



Wohnen im Hochhaus

Geschichtliche Entwicklung im Hochhausbau

Seminararbeit von Christoph Eichler und Dennis Gedgudas
am Fachgebiet für Grundlagen der Planung und Konstruktion im Hochbau,
Prof. Dipl.-Ing. José Luis Moro
März 2006



Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung	1
2	Geschichte des Hochhausbaus	3
2.1	<i>Bedarf und technische Wegbereiter.....</i>	3
2.2	<i>Entwicklung in den USA</i>	4
2.3	<i>Entwicklung in Deutschland.....</i>	8
3	Konstruktive Herausforderungen	11
3.1	<i>Allgemeines</i>	11
3.2	<i>Windlast.....</i>	11
3.3	<i>Erdbeben</i>	12
3.4	<i>Gründung.....</i>	14
3.5	<i>Brandschutz.....</i>	15
4	Tragkonstruktionen.....	16
4.1	<i>Allgemeines</i>	16
4.2	<i>Tragende Wände.....</i>	16
4.3	<i>Skelettsysteme</i>	17
4.4	<i>Systeme mit Kernen</i>	18
4.5	<i>Röhrensysteme.....</i>	19
4.6	<i>Hybride Systeme</i>	20
5	Städtebauliche Aspekte	22
5.1	<i>Stadtbild.....</i>	22
5.1.1	<i>Gesamteinbindung in das Stadtbild.....</i>	22
5.1.2	<i>Visuelle Dichte der Fassade</i>	24
5.1.3	<i>Gebäudesockel, Krönung und öffentliche Bereiche</i>	26
5.2	<i>Verschattung.....</i>	28
5.3	<i>Bebauungsdichte.....</i>	30
6	Bauphysikalische Herausforderungen	31
6.1	<i>Belichtung.....</i>	31
6.2	<i>Belüftung</i>	31



6.3	<i>Windgeschwindigkeiten und Strömungseffekte</i>	31
6.3.1	Physikalische Effekte	31
6.3.2	Auswirkungen auf Nutzung und Wohnqualität	32
6.3.3	Bautechnische Maßnahmen	32
6.4	<i>Brandschutz</i>	33
7	Problemstellungen im Wohnhochhausbau	34
7.1	<i>Erschließung</i>	34
7.1.1	Innenflure	34
7.1.2	Laubengänge	35
7.1.3	Spänner	36
7.2	<i>Erdgeschoss und Eingangsbereich</i>	37
7.3	<i>Kellerräume, Stell- und Müllstandplätze</i>	37
7.4	<i>Anonymität und soziale Isolation</i>	39
7.5	<i>Verwaltung und Betrieb</i>	39
8	Neue Konzepte im Wohnhochhausbau	40
8.1	<i>21st Century Tower in Dubai</i>	40
8.2	<i>Turning Torso in Malmö</i>	41
9	Ausblick	43
10	Literaturverzeichnis	44
10.1	<i>Bücher</i>	44
10.2	<i>Seminararbeit</i>	44
10.3	<i>Skripte</i>	44
10.4	<i>Internetseiten</i>	44
11	Abbildungsverzeichnis	45



1 Einleitung

Hochhäuser üben seit langer Zeit eine große Faszination auf die Menschheit aus. Der Wunsch, mit einem Gebäude die Wolken zu streifen und dem Himmel möglichst nahe zu kommen, ist wahrscheinlich so alt wie der Traum vom Fliegen.

Bereits früh versuchte sich die Menschheit mit der Konstruktion von hohen Bauten. Die alten Ägypter schufen die Pyramiden mit über einhundert Metern Höhe. Im Mittelalter entstanden viele gotische Kathedralen, die mit ihren Türmen noch weiter in den Himmel ragten. Die Bewohner der Städte waren sehr stolz auf diese Sakralbauten, da sie das Ergebnis einer meist über Jahrhunderte andauernden Arbeit waren. Solche Gebäude waren ein Zeichen des Glaubens und sollten den Menschen Gottes Schutz bieten.

Höhere Gebäude zum Wohnen und Arbeiten entstanden erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Zwar gab es schon im alten Rom 10-stöckige Wohngebäude aus Ziegelmauerwerk, doch eignete sich diese Bauweise wegen des hohen Eigengewichts nicht für noch höhere Gebäude. Erst mit der Entwicklung neuer Bauweisen wurden den Konstrukteuren neue Möglichkeiten offeriert. Dem Hochhausbau waren nun kaum noch Grenzen gesetzt. Gerade in den USA sprossen in den Innenstädten der Metropolen etliche Hochhäuser empor, und es entstand der Begriff der „Skyline“. Das Ringen um das höchste Gebäude begann und führte zu einem erbitterten Wettkampf.

In Deutschland sind Hochhäuser bei weitem nicht so verbreitet wie in den USA. Zwar sind die Bürotürme in Frankfurt am Main sehr bekannt, und es finden sich auch in anderen Großstädten vereinzelt Hochhäuser, jedoch kann von Wolkenkratzern hier kaum die Rede sein. Vielmehr gibt es in den meisten Außenbezirken große Wohnanlagen mit bis zu 20-stöckigen Hochhäusern, die in den Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg entstanden sind.

Heutzutage findet vor allem auf asiatischem Boden ein harter Wettstreit über das höchste Gebäude der Welt statt.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Geschichte des Hochhausbaus in den USA und Deutschland, stellt die besonderen Anforderungen beim Bauen

in die Höhe heraus und geht im Speziellen auf Problemstellungen im Wohnhochhausbau ein.

Jedoch liegt zunächst die Frage nahe, ab welcher Höhe man eigentlich von einem Hochhaus sprechen kann. Unbestritten ist ein 400 Meter hohes Gebäude ein Hochhaus. Aber wo liegt die Grenze? Das Council on Tall Buildings and Urban Habitat gibt folgende Antwort: „Ein Hochhaus ist ein Gebäude, dessen Höhe andere Anforderungen an den Entwurf, die Konstruktion und den Nutzen stellt, als dies in einer Region oder einem Zeitalter üblichen Gebäude tun“ [5, Seite 3]. Diese Definition gibt allerdings keine spezielle Höhenangabe als Grenze an.

In Deutschland hat man zu einer genauen Definition sicherheitstechnische Aspekte herangezogen: „Hochhäuser sind Gebäude, bei denen der Fußboden mindestens eines Aufenthaltsraumes mehr als 22 Meter über der Geländeoberkante liegt.“ [13] Diese Grenze entspricht der Einsatzhöhe von Drehleitern der Feuerwehr. Übersteigt ein Gebäude dieses Maß, sind spezielle Brandschutzvorkehrungen bzw. Fluchtwege einzuplanen (siehe Seite 33, 6.4 Brandschutz).

Allgemein definiert man ein Hochhaus allerdings visuell, indem man es mit der Nachbarbebauung vergleicht.

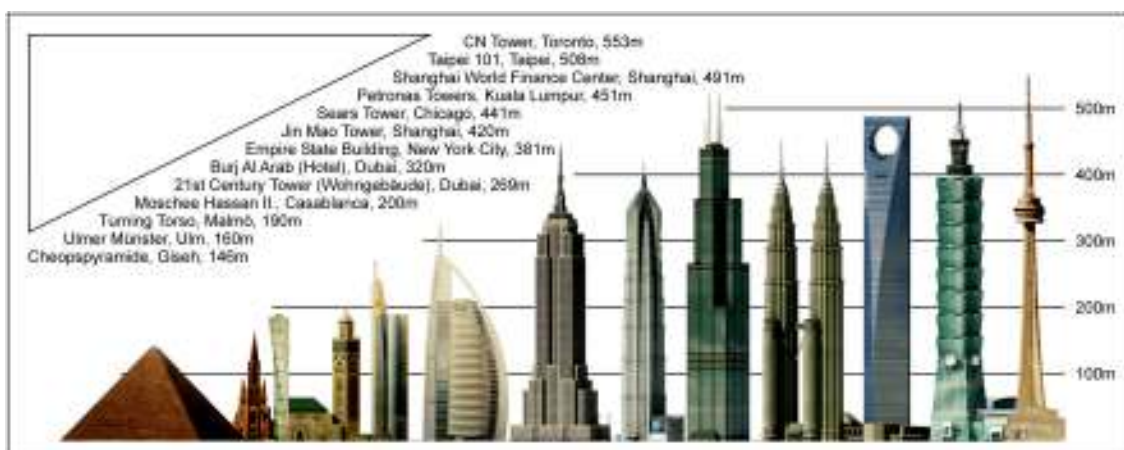


Abbildung 1: Gebäudehöhen im Vergleich

2 Geschichte des Hochhausbaus

2.1 Bedarf und technische Wegbereiter

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts war Mauerwerk neben Holz das üblich verwendete Baumaterial. Einige der ersten Hochhäuser wurden noch in dieser massiven Bauweise hergestellt. Allerdings stieß man schnell an konstruktive Grenzen.

Beim 16-stöckigen Monadnock Building (Chicago, 1891, 65m) wurden zwar im Inneren Säulen aus Gusseisen und Träger aus Walzprofilen verwendet, ansonsten war jedoch Mauerwerk das tragende Element. Dies hatte zur Folge, dass die Wände im Erdgeschoss aufgrund des hohen Eigengewichts zur Lastabtragung 1,8 Meter dick sein mussten. Außerdem konnten nur verhältnismäßig geringe Öffnungen für Fenster und Türen freigelassen werden. Der Mauerwerksbau war damit ausgereizt.

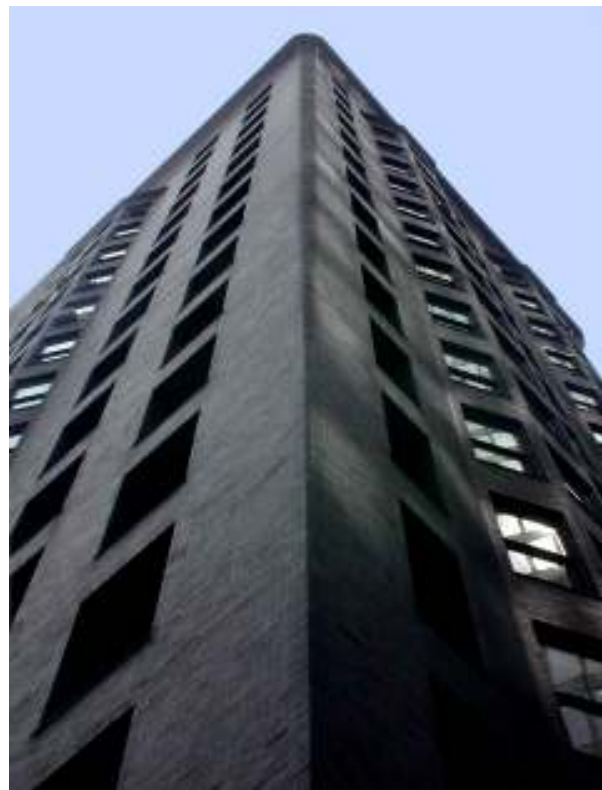


Abbildung 2: Monadnock Building, Chicago

Die Entwicklung von Gusseisen- und später Stahlelementen ermöglichte neue Tragkonstruktionen. Die Vertikallasten wurden nun über Stützen und Träger abgetragen. Die Fassade hatte keine tragende Wirkung mehr. Sie diente fortan als raumabschließendes Element und hatte gestalterische Wirkung.

Durch diese leichtere Rahmen- bzw. Skelettbauweise konnten die Architekten größere Gebäudehöhen erzielen. Außerdem gestattete sie eine freie Raumgestaltung im Gebäudeinneren, was im Besonderen bei Bürogebäuden von Vorteil ist.

Die Erfindung des elektrischen Aufzugs war ein sehr wichtiger Beitrag zum Vormarsch der Hochhäuser. Er ermöglichte den bequemen Transport von Personen und Lasten in die oberen Geschosse. Dadurch entwickelten sich diese zu beliebten und teureren Stockwerken, da sie näher am Himmel und am hellen Tageslicht lagen. Es entstanden die Begriffe vom „Penthouse“ und der „Bel Etage“.

Des Weiteren gab es große Verbesserungen in der Haustechnik, beim Brandschutz und den Gründungen. Die ersten Häuser wurden mit elektrischem Licht und Klimaanlage ausgestattet.

Die hier angeführten Methoden und Erfindungen ebneten den Erfolgsweg des Hochhausbaus. Natürlich gab es im Lauf der Jahre neue Entdeckungen und Weiterentwicklungen, die ihm zugute kamen. So erleichtern beispielsweise leistungsfähige Betonpumpen heutzutage den Bau und Computerprogramme die statischen Berechnungen von Hochhäusern.

2.2 Entwicklung in den USA

In den USA entstanden gegen Ende des 19. Jahrhunderts die ersten Hochhäuser der Welt. Die Städte erfuhren aufgrund der aufkommenden Industrialisierung einen regelrechten Bevölkerungsboom.

In Chicago ging die Veränderung am schnellsten vonstatten und war besonders einschneidend. Durch den großen Brand 1871 wurden dort über 100.000 Menschen obdachlos. Zudem wurde ein Drittel des ursprünglichen Stadtkerns vernichtet. Es war nun innerhalb kürzester Zeit ein großer Bedarf an Wohn- und Bürogebäude zu stillen. Um den knappen und immer teurer werdenden Baugrund möglichst effektiv zu nutzen, entstanden immer höhere Gebäude mit Wohnungen, Büros, Geschäften und Hotels. Chicago entwickelte sich zum modernen Industrie- und Handelszentrum.

Anders als in Chicago waren in New York rein wirtschaftliche Gründe für den Hochhausbau ausschlaggebend. Investoren versuchten durch eine maximale Grundstücksausnutzung den wenig vorhandenen und sehr teuren Baugrund auszunutzen. Sie bauten die Gebäude meist direkt bis zur Grundstücksgrenze. Die Folge waren enge Straßenschluchten, die auf Fußgänger und Autofahrer sehr erdrückend wirkten. Erst mit den ersten „zoning laws“ (New Yorker Bauverordnungen 1916), die eine Zurückstaffelung der Gebäude über die Höhe vorsehen, konnte dieser Eindruck etwas entschärft werden. Die zweiten „zoning laws“ (1961) sahen sogar eine weitere Zurücknahme der Gebäude auf den Grundstücken vor, so dass der Sockelbereich zur öffentlichen Zone wurde.

Die Bauwerke orientierten sich vorerst an der klassischen Gebäudeeinteilung mit der Staffelung in Basis, Schaft und Abschluss. Mit dem Flatiron Building (New York, 1902, 87m) gelang den Planern „ein perfektes Beispiel für das so genannte High-Rise-Building“ [1, Seite 10]. Es ist in einen soliden Unterbau, einen Schaft mit vielen gleichen Stockwerken und ein Dachgeschoss mit sehr hohen Bögen und Gesimsen unterteilt. Es war doppelt so hoch wie ein übliches Wohnhaus zu dieser Zeit und stellte an seinem besonderen Standort (Kreuzung von Fifth Avenue und Broadway) ein erstes Wahrzeichen im Geschäftsviertel New Yorks dar.



Abbildung 3: Flatiron Building, New York

Bereits bei diesem Gebäude waren Einflüsse des Eklektizismus erkennbar, worunter man die Orientierung an Stilrichtungen der Vergangenheit versteht.

Es dienten architektonische Elemente der Gotik, Romanik und des Beaux Arts-Stils zum Vorbild. Die Gebäude wurden mit Rippen, Bögen, Türmchen und Wasserspeiern verziert. Im Woolworth Building (New York, 1914, 241m) wird dieser Stil besonders deutlich. Selbst die kreuzförmigen Eingangshalle ist reich mit „Mosaiken, schmiedeeisernen, historisierenden Ornamenten und Golddekors“ [1, Seite 30] geschmückt. Mit der Kombination von älteren Stilelementen und der neuen wirtschaftlichen Symbolik des Gebäudes entwickelte sich der Begriff „Kathedrale des Kommerzes“.



Abbildung 4: Woolworth Building, New York

In den folgenden Jahren entstanden in New York weitere Wahrzeichen, die der gesamten Welt die wirtschaftliche Kraft der Investoren bzw. des Landes zeigen sollten. Hier sind vor allem das Chrysler Building (1930, 319m), das Empire State Building (1931, 381m), das Rockefeller Center (1933, 259m) und auch das World Trade Center (1973-2001, 417m) zu nennen.

In Chicago entwickelten sich in den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts einige neue architektonische Ideen. Hier ist vor allem Ludwig Mies van der Rohe zu

nennen. Er konstruierte Apartmenthäuser, durch deren Erstellung er neue Maßstäbe setzte. Zum einen bestand er auf eine konsequente Trennung von Tragwerk und Fassade. Es entwickelte sich der Begriff der Vorhangfassade oder „curtain wall“. Des Weiteren legte er Wert auf einen hohen Wohnkomfort und großzügige Wohneinheiten in repräsentativer Lage in der City Chicagos. Diese Gebäude am Lake Shore Drive wurden zum Prototypen der amerikanischen Apartmenthäuser, die im Lauf der Jahre an großer Bedeutung und Beliebtheit gewannen und in vielen Innenstädten anzutreffen sind.

Chicago beteiligte sich aber auch am Wettstreit um das höchste Gebäude. Mit dem Sears Tower (1974, 442m) hatte man lange Zeit sogar weltweit die Nase vorn. Die Stadt „bekräftigte damit ihre Vorrangstellung der Industriestadt vor dem Finanzplatz New York.“ [1, Seite 101] Das Gebäude überragt bei weitem die anderen Hochhäuser der Skyline Chicagos und wirkt als symbolischer und optischer Bezugspunkt der Stadt.

Viele Hochhäuser wurden nicht mehr nur als reine Büro- oder Wohngebäude errichtet, sondern multifunktionell gestaltet.



Abbildung 5: Sears Tower, Chicago

Man entdeckte das Konzept von der „Stadt in der Stadt“. Das John Hancock Center (Chicago, 1969, 344m) gilt noch heute als das größte multifunktionelle Gebäude der Welt. In den unteren Geschossen befinden sich Parkplätze und

Läden, darüber Büroräume und Arztpraxen und im oberen Teil luxuriöse Apartments. Den Abschluss bilden eine Aussichtsplattform und ein Restaurant.

In den USA ist man vom reinen kapitalistischen Denken abgekommen. Man hat den Titel des höchsten Gebäudes der Welt vor einigen Jahren an Asien verloren, und unternimmt trotz des Baus des „Freedom Towers“ in New York keine konkreten Anstrengungen dafür, ihn zurück zu gewinnen. Vielmehr legt man großen Wert auf extravagante Gebäude mit außergewöhnlichen Formen und Wohnhochhäuser mit sehr hohem Wohnkomfort.

2.3 Entwicklung in Deutschland

In Deutschland entstanden die ersten Hochhäuser nach dem Ersten Weltkrieg. Allerdings waren es vorerst nur vereinzelte Bauwerke, meist Gebäude von Firmen oder Verlagen. Man hatte eine große Abneigung gegen diese „Gebäuderiesen“. Die Innenstädte waren über Jahrhunderte gewachsen. Dort stehen Kirchen neben Museen, Rathäusern und Fachwerkhäusern. Da passte diese neue Form von Gebäuden nicht dazu und war nur ungern gesehen.



Abbildung 6: Haus Gropius, Berlin, Hansaviertel

Nach dem Zweiten Weltkrieg waren aufgrund der zerstörten Städte und des aufkommenden Wirtschaftswunders schnell viele Wohnungen nötig. Vor allem in den Außenbezirken entwickelten sich in jeder größeren Stadt nun beträchtliche Wohnanlagen. In Hamburg entstanden zum Beispiel mit den Grindelhäusern (1947-1956) knapp 1000 Wohnungen. In Berlin beteiligten sich sogar namhafte Architekten wie Walter Gropius bei der Planung des Hansaviertels (ab 1946).

Bei diesen Wohnanlagen legte man großen Wert auf ein Wohnen „im Grünen“. Gute Verkehrsanbindungen, eine anspruchsvolle Architektur sowie großzügige Wohnungen und die Nähe zur Natur tragen noch heute zur Beliebtheit dieser Wohnparks bei den Bewohnern bei.

Jedoch zeigen viele Wohnanlagen, die in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts entstanden sind, ein weit anderes Bild.



Abbildung 7: Berlin, Stadtteil Neukölln

Sie offenbaren meist eine lieblose Architektur und stehen bei weitem nicht für gehobenen Wohnkomfort. Sie wurden meist schnell und billig gebaut, um die Wohnungsknappheit zu verringern. Sie standen allerdings bereits wenige Jahre später in einem schlechten gesellschaftlichen Licht. Man verbindet solche Wohnanlagen mit sozialem Abstieg, Kriminalität, Unsicherheit und Verschmutzung.

Allerdings finden sich in Deutschland auch einige sehr gelungene Hochhäuser. Sicherlich ist hier Frankfurt am Main zu nennen. „Frankfurt ist vielleicht die

einzigste Stadt in Europa, in der man Hochhäuser auch im Stadtzentrum errichten darf.“ [1, Seite 185]

Dort entstand seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts ein regelrechter Hochhausboom im Bankenviertel. Ähnlich wie in den USA wurden die Gebäude zum Prestigeobjekt der einzelnen Unternehmen. Die Stadt kann heute mit einer sehr ansehnlichen Skyline aufwarten.



Abbildung 8: Skyline Frankfurt am Main

In anderen Städten Deutschlands sind auch einige architektonisch sehr anspruchsvolle Hochhäuser entstanden, wie zum Beispiel in Düsseldorf, Hamburg oder am Potsdamer Platz in Berlin. Jedoch hegen manche Städte noch eine große Skepsis. Sie wollen weiterhin ihr historisches Stadtbild geschützt lassen, was zum Beispiel beim Bürgerentscheid im November 2004 in München sehr deutlich wurde.

3 Konstruktive Herausforderungen

3.1 Allgemeines

Bei einem Hochhaus sind generell die gleichen Lasten wie bei jedem anderen Gebäude anzusetzen. Dazu zählen Eigen-, Verkehrs- und Ausbaulasten, Lasten aus Regen und Schnee sowie Wind- und Erdbebenlasten. Dazu kommen Belastungen durch Temperaturveränderungen und durch Kriechen und Schwinden des Betons. Jedoch sind im Hochhausbau einige Beanspruchungen außergewöhnlich groß. Im Folgenden soll auf besondere Lastfälle und konstruktive Herausforderungen eingegangen werden.

3.2 Windlast

Bei den ersten Hochhäusern spielten Windlasten keine wesentliche Rolle, da sie durch ihre massive Bauweise und ihr hohes Eigengewicht sehr windstabil waren. Erst mit der Verbreitung der Stahlkonstruktionen und der rapiden Zunahme der Bauhöhen wurde die Windbelastung zu einem ernstem Problem.

Die Einwirkung des Windes ist für jedes Gebäude anders zu berücksichtigen. Zum einen gibt es eine Grundwindlast, die als statische Last angesehen werden kann. Sie hängt von der Gebäudehöhe ab und wird von der Nachbarbebauung und der umliegenden Topographie beeinflusst. Sie erreicht laut Norm in 600 Metern Höhe ihren Maximalwert.

Zum anderen gibt es noch einige weitere Einflüsse, die bei der Bemessung eines Gebäudes zu berücksichtigen sind. Windböen treten in kurzen Intervallen auf und erreichen deutlich höhere Geschwindigkeiten als die durchschnittliche Windstärke. Sie können, falls sie die gleiche Frequenz haben wie eine der Eigenfrequenzen des Gebäudes, dieses zu Schwingungen anregen.

Gerade bei runden Gebäuden können auch strömungsbedingte Querschwingungen auftreten. Diese entstehen, wenn ein Bauwerk vom Wind umströmt wird und sich daraufhin an den Seiten Luftwirbel ablösen. Letztere bewirken einen Unterdruck und regen das Gebäude zu Schwingungen quer zur Windrichtung an.

Ein Gebäude muss für die maximal auftretende Windstärke bemessen werden. Normen bieten die Grundlage für die Bestimmung der statischen Windlast. Aufgrund langjähriger meteorologischer Aufzeichnungen wurden dazu Windzonenkarten erstellt. Bei extremen Winden wie Tornados oder Hurrikans gibt es keine Regelwerke, die eine eindeutige Bemessung ermöglichen. In diesem Fall bedient man sich Windtunneltest. In diesen wird das Gebäude mitsamt Nachbarbebauung in Maßstäben von 1:300 bis 1:500 nachgebildet und verschiedenen Windeinflüssen ausgesetzt. So erhält man eine recht genaue Prognose, wie das Verhalten in Wirklichkeit aussehen wird. Gerade bei neuartigen Konzepten der Gebäudeform sind solche Tests sehr ratsam.

Generell muss bei der Planung des Hochhauses beachtet werden, dass die Gebäudeschwingungen in Grenzen gehalten werden. Ansonsten kann es für die Menschen im Inneren zu Unwohlsein, einer Art Seekrankheit, kommen. Die Gefahr des Glasbruchs oder ein mögliches Abreißen der Verkleidung ist ebenfalls zu beachten.

3.3 Erdbeben

Erdbeben entstehen durch den Ausgleich von Spannungen bei Verschiebungen der Erdkruste. Gerade wenn sich in so genannten Subduktionszonen eine Erdplatte unter eine andere schiebt, treten Erdbeben besonders stark und häufig auf. Prinzipiell gibt es aber in fast jeder Gegend immer wieder kleinere Erdbeben. Diese können von den Tragwerken der Gebäude meist problemlos aufgenommen werden. Daher stellen lediglich mittelschwere bis schwere Erdbeben eine große Herausforderung an die Konstruktion dar.

Die Bemessung eines Gebäudes für Erdbebenlasten geht grundsätzlich nicht davon aus, dass das Gebäude ein Beben ohne Schaden überstehen muss. Bei einem starken Beben ist das Ziel der Schutz der Menschen und somit die Standsicherheit des Bauwerks. Dabei sind plastische Verformungen des Tragwerks durchaus eingeplant. Das Gebäude muss also eine ausreichende Duktilität aufweisen. Dies erreicht man gewöhnlich durch eine stärkere Ausbildung der Stützen im Vergleich zu den Trägern. So entstehen zuerst plastische Gelenke in den Trägern, ohne dass es zu einem Gesamtversagen kommt.

Erdbebensichere Konstruktionen sollten möglichst symmetrisch in Bezug auf Form und Aussteifungen sein, um Torsion zu vermeiden. Sprünge in Steifigkeit und Masse sollten vermieden werden.

Eine mittlerweile gängige Methode, Gebäudeschwingungen bei starken Windbelastungen oder Erdbeben zu reduzieren, ist der Einsatz von Schwingungsdämpfern.

Beim zurzeit höchsten Gebäude der Welt, dem Taipei 101 (Taipei, 2004, 508m), ist diese Art sehr imposant verwirklicht worden. Taiwan liegt genau über einer Subduktionszone, daher treten hier vermehrt Erdbeben auf. Zusätzlich werden jährlich zahlreiche Taifune beobachtet. Das Gebäude wird also schwingungstechnisch stark beansprucht.

Um diese Schwingungen abzuschwächen, wurde zwischen dem 88. und dem 92. Stockwerk eine 660 Tonnen schwere vergoldete Stahlkugel als Schwingungsdämpfer eingehängt. Sie hat einen Durchmesser von 5,5 Metern und wird von acht Stahlseilen gehalten. Acht hydraulische Zylinder verhindern, dass die Kugel seitlich zu weit ausschlägt und damit das Gebäude beschädigt. Bei Wind- bzw. Erdbebenbeanspruchung schwingt sie im Gegenteil zur Auslenkung des Gebäudes. Sie vermindert so die Gebäudeschwingung um die Hälfte.

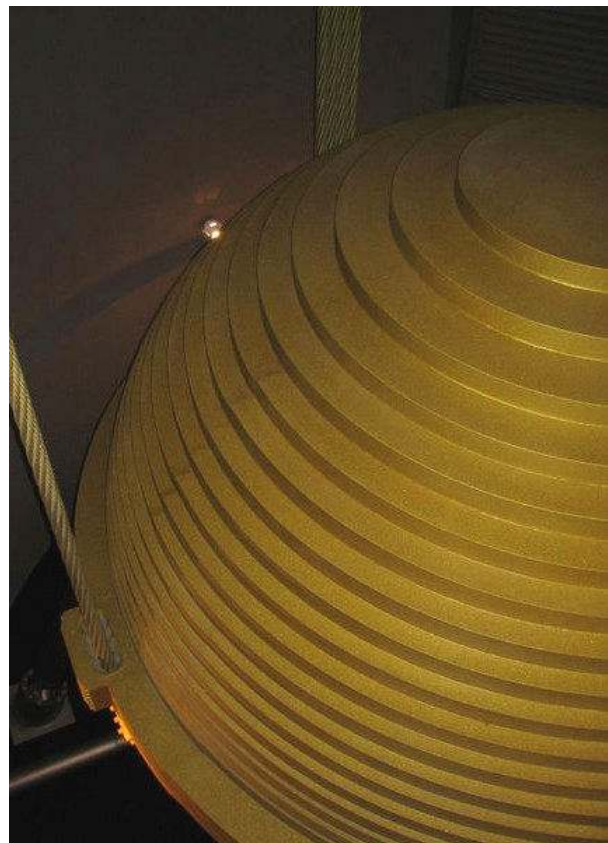


Abbildung 9: Schwingungsdämpfer im Taipei 101

Bei anderen Hochhäusern werden auch vermehrt Wassertanks als Gegenschwinger eingesetzt.

3.4 Gründung

Durch die enormen Lasten, die in den Untergrund abgeleitet werden müssen, ist besonderes Augenmerk auf eine adäquate Gründung zu legen. Unerwünschte Setzungen können am Gebäude sowie an der Nachbarbebauung große Schäden anrichten. Außerdem ist eine Schiefstellung des Bauwerks zu vermeiden.

Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten für Gründungen. Zum einen besteht die Option einer Flachgründung. Hier werden die Einwirkungen über eine Fundamentplatte direkt über Sohlspannungen in den Boden eingeleitet. Sie bietet sich an, wenn möglichst gleichmäßig verteilte Lasten in den Boden abgeleitet werden müssen und eine tragfähige Schicht (Fels) in nicht allzu großer Tiefe ansteht. Dabei sind Plattendicken von vier Metern bei weitem keine Seltenheit.

Die zweite Möglichkeit ist eine Pfahlgründung. Hier übertragen Pfähle die Gebäudelast über Mantelreibung und Spitzendruck in die Tiefe. Dies ist die häufigste Variante, da bei den meisten Hochhäusern die Lasten punktuell von den Stützen getragen werden und so direkt über die Pfähle in den Boden abgeleitet werden können. Außerdem stehen tragfähige Schichten meist erst in größeren Tiefen an.

In der jüngsten Vergangenheit kam vermehrt eine Kombination beider Varianten zum Einsatz, die so genannte kombinierte Pfahl-Plattengründung (KPP). Hier werden die Einwirkungen sowohl über die Fundamentplatte als auch über Pfähle in den Boden übertragen. Durch das Zusammenspiel der unterschiedlich wirkenden Tragglieder soll eine Verformungsreduzierung kostengünstig erzielt werden. So werden bis zu 60% der Pfahlmassen gegenüber einer konventionellen Pfahlgründung eingespart. Außerdem wird die Wirtschaftlichkeit, Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Flachgründung aufgewertet.

3.5 Brandschutz

An dieser Stelle sei auf besondere konstruktive Maßnahmen beim Brandschutz hingewiesen.

Ziel des Brandschutzes ist eine sichere Evakuierung der Menschen, die Bereitstellung von Zugangsmöglichkeiten für die Feuerwehr und eine Schadensbegrenzung am Gebäude. Der Brandschutz in hohen Gebäuden beinhaltet Maßnahmen, die als passiver Brandschutz bezeichnet werden. Dazu gehören die Einteilung in Brandabschnitte innerhalb eines Stockwerks und die Vermeidung des Brandüberschlags zum nächsten Stockwerk über die Fenster.

Bauteile müssen eine hohe Feuerwiderstandsdauer haben. Besonders Stahlbauteile sind mit speziellen Ummantelungen oder Anstrichen für eine geforderte Mindestdauer feuerwiderstandsfähig zu machen. Verbundkonstruktionen mit ausbetonierten Hohlprofilen müssen auch noch bei Ausfall des Profils tragfähig sein.

Zusätzliche Sicherheit durch aktiven Brandschutz bieten Rauchmelder und Sprinkleranlagen. Damit kann ein Brandherd früh entdeckt und der Schaden in vielen Fällen gering gehalten werden (siehe Seite 33, 6.4 Brandschutz).

4 Tragkonstruktionen

4.1 Allgemeines

Hochhäuser lassen sich auf mehrere Arten konstruieren. Waren früher oft die Kosten und das zu verwendende Baumaterial entscheidend bei der Wahl der Tragkonstruktion ist es heutzutage meist das spätere Aussehen der Wolkenkratzer.

Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über die gängig verwendeten Tragwerke.

4.2 Tragende Wände

Das System der tragenden Wände geht auf den Mauerwerksbau zurück. Die monolithische Verbindung von Decken und Wänden garantieren eine hohe Steifigkeit. Ein zu hohes Eigengewicht des Gebäudes und eine daraus resultierende Überdimensionierung der Wände lassen sich bis zu einer bestimmten Höhe mit hochfesten Betonen vermeiden. Diese Bauweise wird vor allem im Wohnhochhausbau angewandt, da hier selten variablen Grundrisse nötig sind. Sie ist bis zu einer Höhe von etwa 20-25 Stockwerken rentabel einsetzbar.

Über die gesamte Gebäudehöhe sind drei Scheiben notwendig, um eine ausreichende Steifigkeit zu erreichen. Ihre Wirkungslinien dürfen sich nicht in einem Punkt schneiden. Zusätzliche Steifigkeit lässt sich auch mit der Anordnung eines Kerns gewinnen.

Die Wände dürfen keine zu großen Öffnungen haben, da sonst die Scheibenwirkung verloren geht.



Abbildung 10: Stabile und labile Scheibenanordnung

4.3 Skelettsysteme

Die Entwicklung der Skelettsysteme oder auch Rahmenkonstruktionen war, wie bereits erwähnt, der Durchbruch im Hochhausbau. Anfangs wurden vor allem Stahlrahmen verwendet. Heutzutage kommen auch hochfeste Betone zum Einsatz. Die vertikalen Lasten werden über Stützen und Riegel, die horizontalen Lasten über Scheiben abgetragen. Letztere sind als massive Scheibe, als ausgesteifte Rahmen oder als biegesteife Rahmen ausführbar.

Die Ausbildung als massive Scheibe wurde schon behandelt (siehe Seite 16, 4.2 Tragende Wände).

Ausgesteifte Rahmen sind vom Prinzip her auskragende vertikale Fachwerke. Ihre Effektivität verdanken sie ihrer hohen Steifigkeit im Verhältnis zum Gewicht. Als Belastungen treten nur Normalkräfte in Axialrichtung auf. Bei horizontaler Beanspruchung verhält sich das System als vertikaler Kragarm. Dabei werden die Stützen gedehnt bzw. zusammengedrückt.

Es gibt unterschiedliche Formen der Aussteifung. Als zentrisch ausgesteifte Systeme sind Kreuz-, Diagonal- und K-Verbände zu nennen. Dabei besitzt der Diagonalverband die größte Steifigkeit, jedoch herrschen in den Diagonalen größere Belastungen, da sie auch einen Teil der Stützlast übernehmen müssen.

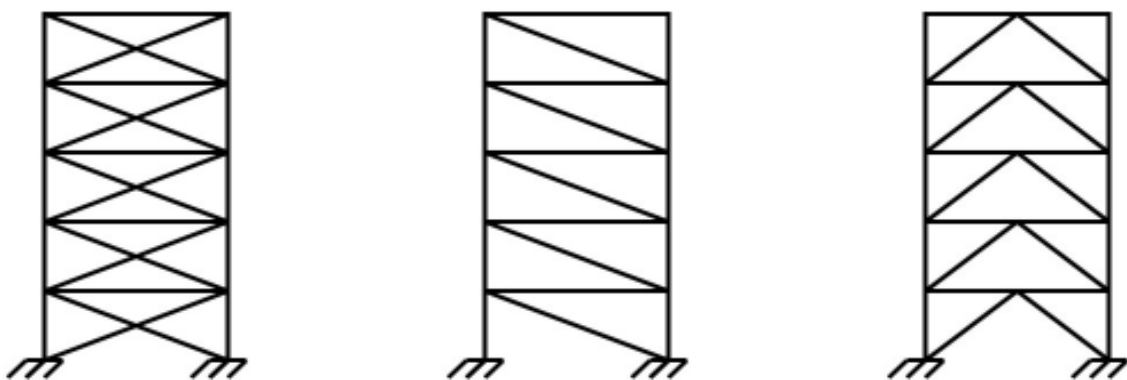


Abbildung 11: Kreuz-, Diagonal und K-Verband

Exzentrisch ausgesteifte Fachwerke haben zwar eine geringere Steifigkeit, weisen aber dafür eine höhere Duktilität auf. Dadurch sind sie für Bauten in erdbebengefährdeten Gebieten besser geeignet.

Die Fachwerke können im Kern des Gebäudes oder in der Fassadenebene untergebracht werden. Dies ist gebäudeabhängig zu entscheiden und hängt auch von der visuellen Gestaltung des Bauwerks ab.

Beim System der biegesteifen Rahmen werden die einzelnen Elemente biegesteif miteinander verbunden. Auftretende Verformungen resultieren weniger aus einer Biegung des Gesamtsystems sondern vielmehr aus Schubverformungen der einzelnen Stützen und Trägern. Biegesteife Rahmen besitzen ebenfalls eine ausreichende Duktilität.

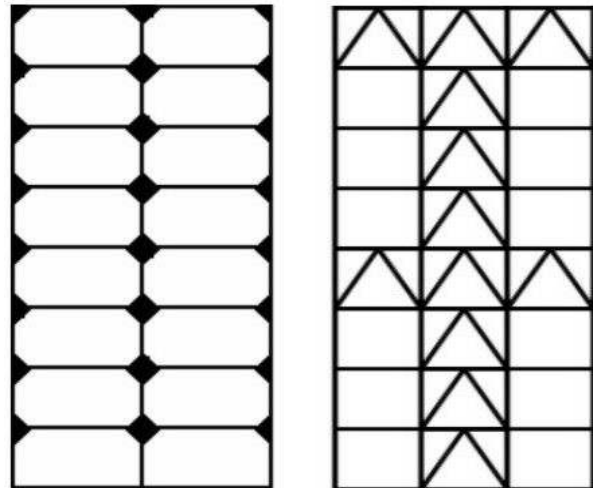


Abbildung 12: Prinzip Biegesteifer Rahmen und Kern mit Auslegern

Ein großer Vorteil hierbei ist eine große Redundanz des Systems. Dabei ist die Tragfähigkeit auch gewährleistet, wenn ein Element oder sogar mehrere ausfallen. Die Rahmen können im Kern oder in der Außenwand angeordnet werden, aber auch das gesamte Gebäude umschließen. So bieten sie eine große Flexibilität in der Flächennutzung.

Beide Systeme können auch kombiniert werden. Dabei werden die biegesteifen Rahmen durch Fachwerke ausgesteift. Es entsteht ein sehr wirtschaftliches System für Höhen von 40-50 Stockwerken.

4.4 Systeme mit Kernen

Konstruktionen, die nur aus tragenden Wänden bestehen, sind für Gebäude mit großen Höhen ungeeignet. Für die Aufnahme von Horizontalkräften können Wandscheiben jedoch selbst für sehr hohe Konstruktionen eingesetzt werden. Dabei werden sie zu einem Kern im Zentrum des Gebäudes gruppiert. Im Kern werden Treppen, Aufzüge und Installationsschächte untergebracht.

Meist sind solche Kerne jedoch zu schmal, um die Horizontalkräfte alleine aufzunehmen. Dann werden sie über Ausleger mit den Außenstützen verbunden. So wird die effektiv mitwirkende Breite bei Windbeanspruchung von der Breite des Kerns auf die gesamte Gebäudebreite erhöht.

Die Ausleger haben meist Stockwerkshöhe und können in Technikgeschossen untergebracht oder als Fachwerk ausgebildet werden, um größere Einschränkungen für die Nutzer zu vermeiden.

Diese Konstruktionsart bietet große Freiflächen im Gebäudeinnern und somit eine optimale Funktionalität.

4.5 Röhrensysteme

Röhrensysteme (Tubes) funktionieren nach dem Prinzip eines Hohlkastens. Die Horizontallasten werden über steife Außenwände abgetragen. Der Innenraum wird weitgehend von Aussteifungen freigehalten, mit Ausnahme der vorhandenen Deckenplatten. Es gibt drei unterschiedliche Systeme der Röhrentragwerke.

Rahmenröhren (framed tubes) sind vom Prinzip her aufgelöste Scheiben. Außenstützen und Träger bilden durch biegesteife Verbindungen eine Röhre. Die hohe Steifigkeit wird durch ein enges Stützenraster und eine große Trägerhöhe erreicht. Die Konstruktion ähnelt eher einer Röhre mit eingestanzten Löchern, als einem Stützen-Träger-System. Als Baumaterial ist sowohl Stahl als auch Stahlbeton geeignet.



Abbildung 13: World Trade Center, New York

Als Nachteil dieser Methode sind die geringen Öffnungen in der Hülle zu nennen. Bekanntestes Beispiel dieser Röhrenart war das World Trade Center, New York.

Bei einer Fachwerkröhre (trussed tubes) verbindet ein Megarahmen alle äußeren Stützen zu einer steifen Röhre. Dieser Rahmen trägt die Horizontalkräfte durch Normalkräfte ab. Er ist daher besonders für den Stahlbau geeignet. Hier können die Stützenabstände vergrößert werden, was breitere und höhere Fassadenöffnungen zulässt. Bekannt wurde dieses System durch das John Hancock Center, Chicago.



Abbildung 14: John Hancock Center, Chicago

Beim System der gebündelten Röhren (bundled tubes) werden einzelne Hohlstränge miteinander verbunden und bilden so eine große Röhre. Dies ist eine sehr wirtschaftliche Methode, um hohe Gebäude zu verwirklichen. Bekanntestes Bauwerk ist der Sears Tower in Chicago (siehe Seite 7, 2.2 Entwicklung in den USA).

Zur Vervollständigung sei noch das „tube-in-tube“ System erwähnt. Dabei wird die Außenröhre über Deckenplatten mit einer Innenröhre (Kern) verbunden.

4.6 Hybride Systeme

Die Entwicklung der Tragsysteme für Hochhäuser kann als ständige Weiterentwicklung zu immer steiferen Systemen angesehen werden. Dabei ermöglichen die zunehmende Steifigkeit sowie Materialeinsparungen immer höhere

Bauwerke. Um noch effizientere Konstruktionen zu erhalten, muss man die Vorteile der verschiedenen Systeme und Baumaterialien kombinieren. Solche Mischsysteme werden als hybride Systeme bezeichnet.

Rahmensysteme lassen sich zum Beispiel gut mit Wandscheiben kombinieren. Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung von betongefüllten Hohlprofilen für Stützen ebenso wie Verbundstützen mit einbetonierten Profilen. In beiden Fällen wird die Tragfähigkeit durch hochfeste Betone weiter verbessert.

5 Städtebauliche Aspekte

5.1 Stadtbild

5.1.1 Gesamteinbindung in das Stadtbild

Die optische Wirkung von Hochhäusern spaltet das Empfinden der Menschen. Da sich die meisten Hochhäuser deutlich über das gewachsene Stadtbild vieler europäischer Städte erheben und somit sehr klar in Erscheinung treten, muss man sich umfangreiche Gedanken zum Charakter des Hochhauses im vorhandenen städtebaulichen Kontext machen. Besonders die Abwertung der umliegenden historischen Bauten und Freiflächen, das durch ein Hochhaus entstehende Verkehrsproblem und die Störung der Aerodynamik erschweren die Suche nach Bauplätzen für neue Hochhausprojekte.

Ein geeigneter Weg ein Hochhaus in das Stadtbild zu integrieren ist, das Gebäude von Anfang an als hervorstechendes Objekt zu konzipieren. Bei dieser Vorgehensweise wird gar nicht erst versucht, das Gebäude auf irgendeine Weise einzupassen, sondern eher, ihm den Eindruck eines Prestigeobjektes zu verleihen. Diese Art der Gebäudeintegration, die meist bei einzelnen Bauobjekten angewandt wird, polarisiert jedoch stark die Bevölkerung, da der subjektive Eindruck vom Gebäudedesign über die Akzeptanz entscheidet.



Abbildung 15: Agbar-Turm, Barcelona

Ein anderer Weg der Integration in das Stadtbild ist die schrittweise Anhebung der Gebäudehöhen bis hin zum höchsten Gebäude im Baugebiet. Dies kann allerdings nur bei der Erstellung eines ganzen Neubaugebietes mit einer Vielzahl an Gebäuden realisiert werden, trägt aber dazu bei, die stadtgestalterischen Maßstäbe nicht zu sprengen und ältere Gebäude nicht massiv abzuwerten.



Abbildung 16: Wohnkomplexe in Stuttgart-Neugereut

Speziell in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts war es durchaus üblich, ganze Siedlungen als Hochhausquartiere zu erstellen. In dieser Zeit entstanden große Wohnkomplexe, zum Beispiel in Berlin-Neukölln, Nürnberg-Langwasser, München-Neuperlach, Stuttgart-Asemwald und Stuttgart-Neugereut. Solche Neubaugebiete wurden oft in Stadtrandlage oder gänzlich im Grünen gebaut und haben somit kaum Bezug zum eigentlichen Stadtbild. Ist dieser Bezug dennoch vorhanden, bilden solche Siedlungen meist die Nahtstelle zu freien Grün- oder Wasserflächen.



Abbildung 17: Stuttgart-Asemwald

5.1.2 Visuelle Dichte der Fassade

Hochhäuser, speziell in Form von Scheibenbauwerken, können einen erdrückenden und beengenden optischen Eindruck auf den Betrachter hinterlassen, da die hohe Anzahl der Fenster und Balkone, meist auch noch in regelmäßigen Abständen an der Fassade angeordnet, die Größe und Wuchtigkeit eines solchen Bauwerkes noch weiter herausstellt. Man spricht hierbei von der visuellen Dichte, einem Index für die Häufung und Anzahl sich wiederholender Elemente der Fassade.

Diesem Problem lässt sich in erster Linie mit aufgelockerter und unregelmäßiger Anordnung der Fassadenelemente begegnen, wie zum Beispiel mit markanten Gebäudekanten, Stockwerksversätzen zwischen einzelnen Erschließungseinheiten und zusätzlichen Designelementen.

Wurde das Problem der visuellen Dichte von den Planern nicht berücksichtigt, kann man im Nachhinein oft lediglich über gewagte Farbgestaltungen der Fassade die erdrückende optische Wirkung eines solchen Gebäudes geringfügig kompensieren.



Abbildung 18: Wohnhochhäuser im Norden Chicagos

Als erstes Beispiel sind hierzu zwei Hochhäuser im Norden Chicagos zu sehen, bei deren Erstellung das Problem der visuellen Dichte nicht berücksichtigt oder das Ausmaß der Wirkung auf den Betrachter unterschätzt wurde. Die sich ständig wiederholenden Fassadenstrukturen unterstreichen die Größe des Bauwerks und tragen zum Eindruck der Massenunterbringung bei.

Hingegen wurde bei der Planung der Neubausiedlung Stuttgart-Neugereut Anfang der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts dieses Problem von den Architekten thematisiert und versucht, ihm mit unterschiedlichen Ansätzen der Fassadenauflockerung zu begegnen. Ob dieses Unterfangen geglückt ist, darf der Betrachter selbst beurteilen, dennoch konnte die visuelle Dichte erheblich herabgesetzt werden.



Abbildung 19: Wohnhochhaus in Stuttgart-Neugereut

5.1.3 Gebäudesockel, Krönung und öffentliche Bereiche

Bei Gebäuden großer Höhe kommt zwei Bereichen eine besondere Bedeutung zu. Hierbei handelt es sich um den Sockel und die Krönung bzw. Spitze des Gebäudes. Vielerorts werden die zulässigen Ausmaße des Bauwerks davon abhängig gemacht, ob in diesen Bereichen öffentlich nutzbare Flächen eingeplant und angeboten werden.

In Frankfurt am Main wird zum Beispiel großer Wert darauf gelegt, dass speziell in konzerneigenen Bürogebäuden öffentliche Aussichtsbereiche in der Gebäudespitze geschaffen werden.

Doch nicht nur aus nutzungstechnischen Gründen sind diese zwei Bereiche des Hochhauses von besonderer Bedeutung, sondern vor allem auch aus designerischen Aspekten. Gerade da diese beiden Bereiche einen Abschluss des Bauwerks darstellen, muss hier große Sorgfalt bei der Planung angewandt werden.

Die Spitze, die bei sehr hohen Gebäuden symbolisch bis an den Himmel reicht, soll dies nach Vorstellung der meisten Architekten auch darstellen. So sind viele Skyscraper von einer anspruchsvollen Übergangskonstruktion in die aus wirtschaftlichen Gründen meist vorhandene Antennenanlage gekrönt. Gerade im Wettlauf um das höchste Gebäude der Welt, spielt es bei der Bewertung der Gebäudehöhe eine entscheidende Rolle, ob der Antennemast nur aufgesetzt oder ein konstruktiver Bestandteil des Gesamtbauwerks ist.



Abbildung 20: Petronas Towers, Kuala Lumpur

Allerdings wurden auch viele bedeutende Bauwerke mit einem abrupten, unspektakulären Auslauf der Schaftform gebaut, wie die 2001 eingestürzten Twintowers des World Trade Center in New York City.



Abbildung 21: World Trade Center, New York

Auch beim Gebäudesockel gibt es vielerlei architektonische Ansätze, wobei hier speziell auf die zwei gängigsten Formen eingegangen werden soll, den Schmalfuß- und den Breitfußsockel.

Der Schmalfußsockel ist unter anderem bei vielen Wohnhochhäusern sehr beliebt. Hier wird im Erdgeschoss, das sich bei dieser Bauweise in der Nutzung von den übrigen Geschossen unterscheidet, der Grundriss erheblich ausgedünnt. Teilweise werden sogar nur die lastabtragenden Bauteile weitergeführt und somit ein sehr offener Eingangsbereich gestaltet, der zum Teil Abstellflächen beinhaltet, aber durchaus auch als großzügiges Foyer ausgestaltet sein kann. Bei dieser Art des Sockels stehen im Erdgeschoss natürlich nur geringe geschlossene Nutzflächen zur Verfügung, was dieses Prinzip gerade im Innenstadtbereich unwirtschaftlich erscheinen lässt, weil hier ebenerdige Räume teuer verkauft oder vermietet werden könnten. Teilweise wurden offene Erdgeschossbereiche auch nachträglich ausgebaut und somit der Charakter

des Gebäudesockels aus wirtschaftlichen, aber auch aus anderen Gründen verändert (siehe Seite 37, 7.2 Erdgeschoss und Eingangsbereich).

Bislang nur selten vorgekommen, aber dennoch relevant, ist die Gefahr der Ausbildung von Fließgelenken bei starker dynamischer Beanspruchung, wie zum Beispiel im Fall eines Erdbebens. Diese Fließgelenke treten auf, wenn die Lasten massiver Wandscheiben im Erdgeschoss über dünnen Stützen in den Baugrund eingeleitet werden. An den aus statischer und dynamischer Sicht kritischen, sich an den Enden der Stützen befindlichen Stellen, treten durch die Beanspruchung sehr große Verformungen auf. Hierdurch kann der gesamte Sockelbereich einknicken und zerstört werden, was unweigerlich zum zumindest teilweisen Einsturz des Bauwerks führt.

Ein weiteres Problem dieses Konzepts resultiert aus den Windeffekten am Gebäudefuß (siehe Seite 31, 6.3 Windgeschwindigkeiten und Strömungseffekte).

Der Breitfußsockel hingegen nutzt das große Raumangebot im Erdgeschoss, das aufgrund der einzuhaltenden Freiflächen besteht, sehr gut, da hier der Grundriss des Gebäudes in den unteren Geschossen teilweise beträchtlich verbreitert wird. Der entstandene Raum kann hervorragend mit Sondernutzungen ausgefüllt und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, was zum Teil große wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt.

Auch aus Sicht der Statik und Dynamik ist die Konzeption eines Breitfußsockels sinnvoll, da auf diese Weise alle statischen und dynamischen Lasten des Hochhauses ohne Probleme in den Untergrund eingeleitet werden können, sofern man auf eine Auflockerung des Tragwerksrasters im Erdgeschossbereich verzichten kann. Diese wird allerdings erforderlich, wenn die öffentlichen Bereiche im Gebäudesockel Raumgrößen benötigen, die eine Weiterführung der tragenden Elemente des Gebäudeschaftes nicht zulassen.

5.2 Verschattung

Gebäude großer Höhen können speziell in den Wintermonaten sehr lange Schatten werfen, da zu dieser Jahreszeit in unseren Breitengraden die Sonne selbst zur Mittagszeit nur sehr flach am Himmel steht. Hochhäuser sind in

Deutschland baurechtlich so anzuordnen, dass die umliegenden Gebäude in jedem Fall mehr als 1,5 Stunden am Tag direktes Licht abbekommen. Bei einzelnen, punktförmigen Hochhäusern stellt dies in der Regel kein Problem dar, da selbst am kürzesten Tag des Jahres der Lauf der Sonne einen horizontalen Winkel von 100° nicht unterschreitet.

Problematisch wird die Erfüllung dieser Vorgabe bei scheibenförmigen Hochhäusern in Ost-West-Ausrichtung oder bei einer erhöhten Konzentration an Hochhäusern, da hier auch großzügige Freiflächen die ausreichende Belichtung der benachbarten Gebäude kaum gewährleisten können. Der in Abbildung 22 zu sehende Schatten eines 13-stöckigen Hochhauses ist aufgrund des geringen Vertikalwinkels des Sonnenhöchststandes im Winter schon bei dieser relativ geringen Gebäudehöhe sehr lang.



Abbildung 22: Mittagsschatten im Winter

Diese Problematik erfordert bei Projekten kritischer Größe und Ausrichtung in der Planungsphase eine Simulation des Schattenwurfs, durch die vorhandene Bedenken überprüft und ausgeräumt werden sollen. Unter anderem führen die baurechtlichen Vorgaben zur Mindestbelichtung von Gebäuden in Deutschland auch dazu, dass durch den Bau von Hochhäusern keine Steigerung der Bebauungsdichte im Vergleich zu niedrigeren Bauformen erzielt werden kann.

5.3 *Bebauungsdichte*

Die Annahme, mit Hochhäusern lasse sich eine enorm hohe Bebauungsdichte realisieren, trifft nur bedingt zu. Aufgrund des großen Bedarfs an Freiflächen erzielen Hochhaussiedlungen keine höhere Bebauungsdichte als normal bebaute Flächen. So liegt zum Beispiel bei scheibenförmigen Häusern das Optimum von Höhe und Dichte bei maximal zehn Stockwerken. Eine Geschossflächenzahl von über 1,5 ist, unabhängig vom Hochhaustyp, bei Einhaltung der geforderten Freiflächen in Deutschland kaum möglich.



Abbildung 23: Bebauungsdichte eines Wohnviertels in Hongkong

Dies verhält sich in überbevölkerten Ballungsräumen, speziell auf dem asiatischen Kontinent, natürlich nicht so. Dort werden aufgrund des akuten Wohnraummangels mit Verzicht auf Wohnlichkeit sehr viel höhere Bebauungsdichten als in Deutschland realisiert, indem die Hochhäuser dicht gedrängt aneinandergebaut werden. Solche Wohnraum- und Wohnumfeldsituationen sind aber hierzulande in den nächsten Jahren und Jahrzehnten nicht abzusehen.

6 Bauphysikalische Herausforderungen

6.1 *Belichtung*

Die natürliche Belichtung stellt im Wohnhochhausbau im Gegensatz zum Bürohochhausbau einen stark limitierenden Faktor bezüglich der Gebäudetiefe dar, da bis auf Sanitär-, Abstellräume und Erschließungseinrichtungen alle Räume ausreichend natürlich belichtet werden müssen. Hierbei ergeben auch Innenhöfe oder Lichtschächte meist keine Lösung, weil aufgrund der Gebäudehöhe über diese nicht ausreichend viel Licht zu den innen liegenden Bereichen gelangen kann.

Ansonsten sind hausintern bezüglich der Belichtung keine besonderen Richtwerte zu beachten. Lediglich die Auswirkung auf die Belichtung anderer Gebäude in der Umgebung sind in der Planung zu berücksichtigen (siehe Seite 28, 5.2 Verschattung).

6.2 *Belüftung*

Die Belüftung gestaltet sich besonders bei sehr hohen Bauwerken schwierig, da hier in den oberen Stockwerken mit hohen Windgeschwindigkeiten zu rechnen ist, was eine konventionelle, natürliche Belüftung erschwert. Frei öffnbare Fensterflügel sollten aus diesem Grund, aber auch zur Verminderung der Absturzgefahr nicht vorgesehen werden.

Innere Gebäudeteile, wie zum Beispiel die Erschließungseinrichtungen, müssen gegebenenfalls komplett künstlich belüftet werden.

6.3 *Windgeschwindigkeiten und Strömungseffekte*

6.3.1 *Physikalische Effekte*

Da die auftretenden Windgeschwindigkeiten mit zunehmender Höhe über dem Boden größer werden, ist bei der Planung und Gestaltung von Hochhäusern und ganzen Hochhaussiedlungen besonderes Augenmerk auf die aerodynamischen Eigenschaften der Gebäudeform und -anordnung zu legen. Diese

Betrachtungen sollten sehr komplex ausfallen, da nicht allein der obere Bereich eines einzelnen Hauses betroffen ist, sondern aufgrund der Größe eines Hochhauses der Luftstrom im Bereich des ganzen Gebäudes und großer Teile seiner Umgebung stark beeinflusst wird.

So treten Abriegelungs-, Wirbel-, Düsen-, Schneisen- und zahlreiche weitere Windeffekte auf, durch die der Luftstrom der gesamten Umgebung verändert werden kann. Speziell für das eigentliche Gebäude spielen vor allem Eckwirkungen, Locheffekte und Turbulenzen aufgrund von Strömungsabrissen eine bedeutende Rolle.

6.3.2 Auswirkungen auf Nutzung und Wohnqualität

Während die unmittelbare Umgebung eines Hochhauses in erster Linie durch die erhöhten Windgeschwindigkeiten unwirtlich und zugig erscheint und deshalb in extremen Fällen kaum sinnvoll genutzt werden kann, betrifft dieser Umstand die eigentliche Wohnqualität kaum. Allerdings kann es auch hier zu erheblichen Einschränkungen kommen, wenn es aufgrund von Eckwirkungen oder Locheffekten zur Entstehung starker Windgeräusche kommt, die bis in die Wohnungen hinein deutlich zu vernehmen sind. Des Weiteren kann auch durch Turbulenzen und hohe Windgeschwindigkeiten im Fassadenbereich die Nutzung von Balkonen oder das Öffnen der Fenster so stark eingeschränkt sein, dass dies merklich zu einer Verminderung der Wohnqualität führt.

An dieser Stelle sind auch energetische Probleme zu erwähnen, die sich durch die windbedingte Auskühlung der Fassade ergeben. Dieses Problem kann allerdings sehr einfach durch eine bauphysikalisch sinnvoll und effizient gestaltete Fassadenkonstruktion gelöst werden.

6.3.3 Bautechnische Maßnahmen

Der Windproblematik kann in vielen Bereichen mit durchdachten konstruktiven und planerischen Lösungen erfolgreich begegnet werden. So lassen sich hohe Windgeschwindigkeiten im Sockelbereich zum Beispiel durch die Ausgestaltung als Breitfußsockel vermeiden. Generell sollten offene Erdgeschossbereiche nur eingeplant werden, wenn sie parallel zur Hauptwindrichtung ausgebildet werden können. Durchgänge in Windrichtung sollten vermieden werden, da hier starke

Loch- und Düseneffekte auftreten können. Ist dies aber erschließungstechnisch nicht möglich, können durch eine Teilung des Luftstroms in zwei Ebenen die Windgeschwindigkeiten im Durchgangsbereich immerhin deutlich abgesenkt werden.

Eckbereiche des Gebäudes sollten mit porösen Fassadenelementen ausgestattet werden. Auch eine Aufsprengung der vertikalen Gebäudekanten durch heraustretende, niedrige Gebäudeteile oder dichte Vegetation tragen zur Verbesserung der Aerodynamik im bodennahen Bereich bei.

6.4 Brandschutz

Dem Brandschutz gilt bei Hochhäusern ein besonderes Augenmerk, weil die Standardausrüstung der örtlichen Feuerwehren es lediglich ermöglicht, Gebäude bis zu einer Höhe von 22 Metern über Drehleitern zu erreichen. Da also ab einer gewissen Höhe der zweite notwendige Flucht- und Rettungsweg nicht über die Öffnungen in der Fassade mithilfe der Feuerwehr zur Verfügung steht, muss dieser konstruktiv ausgebildet werden. Dies bringt die Erfordernis zweier notwendiger Treppenhäuser bei Hochhäusern geringer Höhe (bis 60 Meter) mit sich, die gegebenenfalls unter weiteren Auflagen durch ein Sicherheitstreppehaus ersetzt werden können. Gebäude, die höher als 60 Meter sind, müssen mit zwei Sicherheitstreppehäusern ausgestattet sein, die möglichst an zwei entgegengesetzten Gebäudeaußenseiten angeordnet sein sollten.

Für den Planer erschwerend ist der Umstand der fehlenden Brandschutzvorschriften für Hochhäuser in den meisten deutschen Bundesländern, weshalb es letztendlich keine ausreichende rechtliche Sicherheit im Falle eines Schadens gibt. Es ist zwar üblich, sich in solchen Fällen an den Richtlinien, Normen und Gesetzen anderer Länder zu orientieren, allerdings bleibt letztlich die Abwägung zwischen wirtschaftlichen Interessen des Bauherrn und der Sicherheit der Hausbenutzer am ausführenden Ingenieur hängen, was keinen zufrieden stellenden Zustand darstellt. Hier sind die Gesetzgeber dringend zum Handeln aufgefordert, um eindeutige, rechtsverbindliche Vorschriften in allen Bundesländern zu verabschieden.

7 Problemstellungen im Wohnhochhausbau

7.1 Erschließung

7.1.1 Innenflure

Speziell in Wohnhochhauscheiben ist dieser Typ der horizontalen Erschließung weit verbreitet, da auf diese Weise eine große Anzahl von Wohnungen über wenige vertikale Erschließungseinheiten versorgt werden kann. Üblich ist hierbei ein langer Innenflur zwischen zwei notwendigen Treppenhäusern, der über wenige Aufzüge erreicht werden kann.

Ein großer Nachteil dieser Erschließungsmethode ist die Entstehung von sehr unübersichtlichen Nachbarschaftsverhältnissen auf den einzelnen Etagen, da sich hier teilweise über 50 Wohnungstüren aneinanderreihen können. Aufgrund der Fluranordnung im Inneren des Gebäudes, müssen diese meist künstlich belichtet und belüftet werden, was den bereits unwirtlichen Charakter weiter verschlechtert. Unbehagen und ein vermindertes Sicherheitsgefühl sind oft Begleiter dieser ansonsten sinnvollen und kostengünstigen Erschließungsart.

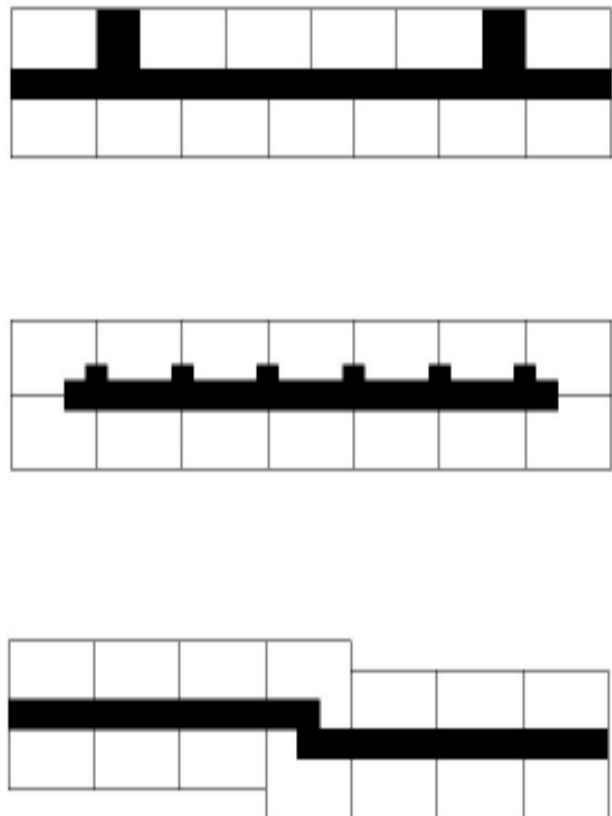


Abbildung 24: Innenflurvarianten

Ein weiterer großer Nachteil besteht darin, dass der Innenflur das Hochhaus in zwei Teile zerschneidet und die Ausrichtung der Wohnungen nur jeweils einseitig erfolgen kann. Dies erlaubt nur eine Gesamtausrichtung des Gebäudes in Nord-Süd-Richtung, damit nicht die Hälfte der Wohnungen komplett nach Norden ausgerichtet sind.

Ein Lösungsansatz für diese Problematik besteht darin, die Wohneinheiten als Maisonettewohnungen auszubilden, die den Innenflur, der somit nur in jedem dritten Stockwerk vorhanden ist, umschließen.

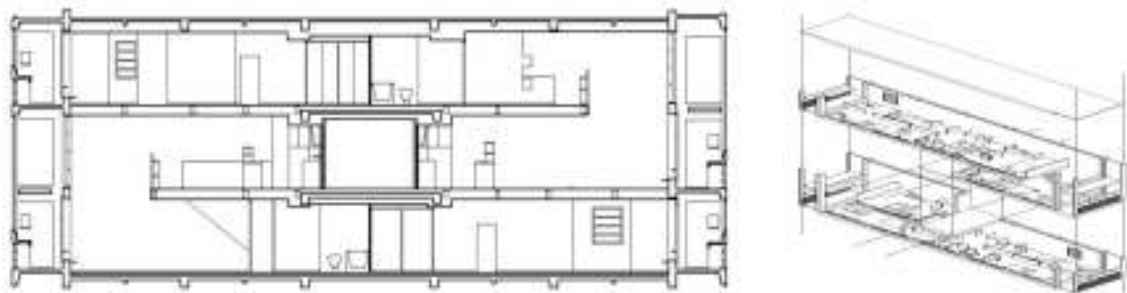


Abbildung 25: Fluranordnung in der Unité d'Habitation

Dieses Prinzip wurde zuerst vom französischen Architekten Le Corbusier in der Unité d'Habitation umgesetzt. Leider entstehen auf diese Weise aber Wohnbereiche, die nicht barrierefrei zu erreichen sind.

7.1.2 Laubengänge

Diese Art der Erschließung findet sich auch vorwiegend bei scheibenförmigen Hochhäusern wieder. Sie sind eine echte Alternative zu den Innenfluren, da auch sie nur wenige vertikale Erschließungseinheiten brauchen, aber durch die offene Bauweise und somit durch die natürliche Belichtung und Belüftung einen angenehmeren Charakter bekommen.

Allerdings bringen Laubengänge weitere Nachteile mit sich, die dafür gesorgt haben, dass sich auch dieses System der horizontalen Erschließung nicht durchsetzen konnte. Hier ist vor allem die einseitige Ausrichtung der Wohneinheiten zu nennen, da in Richtung des Laubengangs nur Nebenräume mit kleinen Fensterflächen angeordnet werden können, die darüber hinaus vor neugierigen Einblicken geschützt werden müssen.

Weiter verleitet der balkonartige Charakter der Laubengänge viele Einwohner dazu, die Eingangsbereiche ihrer Wohnungen zu schmücken oder diese als Abstellflächen und auch anderweitig zu benutzen, was nicht akzeptiert werden kann, da die Laubengänge die Flucht- und Rettungswege darstellen, welche nach brandschutztechnischen Vorgaben unverstellt und frei von Brandlasten sein müssen.

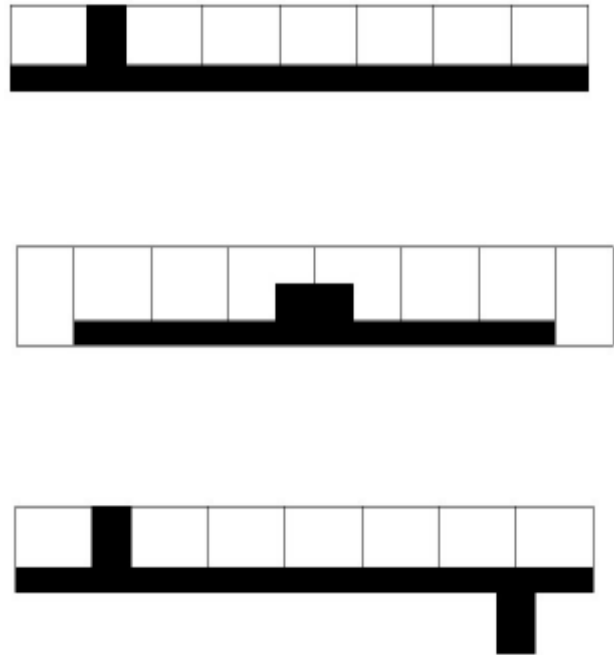


Abbildung 26: Laubengänge

Speziell bei schlechtem Wetter ist diese Bauweise in großen Höhen, aufgrund der mit der Gebäudehöhe ansteigenden Windgeschwindigkeiten, oft eine Zumutung für die Anwohner. In diesem Fall muss man zu einer geschlossenen Bauweise der Laubengänge übergehen.

7.1.3 Spänner

In vielen Wohnhochhäusern hat sich das Prinzip der Spänner durchsetzen können, obwohl es im Vergleich zur Erschließung über Innenflure oder Laubengänge deutlich teurer in der Erstellung und im Unterhalt ist. Bei dieser Erschließungsmethode werden zwei bis vier Wohneinheiten pro Etage zusammengefasst und auf eine vertikale Erschließungseinheit ausgerichtet, über die diese Wohnungen dann erreicht werden können. Hierdurch entstehen etagenweise sehr übersichtliche Nachbarschaftsverhältnisse, die von den Bewohnern meist geschätzt und als angenehm empfunden werden.

Nachteile sind, wie bereits erwähnt, die hohen Kosten, da auf die Weise viele Aufzüge und Treppenhäuser gebaut werden müssen, deren Kapazität bei weitem nicht voll ausgeschöpft werden kann.

Das gängigste Prinzip ist der Drei-Spänner, bei dem allerdings die mittlere Wohneinheit lediglich auf die der Erschließung abgewandten Seite ausgerichtet werden kann.



Abbildung 27: Drei-Spänner

7.2 Erdgeschoss und Eingangsbereich

Die Gestaltung des Eingangsbereichs hängt sehr stark vom Erschließungstyp des Gebäudes ab. So ähnelt der Eingangsbereich eines Spänner-Hochhauses stark denen von Gebäuden geringerer Höhe. Bei Hochhäusern, die über Innenflure oder Laubengänge erschlossen sind, ist der gesamte Erdgeschossbereich meist gänzlich abgekoppelt von den anderen Geschossen ausgebildet, da hier zentral viele ebenerdige Abstellflächen zur Verfügung gestellt werden müssen. Leider führte dies in der Vergangenheit oft zu reinen Zweckbereichen, in denen keine weitere Nutzung vorgesehen wurde, wodurch nicht nur viel Raum verschenkt, sondern mangels Belegung auch Unwirtlichkeit hervorgerufen wurde. In solchen lieblos und anonym gestalteten Erdgeschoss- und Eingangsbereichen ist oft ein erhöhtes Maß an Vandalismus zu beobachten, da besonders jugendliche Hausbewohner ihrer Unzufriedenheit mit diesem Wohnumfeld durch Zerstörung Ausdruck verleihen. Insofern ist gerade bei unbewohnten Erdgeschossbereichen auf ansprechende und hochwertige Gestaltung Wert zu legen, um eine Identifikation der Bewohner mit dem Gesamtgebäude zu bewirken. Auch eine gewerbliche Nutzung bislang ungenutzter Flächen im Erdgeschoss kann zu einer Aufwertung des gesamten Wohnumfeldes führen.

7.3 Kellerräume, Stell- und Müllstandplätze

Um jedem Haushalt eines Hochhauses eine eigene Kellerzelle zur Verfügung stellen zu können, bedarf es meist mehrerer Kellergeschosse, die oft durch die lokale Abgeschlossenheit und wenig Verkehr zu Aufenthaltsorten für Jugendliche Banden werden, wodurch das Sicherheitsgefühl der Nutzer eingeschränkt wird.

Das Stellplatzproblem, welches sich durch die hohe Anzahl der Haushalte automatisch ergibt, wird meist durch große Tiefgaragenanlagen oder riesige Parkplätze auf den Freiflächen gelöst. Bei der Unterbringung in Tiefgaragen ist darauf zu achten, den Nutzern auch in großen Anlagen durch geeignete Maßnahmen ein ausreichendes Sicherheitsgefühl zu gewährleisten. Das Problem bei großflächigen Parkplätzen ist in erster Linie der hohe Platzbedarf und die Versiegelung von Flächen, welche, als Grünflächen erhalten, das Umfeld des Gebäudes sicherlich weit positiver beeinflussen würden.



Abbildung 28: Parkplatz in Stuttgart-Neugereut

Je größer der Gebäudekomplex ist, desto aufwendiger müssen auch die Müllstandplätze gestaltet werden, damit sie hinsichtlich Optik und Geruch ein zumutbares Maß nicht überschreiten. In vielen Fällen wird mit dem Mittel der Begrünung gearbeitet, manchmal werden aber auch hausinterne Abfallsammelräume eingerichtet. Ein weiteres Problem stellt, zumindest für Kinder und ältere Menschen, die Bedienung der aus wirtschaftlichen Gründen für große Wohnkomplexe notwendigen, großen Mülltonnen dar.

7.4 Anonymität und soziale Isolation

Besonders in Wohnhochhäusern, in denen zahlreiche Wohnungstüren in künstlich belichteten Innenfluren aneinandergereiht sind, entstehen nur äußerst selten funktionierende Nachbarschaftsverhältnisse. Die einzelnen Parteien wohnen meist isoliert, man sieht sich nur selten auf dem Flur und geht in der Anonymität der Masse verloren. Steht den Bewohnern zudem noch eine Tiefgarage zur Verfügung, bleiben auch die für die nachbarschaftlichen Verhältnisse wichtigen Begegnungen vor dem Gebäude meist aus. Des Weiteren ist das oft schwierige soziale Gefüge innerhalb eines Hochhauses für gute nachbarschaftliche Kontakte nicht förderlich. Dieser Umstand stellt vor allem für ältere und hilfsbedürftige Bewohner ein Problem dar, da ihnen die nachbarschaftliche Hilfe, die in anderen Wohngebieten in gewissem Umfang üblich ist, viel zu oft verwehrt bleibt. So fällt es auch nicht auf, wenn jemand seinen Gewohnheiten nicht nachkommt. Oftmals werden zum Beispiel Todesfälle im Haus erst beim Auftreten des Verwesungsgeruchs bis in den Erschließungsbereich entdeckt, was ein bedrückendes Zeichen für die Gefahr der sozialen Isolation in großen Wohnkomplexen darstellt.

7.5 Verwaltung und Betrieb

Die Verwaltung von Hochhäusern kann nicht wie bei kleineren Gebäuden von den Bewohnern übernommen werden, zumal die Komplexität und Störunganfälligkeit der technischen Einrichtungen professioneller Wartung bedarf. Auch die Reinigung der allgemein zugänglichen Bereiche kann bei unüberschaubaren Nachbarschaftsverhältnissen nicht mehr von den Bewohnern selbst ausgeführt werden, sondern muss in professionelle Hände gegeben werden. So kann man in größeren Wohnkomplexen nicht auf einen Hausmeister oder Facility Manager verzichten, der allerdings bei der gleichzeitigen Betreuung mehrerer Häuser finanziell für die Mieter kaum ins Gewicht fällt. Somit stellt dieser nicht zuletzt eine willkommene Arbeitserleichterung im Wohnalltag dar.

8 Neue Konzepte im Wohnhochhausbau

8.1 21st Century Tower in Dubai

Der zurzeit zweithöchste Wohnturm der Welt steht in Dubai. Mit einer Höhe von 269 Metern behauptet sich der 21st Century Tower in der ständig anwachsenden Skyline der Wüstenmetropole. Gelegen an Dubais berühmtester Straße, der Zayed Road, besticht er durch seine elegante Struktur. Anfangs wurde eine Mischnutzung geplant, jedoch verfügt das Gebäude nach Abschluss der Bauarbeiten im August 2003 über eine rein wohnliche Nutzung. 300 Wohnungen mit drei Schlafzimmern und 100 Wohnungen mit zwei Schlafzimmern verteilen sich auf 55 Stockwerke. Eine Parkgarage über 9 Ebenen ist an das Gebäude angeschlossen. Neben den luxuriösen Wohnungen verfügt es außerdem über einen Swimmingpool und ein Fitnessstudio im Dachgeschoss.



Abbildung 29: 21st Century Tower, Dubai

8.2 *Turning Torso in Malmö*

Dass der Wohnhochhausbau nicht nur aus der räumlichen Notwendigkeit heraus vorangetrieben wird, sondern durch ein gelungenes Konzept auch international auf ein positives Echo stoßen kann, zeigt des Weiteren auch eines der jüngsten Projekte: Der Turning Torso in der schwedischen Stadt Malmö.

Durch sein spektakuläres Design und innovative Konzepte bei der Herstellung hat das im August 2005 fertig gestellte neue Wahrzeichen Malmö schon in der Planungsphase den Sprung in die internationalen Schlagzeilen geschafft, wo fast ausschließlich Lob für dieses gewagte Projekt zu vernehmen war. Im Jahr 2005 wurde dieses Projekt des spanischen Architekten Santiago Calatrava mit einem bedeutenden Architekturpreis ausgezeichnet.



Abbildung 30: Turning Torso, Stahlrückgrat

Am 27. August 2005 konnte das 190 Meter hohe, in sich um 90 Grad verdrehte Hochhaus offiziell eröffnet werden, mit dessen Bau im Jahre 2001 begonnen worden war. Das Gebäude besteht aus neun kubischen Einheiten, von denen die unteren zwei auf einer Gesamtfläche von 4000m² als Büros genutzt werden, wogegen die sieben oberen Kuben ausschließlich Wohnungen enthalten. Diese Stockwerke werden über drei Hochgeschwindigkeitsliften erschlossen, zu den Büroflächen gelangt man über zwei separate Aufzüge.

Parkplätze für die Bewohner und Bedienstete der Büroetagen befinden sich in einem quaderförmigen, mehrgeschossigen Parkhaus, das direkt neben dem Gebäude erstellt wurde.

Die jeweils um 1,6 Grad gegeneinander verdrehten Etagen sind um einen vertikalen Kern angeordnet, zusätzlich wird das Gebäude durch einen externen Stahlrückgrat stabilisiert. Um den hohen Anforderungen an den Brandschutz gerecht zu werden, wurde der Turning Torso in sechs Brandabschnitte unterteilt und mit einer Sprinkleranlage versehen, was es letztendlich ermöglicht hat, die trennenden Elemente zwischen Büro- und Wohnbereichen lediglich als F 60 Bauteile auszuführen. Somit wurden bei der Planung dieses Wohnhochhauses auch in Punkto Sicherheit innovative Maßstäbe gesetzt.



Abbildung 31: Turning Torso, Malmö

9 Ausblick

Der Wettstreit um das höchste Gebäude der Welt wird immer weiter andauern. Heute konkurrieren nicht mehr die Metropolen der USA sondern die Großstädte Asiens und des arabischen Raums miteinander. Es handelt sich weiterhin meist um reine Prestigeobjekte, die Macht und Reichtum ausdrücken wollen. Bei den Gebäuden wird immer Wert auf Einmaligkeit gelegt. Sie bestechen durch neuartige Konstruktionen und eine extravagante Bauwerksform.

Durch die Kombination der einzelnen Bauweisen (hybride Systeme) und durch den Einsatz modernster Dämpfungssysteme, die den Bau sogar in stark erdbebengefährdeten Gebieten ermöglichen, wird der Höhenrekord auf unabsehbare Zeit weiter ansteigen.

Im Wohnhochhausbau ist anderen Ansprüchen zu genügen. Hier ist mehr Wert auf eine sinnvolle und ökonomische Konstruktion zu legen. Vor allem die Forderung nach genügend Tageslichteinstrahlung schränkt die planerische Freiheit doch sehr ein. So lassen sich bei Wohnhochhäusern nicht allzu große Höhen und zu ausgefallene Formen feststellen.

In Deutschland wird der Hochhausbau in Maßen weitergehen. In Frankfurt am Main werden gelegentlich weitere Bürotürme entstehen, im übrigen Land wird es aber nur punktuelle Projekte geben. Wohnanlagen aus den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts wird es in Zukunft wahrscheinlich nicht mehr geben.

10 Literaturverzeichnis

10.1 Bücher

- [1] Terranova, Antonino: Wolkenkratzer, Köln: Karl Müller, 2003
- [2] Eisele, Johann: Hochhaus-Atlas; Typologie und Beispiele, Konstruktion und Gestalt, Technologie und Betrieb, München, Callwey, 2002
- [3] von Mutius, Albert: Bauen für Studenten, Wohnanlagen in Deutschland seit 1990, Basel: Birkhäuser, 1994
- [4] Weeber, Hannes: Bauforschung für die Praxis, Band 7: Wohnhochhäuser heute; Stuttgart: IRB-Verlag, 1995

10.2 Seminararbeit

- [5] Clauss, Anita: Herausforderungen im Hochhausbau, Seminar Ausgeführte Bauwerke, WS 2000/2001, Institut für Konstruktion und Entwurf I, Universität Stuttgart, Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann

10.3 Skripte

- [6] Moro, José Luis: Unterlagen zur Vorlesung Planung und Konstruktion, WS 2001/02
- [7] Vermeer, Pieter: Vorlesungsunterlagen Geotechnik II.1, WS 2005/06

10.4 Internetseiten

- [8] <http://www.architektur-online.com/archiv/Heft0205/calatrava/calatrava.html>
- [9] <http://www.bizzbook.com/map/turningtorso.html>
- [10] <http://www.emporis.com/en/wm/bu/?id=186985>
- [11] http://www.peri.de/ww/de/pub/projects.cfm/fuseaction/showreference/reference_ID/477/referencecategory_ID/6.cfm
- [12] <http://www.automatedbuildings.com/news/jun04/articles/tridium/tridium.htm>
- [13] <http://www.umwelt-online.de/recht/bau/laender/nrw/bo1.htm>
- [14] <http://www.3sat.de/3sat.php?http://www.3sat.de/nano/cstuecke/61659/>
- [15] <http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptseite>

11 Abbildungsverzeichnis

Titelbild:	Hochhaus in Köln	
	[http://www.jan-kretschmer.de/photo/photolog05/hochhaus_koeln_1005.jpg]	
Abbildung 1:	Gebäudehöhen im Vergleich	2
Abbildung 2:	Monadnock Building, Chicago	
	[http://www.gapw.com/mon3.jpg]	3
Abbildung 3:	Flatiron Building, New York	
	[http://www.budowle.pl/budowle/grafika/ameryka_polnocna/flatiron_building.jpg]	5
Abbildung 4:	Woolworth Building, New York	
	[http://de.structurae.de/files/photos/1927/usa/nywwb_51_25_95.jpg]	6
Abbildung 5:	Sears Tower, Chicago	
	[1, Seite 104]	7
Abbildung 6:	Haus Gropius, Berlin, Hansaviertel	
	[http://www.berliner-hansaviertel.de/Bilder/Gropius1.JPG]	8
Abbildung 7:	Berlin, Stadtteil Neukölln	
	[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/8/81/Gropiusstadt_closeup.jpg] ...	9
Abbildung 8:	Skyline Frankfurt am Main	
	[http://www.salsacard.de/tools/cms/files/partner_10044/Frankfurt%20skyline.jpg]	10
Abbildung 9:	Schwingungsdämpfer im Taipei 101	
	[http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Taipei101_b.JPG]	13
Abbildung 10:	Stabile und labile Scheibenanordnung	16
Abbildung 11:	Kreuz-, Diagonal und K-Verband	17
Abbildung 12:	Prinzip Biegesteifer Rahmen und Kern mit Auslegern	18
Abbildung 13:	World Trade Center, New York	
	[http://www.atpm.com/7.01/new-york-ii/images/world-trade-center.jpg]	19
Abbildung 14:	John Hancock Center, Chicago	
	[http://www.vazyvite.com/photo_us/chicago/hancock.jpg]	20
Abbildung 15:	Agbar-Turm, Barcelona	22
Abbildung 16:	Wohnkomplexe in Stuttgart-Neugereut	23

Abbildung 17: Stuttgart-Asemwald	
[http://www.tc-asemwald.de/TCAWebMuster/Asemwald.jpg]	24
Abbildung 18: Wohnhochhäuser im Norden Chicagos	
[http://kea.cs.uni-magdeburg.de/thorhaue/travel97/Film24/24-23.jpg]	25
Abbildung 19: Wohnhochhaus in Stuttgart-Neugereut	25
Abbildung 20: Petronas Towers, Kuala Lumpur	
[1, Seite 244].....	26
Abbildung 21: World Trade Center, New York	
[http://mywebpages.comcast.net/zeeman101/WTC-Roof-Veiv.jpg]	27
Abbildung 22: Mittagsschatten im Winter	29
Abbildung 23: Bebauungsdichte eines Wohnviertels in Hongkong	
[http://www.manzschulbuch.at/unterricht/120883/download/Kap.%205_Fireworks/Hongkong.jpg].....	30
Abbildung 24: Innenflurvarianten.....	34
Abbildung 25: Fluranordnung in der Unité d'Habitation	
[http://www.uni-weimar.de/architektur/e+gel1/projekte/leonding%20entwurf01/leondingseminar/UNITELecorbusier.pdf]	35
Abbildung 26: Laubengänge	36
Abbildung 27: Drei-Spänner	37
Abbildung 28: Parkplatz in Stuttgart-Neugereut	38
Abbildung 29: 21st Century Tower, Dubai	
[http://foto.rambler.ru/photos/u//ulex_dubai/1/13/13.jpg]	40
Abbildung 30: Turning Torso, Stahlrückgrat	
[http://i.malmo.nu/nyheter/nyhetsbilder/102005913163254.JPG]	41
Abbildung 31: Turning Torso, Malmö	
[http://webbbs.sz.oeeee.com/articlepic/200510/2005101211594139754.jpg]	42