disziplinen hinweg beobachtet.

3.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale für die Projektergebnisse

Die Verbreitung der wesentlichen Erkenntnisse erstreckt sich von Presseinterviews bis zur Organisation von Symposien und internationalen Messeauftritten. Weiters wurden diverse Marktstudien durchgeführt u.a. zum Thema „Green Building“ sowie über mögliche Zielmärkte.

4 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Im Ergebnis der Forschungsarbeit liegen drei wesentliche Erkenntnisse vor:

1. Die theoretisch-technische Realisierbarkeit eines 20stöckigen Hochhauses im entwickelten Holz-Baukastensystem konnte im vorliegenden Forschungsprojekt nachgewiesen werden.
Nach abschließender Betrachtung aller relevanten Aspekte (Architektur, Statik, Plusenergetik und Bauphysik - Brandschutz, Schallschutz, Feuchte, Wärme) kann die Baubarkeit des beschriebenen Objektes bestätigt werden.
2. Die wirtschaftliche Realisierbarkeit eines 20stöckigen Hochhauses in LifeCycle Tower-Systembauweise konnte im vorliegenden Forschungsprojekt nachgewiesen werden und bietet sogar weitere Optimierungspotenziale aufgrund der geplanten industriellen Vorfertigung und Prozessoptimierung.
3. Eine Pauschalaussage hinsichtlich einer realen brandschutztechnischen Genehmigung kann aufgrund lokal stark differierender Brandschutzbestimmungen nicht getroffen werden. Aufgrund der im vorliegenden Forschungsprojekt erarbeiteten Brandschutzkonzepte konnten positive Stellungnahmen der wesentlichen Behörden erwirkt werden.

Bezogen auf die einzelnen Arbeitsbereiche und deren Forschungsergebnisse sind folgende Schlussfolgerungen zu ziehen:

Tragwerk

Neben der Beschreibung und Darstellung eines Aussteifungs- und Tragwerkskonzeptes wurden alle notwendigen Tragelemente in Abhängigkeit von unterschiedlichen Nutzlasten statisch nachgewiesen und Angaben zu möglichen Bauteilabmessungen gegeben. Dabei wurde gezeigt, dass die vertikalen Tragglieder (Stützen und Kernwände) in Brettschichtholzbauweise ausgeführt werden können.

Als Deckensystem wurde eine Holz-Beton-Verbunddecke entwickelt und ebenfalls für unterschiedliche Nutzlasten und Bodenaufbauten statisch und schallschutztechnisch nachgewiesen. Anschluss- und Verbindungsdetails wurden exemplarisch untersucht und berechnet und die Lösungsvorschläge zeichnerisch dargestellt.

Darüber hinaus wurden an einem dreidimensionalen Gesamtmodell des Gebäudes umfangreiche dynamische Untersuchungen durchgeführt. Das dynamische Verhalten des Gebäudes bei Windeinwirkungen bzw. die Auswirkungen auf die späteren Nutzer des Gebäudes wurden ermittelt und ausgewertet.

Es kann abschließend festgestellt werden, dass das Vorhaben, ein Hochhaus in Holzbauweise zu erstellen, bautechnisch prinzipiell durchführbar ist. Auf Aussteifungs-, Verankerungs- und Anschlussproblematiken eines solchen Vorhabens gibt dieser Bericht ebenso Antworten bzw. Lösungsvorschläge, wie zur Dimensionierung der notwendigen Bauteile. Damit ist eine solide Basis geschaffen, auf der weitere Untersuchungen und Pilotprojekte aufbauen können.

Zu folgende Punkten sollten weitergehende Forschung betrieben werden, um den erreichten Kenntnisstand abzusichern und auszubauen:

- Verifizierung des vorab versuchstechnisch ermittelten Verhaltens der Fassadenstützen mit einer CFD-Naturbrandsimulation unter Ansatz realer Umgebungsbedingungen. Damit lässt sich einerseits die Art und Intensität des Abbrandes bestimmen. Andererseits kann dabei mittels Parameterstudien festgestellt werden, ob und mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Stützenpaar ausfallen kann bzw. zu welchem Zeitpunkt dies genau geschehen wird.
- Rechnerische Parameterstudien und versuchstechnische Untersuchungen von alternativen Deckensystemen, die für unterschiedliche Spannweiten und Fußbodenaufbauten mit einer jeweils bestimmten Gebäudenutzung optimiert sind. Die Untersuchungen und Versuche sollten sowohl unter statischen bzw. dynamischen als auch unter schallakustischen und brandschutztechnischen Gesichtspunkten erfolgen.

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde ein innen liegender Kern als Aussteifungssystem gewählt und nachgewiesen. Ein solches System beeinflusst dabei ziemlich deutlich den Gebäudegrundriss bzw. die Raumaufteilung. Außen liegende Aussteifungssysteme in Ebene der Gebäudehülle stellen eine gute und für den Holzbau sinnvolle Alternative dar.

In einem realen Demonstrationsprojekt sollten die bisher erarbeiteten und theoretisch funktionierenden Bausysteme auf ihre Praxistauglichkeit hin geprüft werden. Ein solcher Prototyp eignet sich außerdem hervorragend dafür, Messungen und Untersuchungen vorzunehmen, um das reale Gebäudeverhalten abzubilden.

Brandschutz

Die theoretische brandschutztechnische Genehmigungsfähigkeit konnte im vorliegenden Forschungsbericht nachgewiesen werden, jedoch bestehen nach wie vor systemimmanente Abweichungen von den geltenden Normen. Deren Kompensation ist durch die weiter unten aufgeführten Maßnahmen möglich, muss jedoch standortabhängig für jeden Einzelfall neu geprüft werden. Ein Rechtsanspruch auf Anerkennung von Kompensationsmaßnahmen besteht nicht.

Wesentliche Abweichungen sind:

- die Verwendung eines brennbaren Materials (Holz) in der Tragkonstruktion;
- die Reduzierung des geforderten Feuerwiderstandes der Treppenläufe und -podeste von 90 auf 30 Minuten;
- die Überschreitung der maximalen Länge von Rauchabschnitten in notwendigen Fluren von Hotelgeschossen.

Dazu sind folgende Kompensationsmaßnahmen denkbar:

- Erhöhung der Wirksamkeit und der Verfügbarkeit der eingesetzten Löschanlage;
- Erhöhung der Wirksamkeit der Rauchdruckgasanlage in den notwendigen Treppenträumen und deren Vorräumen;
- Einführen eines Qualitätsmanagements für die Errichtung und Betreibung des Gebäudes;
- Begrenzung der maximalen Größe von brandschutztechnisch abgetrennten Nutzungsbereichen auf 140 m²;
- Brandrauchausspülung über die Rauchschutzdruckanlage der Treppenträume.

Einige bauliche Ausführungen sind nicht geregelt bzw. sind nicht über Prüfzeugnisse und Zulassungen abgedeckt. Für diese baulichen Ausführungen müssen Zustimmungen im Einzelfall über Bewertungen und Prüfungen durch eine anerkannte Prüfanstalt erwirkt werden.

Dies betrifft konkret folgende Konstruktionsdetails:

- Wandanschluss von brandschutztechnisch erforderlichen Leichtbauwänden an die geplanten nicht gekapselten Brett-schichtholz-Stützen;
- Kapselungsbauweise über 90 Minuten, einschließlich aller Anschlüsse;
- Einbau von brandschutztechnisch notwendigen Türen, Abschottungen und ggf. Brandschutzklappen in gekapselte Massivbrett-schichtholzwände;
- Befestigung von sicherheitstechnischen Anlagen innerhalb der Installationsschächte an gekapselten Massivbrett-schichtholzwänden;
- Wandanschluss von brandschutztechnisch erforderlichen Leichtbauschachtwänden an gekapselte Massivbrett-schichtholzwände;
- Brüstungs-/Fassadenelemente in gekapselter Bauweise;
- Einbindung der Holz-Beton-Verbunddecke im Bereich des Deckenauf-lagers in die Kapselung der Kernwand.

Es kann abschließend festgestellt werden, dass das Vorhaben, ein Hochhaus in Holzbauweise zu erstellen, bautechnisch prinzipiell durchführbar ist. Der Bericht bietet Antworten und Lösungsansätze zum bautechnischen Umgang mit dem Baustoff Holz für ein Hochhausbauvorhaben an. Damit ist eine solide Basis geschaffen, auf der weitere Untersuchungen und Pilotprojekte aufbauen können.

Es erscheint sinnvoll, zu folgenden Punkten weitergehende Forschung zu betreiben, um den erreichten Kenntnisstand abzusichern und auszubauen:

- Realbrandversuche an Fassadenstützen, um das genaue Brandverhalten und die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen (u. a. Fire-Stop-Layer, Kapselung) zu bestimmen;
- Verifizierung des vorab versuchstechnisch ermittelten Verhaltens der Fassadenstützen mit einer CFD-Naturbrandsimulation unter Ansatz realer Umgebungsbedingungen. Damit lässt sich einerseits die Art und Intensität des Abbrandes bestimmen. Andererseits kann dabei mittels Parameterstudien festgestellt werden, ob und mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Stützenpaar ausfallen kann bzw. zu welchem Zeitpunkt dies genau geschehen wird.

In einem realen Pilotprojekt sollten die bisher erarbeiteten und theoretisch gut funktionierenden Bausysteme auf ihre Praxistauglichkeit hin geprüft werden. Ein solcher Prototyp eignet sich außerdem hervorragend dafür, Messungen und Untersuchungen vorzunehmen, um das reale Gebäudeverhalten abzubilden.

Die baurechtlichen Aspekte wurden im Bericht dargestellt und Ansätze für noch folgende Diskussionen mit den Behördenvertretern geliefert. Dabei wird die Diskussion der Schutzziele eine entscheidende Rolle einnehmen.

Energiedesign – Fassade

Die hier erarbeitete Fassade zeigt nur eine mögliche Lösung im Rahmen der gestellten Parameter. Bei spezifischen Nutzeranforderungen, veränderten technischen und/oder gesetzlichen Rahmenbedingungen sowie in Abhängigkeit vom Standort wird sich möglicherweise eine andere Lösung als vorteilhafter herausbilden. Die enge Verknüpfung mit der Bauphysik und der gebäudetechnischen Auslegung macht in jedem Fall eine integrale Planung unumgänglich.

Mit der Entwicklung und der Verarbeitung neuer Materialien werden sich auch die Möglichkeiten des Fassadenbaus erweitern. Im Idealfall wird die Fassade der Zukunft auf unterschiedlichste, auch widersprüchliche, Anforderungen reagieren können.

Zunehmend werden auch integrale Hüllen mit vielerlei wechselwirksamen Funktionen zur Umwelt eingesetzt. Dies geschieht zum Teil mit dezentraler Einbindung in das gebäudetechnische Konzept oder über polyvalente Funktionen der Fassadenebenen.

Es ist ein zunehmendes Bewusstsein hin zum Ressourcen schonenden Umgang mit der Umwelt festzustellen. Der Energieverbrauch ist drastisch zu reduzieren. Konstruktiv ist mit dem geplanten Holzhochhaus ein großer Schritt in diese Richtung getan.

Wenn es darüber hinaus gelingt, die Energieverluste der Gebäudehülle in Gewinne umzuwandeln, und dabei auch noch möglichst natürliche Baustoffe verwendet werden, ist der richtige Weg eingeschlagen.

Energiedesign – Gebäudetechnik

Für den LifeCycle Tower wurde ein komplexes und energetisch effektives haustechnisches Versorgungskonzept entworfen und dessen Umsetzbarkeit im Verlauf der Planung bestätigt. Hierfür zeigte es sich erforderlich, an einigen Stellen vorherige Ansätze zu modifizieren. Dem komplexen Charakter eines hochenergieeffizienten Gebäudes entspricht es, dass dabei auch projektbeteiligte Gewerke außerhalb der technischen Gebäudeausrüstung, wie Fassadenplanung und Architektur, einbezogen wurden. Motivationen zu Veränderungen an der Gebäudekubatur, eine modifizierte Fassade oder aber auch veränderte Fensterflächenanteile wurden aus der gebäudetechnischen Planung heraus angeregt und letztendlich umgesetzt.

Der Kerngedanke der haustechnischen Planung liegt in der Nutzung von Erdwärme. Das Konzept nutzt die Geothermie sowohl zur Beheizung als auch zur Kühlung des Gebäudes. Das Verteil- und Übergabesystem ist auf die entsprechenden Systemtemperaturen abgestimmt. Zur Raumheizung und -kühlung sind kombinierte Heiz- und Kühldeckenelemente geplant.

Das Bestreben, vorrangig regenerative Energien zu nutzen, zeigt sich ebenso in der thermischen Solaranlage zur Warmwasserbereitung, der Verwendung einer regenerativen Brennstoffanlage für Verbraucher auf höherem Temperaturniveau und in einer fassadenintegrierten Photovoltaikanlage.

Die Anforderungen an die Raumtemperaturen im Sommer, die durch Komfortkriterien und Arbeitsstättenrichtlinien gegeben sind, machen im LCT eine Gebäudekühlung über passive Kühldecken trotz paralleler Sonnenschutzmaßnahmen unumgänglich. Dadurch entsteht ein großer energetischer Aufwand, der durch ein intelligentes Regelungskonzept (Jalousiensteuerung, automatische Nachtauskühlung) und durch entsprechendes Nutzerverhalten vermindert werden kann.

Für letzteres empfiehlt sich eine Nutzerschulung oder die Erstellung eines Nutzerleitfadens, um über grundlegende energiesparende Verhaltensweisen aufzuklären.

Mit dem Einsatz opaker Lüftungsflügel und über die Erhöhung der Brüstung wurde der transparente Fassadenanteil möglichst klein gehalten. Untersuchungen haben gezeigt, dass selbst bei einem hochwirksamen Sonnenschutz (außen liegende Lamellenjalousie) kleinere Fensterflächen von Vorteil sind, da eine verminderte Kühllast durch geringere äußere Lasten höher zu bewerten ist, als die solaren Gewinne während der Heizperiode.

Nachteile durch eine eventuelle Erhöhung des Kunstlichtanteils können durch Lichtlenkung im oberen Jalousiebereich ausgeglichen werden.

Im zukünftigen Planungsverlauf sollten weitere Optimierungen zur Senkung des Energieverbrauchs untersucht werden.

Hierbei wird ein großes Potential in der Reduzierung der inneren Lasten gesehen. Es stellt sich die Frage, inwieweit sich eine Verringerung der angesetzten Belegungsdichte mit mietökonomischen Aspekten vereinbaren lässt.

Im technischen Bereich erscheint die Entwicklung einer automatisierten Nachtauskühlung über die Gebäudeleittechnik sinnvoll.

Grundlegendes Planungsziel im vorliegenden Projekt war ein Gebäude, welches einem hochenergieeffizienten Standard entspricht.

Sämtliche planerischen Umsetzungen sind auf diesen Ansatz zurückzuführen. Auch wenn eine formale rechnerische Bestätigung durch einen zertifizierten Nachweis zum jetzigen Zeitpunkt nicht Bestandteil der Planungsaufgaben ist, zeigen alle relevanten Parameter recht deutlich, dass dieser Nachweis erbracht werden kann.

5 Ausblick und Empfehlungen

Die im gegenständlichen Forschungsprojekt gewonnenen Erkenntnisse werden im nächsten Schritt anhand eines Demonstrationsprojekts veranschaulicht und weiter optimiert.

Kurzfristiges Ziel ist es, die bisher gewonnenen Ergebnisse in einem Demonstrationsprojekt umzusetzen. Das entwickelte Gebäudekonzept LifeCycle Tower wird plausibilisiert und optimiert. Die vorgefertigten Module des Tragesystems (Primärkonstruktion) werden mit unterschiedlichen Fassadenelementen (u. a. Photovoltaikelementen) und Technologiekomponenten kombiniert. Das Demonstrationsobjekt wird sich nicht als ein homogenes Projekt darstellen, sondern es wird die Variantenvielfalt aufzeigen, die das Bausystem zulässt. Die Auswirkungen der Varianten auf Bauphysik, Energieverbrauch etc. werden gemessen und mit den im Vorgängerprojekt errechneten Werten verglichen.

Das Objekt wird mit „fehlertoleranten“ Nutzern einer realitätsnahen Verwendung als Büro, Wohnung und (eingeschränktem) Hotelzimmer zugeführt.

Die besondere Herausforderung liegt in der Industrialisierung der gesamten Bauabwicklung. Diese umfasst Planungsprozesse, Serienfertigung der Module, Gebrauchstauglichkeit, Logistik und Montage, die am Demonstrationsobjekt getestet und für großvolumige Bauten optimiert werden.

Im Ergebnis liegt ein optimiertes Gebäudekonzept vor, dessen Funktionsfähigkeit und Nutzungseigenschaften am Demonstrationsobjekt im realitätsnahen Betrieb nachgewiesen sind. Dieses steht insbesondere für Tests künftiger Bauteilentwicklungen von Partnerunternehmen zur Verfügung. Das System ist auf internationale Vermarktung ausgerichtet. Das Demonstrationsprojekt wird künftigen Investoren und sonstigen Interessensgruppen die Vorteile des Holzbausystems veranschaulichen und die Vermarktung unterstützen.

Die Vorfabrikation qualitätskritischer Komponenten senkt die hohen Planungs- und Ausführungsrisiken im Systembau und ermöglicht der Bauwirtschaft einen internationalen Know-how Transfer, wie dies bei herkömmlichen Bauweisen nicht möglich wäre. Durch Kooperationen mit dem LifeCycle Tower gelingt es damit auch kleineren und mittleren Unternehmen den Sprung ins Ausland zu schaffen und vom weltweiten Einsatz zu profitieren. Eine weitere Optimierung der industriellen Fertigungsprozesse sowie die Etablierung eines effizienten Supply Chain Management sind die nächsten Schritte im Projekt.