

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 8 (1968)

Artikel: Spezielle Probleme bei Hochhäusern (Schubwände, Stabilität der
Stützen, thermische Einflüsse, konstruktive Probleme)

Autor: Reese, Raymond C. / Picardi, E.A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-8721>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 11.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

V

Neue Entwicklungen bei Beton-Hochhäusern

V a

Spezielle Probleme bei Hochhäusern (Schubwände, Stabilität der Stützen, thermische Einflüsse, konstruktive Probleme)

RAYMOND C. REESE

FASCE Consulting Engineer, Toledo, Ohio

E. A. PICARDI

FASCE Partner Skidmore,
Owings & Merrill, Chicago, Illinois

Hochhäuser werden heute auf der ganzen Welt gebaut, und die IVBH hat sich daher veranlaßt gesehen, einschlägige Themen auf die Tagesordnung ihres Kongresses 1968 zu setzen. Der erste Teil der vorliegenden Arbeit umreißt den gegenwärtigen Stand der Technik und befaßt sich neben einer Vielzahl gängiger Verfahren, auch mit einigen der dabei anstehenden Probleme. Im zweiten Teil werden drei wesentliche Fragenkreise angeschnitten, die hoffentlich zu lebhafter Aussprache und damit zu weiteren Forschungsarbeiten Anlaß geben werden. Einige ganz bestimmte Fragen treten immer wieder und ausschließlich bei Hochhäusern, nicht aber bei sonstigen Bauwerken auf.

Teil I

Als Hochhäuser gelten vielfach Bauten mit mehr als etwa 15–16 Geschossen. Die Verfasser geben jedoch für die vorliegende Arbeit der nachstehenden Definition den Vorzug: Hochhäuser sind Bauwerke, die wegen ihrer Bauhöhe eindeutige Voraussagen über Standsicherheit, Spannungsverlauf, Auflagerkräfte und Seitenverschiebungen erfordern. Die zweckgerechte, den Sicherheitsanforderungen entsprechende Auslegung derartiger Bauten setzt eine genaue Ermittlung der überlagerten Vertikal- und Horizontalkräfte voraus, ebenso der Temperatur-, Kriech- und Schrumpfeinflüsse.

Stahlskelettbau und Betonskelettbau können jeder für sich bei Hochhäusern Pluspunkte hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, ansprechenden Aussehens und Zweckmäßigkeit vorweisen. Die Auseinandersetzungen darüber werden auch

in Zukunft noch weitergehen, weil im gegenwärtigen Zeitpunkt weder Stahl noch Beton als der überlegene Werkstoff für Hochhäuser anzusehen ist. Vielmehr muß der Planungsingenieur zunächst die besonderen Gegebenheiten des jeweiligen Bauvorhabens sorgfältig prüfen, ehe er entscheiden kann, welcher Werkstoff und welches statische System im vorliegenden Falle die beste Lösung darstellen. Eine solche Entscheidung kann stets nur für ein bestimmtes Bauvorhaben zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Standort gelten und hängt außerdem in hohem Maße vom Können und Einfallsreichtum des Konstrukteurs ab. Alle Vorfragen, die einen solchen Entscheid mitbeeinflussen können, sollten daher unbedingt klar herausgearbeitet und beantwortet werden. Der Planer muß wissen, aus welchen Gründen sich der Bauherr im einen oder anderen Falle für eine bestimmte, zweckdienliche Lösung entschieden hat.

Für die Errichtung von Hochhäusern sprechen verschiedene Gründe wie:
1. Bessere Grundstücksnutzung, das heißt mehr Nutzfläche je m^2 Grundstücksfläche; 2. Bessere Kommunikation zwischen aufeinander angewiesenen Arbeitsgruppen durch Unterbringung in nahe zusammenliegenden Räumen; 3. Repräsentation und Öffentlichkeitsarbeit; 4. Steigerung des Mietwertes durch unmittelbare Nachbarschaft zu Neben- und Hilfsbetrieben; 5. Bessere Nutzung öffentlicher Einrichtungen wie Wasser- und Stromversorgung, Kanalisation, Zulieferwege usw.; 6. Räumlichkeiten mit freiem Ausblick, Luft und Licht, ohne Belästigung durch Straßenlärm, Insekten, Staub und Schmutz.

Die wachsende Verbreitung stellt die Rentabilität derartiger Bauten deutlich unter Beweis.

Welche Faktoren sind nun maßgebend dafür, bis zu welcher Bauhöhe eine Rentabilität gewährleistet ist? Einen Hauptfaktor bildet die Senkrechtförderung von Personen und Lasten, da stellenweise die Aufzugsschächte in den unteren Geschossen einen Großteil der Nutzfläche beanspruchen. Durch nachstehende Maßnahmen lässt sich die Senkrechtförderung günstiger gestalten: 1. Erhöhen der Fördergeschwindigkeit bis auf 370 m/min; 2. Rascheres Anfahren und Abbremsen durch Verbesserung der Schaltanlagen; 3. Schnellaufzüge für Teilstrecken der Gesamtförderhöhe; Stockwerksverkehr nur zwischen bestimmten Geschossen; 4. Anordnung von Stationen nur in jedem zweiten beziehungsweise dritten Geschoß; Auslegung von Wohnungen und Büros mit zwei, unter Umständen drei Geschossen und eigenen Treppenverbindungen; 5. Anordnung von zwei Fahrkörben pro Schacht, mit entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen gegen Zusammenstoß; 6. Anordnung der Aufzüge außerhalb des Gebäudes.

Trotz allen derartigen Maßnahmen bleibt jedoch die Nutzflächenminderung durch die Aufzüge ein ausschlaggebender Faktor.

Beträchtlichen Einfluß haben wegen ihres Raumbedarfs auch Heizung und Lüftung sowie Wasser- und Stromversorgung. Um den Nutzflächenverlust möglichst gering zu halten, ordnet man Maschinenräume in Zwischengeschossen an, legt Leitungen für flüssige und gasförmige Medien für hohe Strömungsgeschwindigkeiten aus und anderes mehr. Bedingt durch die in maschinen- und

bautechnischer Hinsicht erforderlichen Vorkehrungen steigen die Baukosten nicht selten rasch an, sobald die Bauhöhe über etwa 16 bis 18 Geschosse hinausgeht.

Die Wandstärken werden so gering gehalten, wie die Bauweise nur irgend erlaubt, zum Beispiel durch Verwendung von Stahlblech anstelle von Mauerwerk. Hochfeste Werkstoffe gestatten eine Verringerung der Stützenquerschnitte. Durch zweckmäßige Stützenstellung und entsprechende Querschnittsformen können Stützen in Raumecken und an ähnlichen Stellen angeordnet werden, wo sie wenig oder gar keinen Platz beanspruchen. Die Feldteilung muß die Ausbildung hinreichend großer Räume zulassen; lediglich in Großräumen kann man auch freistehende Stützen hinnehmen.

Hand in Hand mit immer kleineren Querschnitten wird die Beherrschung der zulässigen Seitenverschiebung, von Schwingungen und ähnlichen Erscheinungen immer schwieriger. Das Eigenvolumen eines Gebäudes und seine Kosten erreichen ein Minimum, wenn die Stützenachsen vertikal über die gesamte Bauhöhe durchlaufen. Bei unterschiedlicher Nutzungsart in den einzelnen Geschossen, zum Beispiel Tiefgaragen, Verkaufs- und Lagerräumen, Wohnungen und Büros, sind jedoch durchlaufende Stützen kaum zu erreichen. Man braucht vielmehr Unterzüge, um die Stützendrücke von einer Stützenstellung auf eine andere überzuleiten. Diese erreichen des öfteren Bauhöhen von 50 bis 100% der Geschoßhöhe und beanspruchen entsprechend viel Raum, in dem sich allerdings manchmal Nebenräume unter anderem unterbringen lassen.

Immerhin dürfte das Ziel, trotz nutzungsbedingt sehr verschiedener Grundrißaufteilung in den einzelnen Geschossen dennoch eine einheitliche Stützenstellung auszubilden, einen erheblichen Aufwand bei der Suche nach Lösungsmöglichkeiten lohnen.

Im allgemeinen stehen bei Hochhäusern stets dieselben Probleme an: Da beträchtliche Einzellasten in meist kleine Grundflächen einzuleiten sind, ergeben sich Gründungsschwierigkeiten, denen man mit folgenden Maßnahmen begegnet: 1. Pilzfundamente, solange die zulässige Bodenpressung einigermaßen hoch liegt; 2. Trägerroste und großflächige Fundamente; 3. Pfahlgründungen; 4. Caissongründungen und anderes mehr.

Der Bauplanung müssen sorgfältige Bodenuntersuchungen vorangehen, deren Ergebnisse eine Vorausschätzung der zu erwartenden Setzungen gestatten; das Bauwerk selbst ist dann so auszulegen, daß es derartige Setzungen verträgt.

Zwei Wegen zur Verringerung des Eigengewichtes eines Bauwerks, nämlich der Verwendung von Leichtbaustoffen, insbesondere Leichtbeton, und gewichtsparenden Konstruktionen kommt erhöhte Bedeutung zu, weil nicht selten lediglich das Eigengewicht dafür entscheidend ist, ob die Tragfähigkeit des Baugrundes ausreicht oder nicht.

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt für alle Hochhäuser, gleichgültig aus welchen Baustoffen, ist die Feuerbeständigkeit. Die Anordnung von echten, zuverlässigen Notausgängen wird mit wachsender Bauhöhe immer schwieriger.

Schon deshalb sollten sämtliche Baustoffe möglichst feuerbeständig sein. In den Bauvorschriften werden normalerweise Standzeiten von 3 bis 4^h verlangt. Darüberhinaus sollten für Notfälle ausreichende Räumungszeiten festgelegt werden.

Einen wesentlichen Gesichtspunkt bildet ferner die Aufnahmefähigkeit für Kräfte aus Wind und aus Erdbeben, weil fast alle Hochhäuser ein sehr niedriges Verhältnis Grundfläche/Höhe aufweisen. Für die Aussteifung des dreidimensionalen Rahmen-Skeletts von Hochhäusern gibt es verschiedene Möglichkeiten, zum Beispiel: 1. Biegesteife Anschlüsse zwischen den kreuzweise oder einseitig bewehrten Decken (beziehungsweise Unterzügen, Längs- und Querträgern) einerseits und den Stützen andererseits derart, daß die ganze tragende Konstruktion wie ein senkrecht angeordneter, am Fuß eingespannter Vierendeel-Träger wirkt; 2. Verwendung von Diagonal-Verbänden; 3. Verwendung besonders versteifter Rahmenecken oder auch von Querscheiben, insbesondere zur Aufnahme von Horizontalkräften.

Die rechnerische Erfassung derartiger Maßnahmen ist schon bei durchlaufenden Stützen zeitraubend genug. Der Arbeitsaufwand steigt jedoch erheblich, sobald Absätze auftreten oder bei von Geschoß zu Geschoß wechselnder Stützenstellung, auch wenn die Absätze lediglich in aufeinander folgenden Ebenen liegen. Treffen derartige Absätze rechtwinklig zusammen und nicht in aufeinander folgenden Ebenen, so wird die reine Rechenarbeit noch schwieriger. Unterzüge haben häufig die Form des kurzen, stark beanspruchten Balkens und müssen dann als Balken großer Bauhöhe berechnet werden. Auch ist es nicht immer möglich, Torsionsbeanspruchungen zu umgehen. Diese erfordern besondere Torsionsrechnungen. Schon beim ersten Entwurf muß daher Platz für die Unterbringung von Verbänden, Querscheiben, Unterzügen und ähnlichen Baugliedern im einzelnen berücksichtigt werden.

Es liegt auf der Hand, daß Horizontalbeschleunigung und Durchbiegungen vom Bauwerk selbst zwar gefahrlos aufgenommen, für dessen Bewohner jedoch lästig werden können. Deshalb dürfen mögliche physiologische und selbst psychische Auswirkungen nicht außer acht gelassen werden. Es ist bereits eine Reihe medizinischer Untersuchungen durchgeführt worden, um festzustellen, wie der Mensch auf Horizontalbeschleunigungen wechselnder Größe reagiert; ebenso wurde untersucht, wann periodische Bewegungen und Schwingungen auftreten. Die Abbildung auf Seite 504 enthält genügend Hinweise auf die Richtung, die in dieser Hinsicht bei weiteren Untersuchungen eingeschlagen wurde.

In Rechnung zu stellen sind ferner Einwirkungen (seitlicher Verschiebungen) auf Zwischenwände, Decken und Fußböden sowie Außenverkleidungen, und zwar, weil dadurch nicht nur unschöne Risse auftreten, sondern weil auch Fenster und Türen infolge Durchbiegung und Verwerfung nicht mehr ordnungsgemäß schließen. Da sich Stützen unter Last nun einmal unumgänglich verformen, müssen zweckentsprechende Dehnfugen vorgesehen werden. (Stahlstützen von 300 m Höhe, durchgehend mit 2000 kg/cm² auf ganzer Länge beansprucht,

werden bei einem E -Modul von $2\,100\,000\text{ kg/cm}^2$ unweigerlich etwa 30 cm kürzer. Daher müssen Stahlzwischenwände, die ja praktisch kaum beansprucht sind, so ausgelegt werden, daß die entsprechende Längsverkürzung der Stützen kompensiert wird.)

Die Lastannahmen für die statische Berechnung bleiben von der Wahl der Werkstoffe ziemlich unberührt. Die einzelnen Geschoßlasten sollten wegen ihrer Vielzahl äußerst sorgfältig angesetzt werden: Verkehrslasten in der aus Sicherheitsgründen erforderlichen Größe, jedoch auch nicht übermäßig hoch, um nicht die Wirtschaftlichkeit, möglichst geringe Fundamentlasten und damit überhaupt die Ausführbarkeit des Bauvorhabens in Frage zu stellen. Die örtlichen Bauvorschriften enthalten neben festen Normen für Bauten aller Art auch Kann-Bestimmungen, deren Möglichkeiten sorgfältig ausgeschöpft werden sollten. Weil während des Bauens durchaus Lasten auftreten können, die größer sind als nach dem Beziehen des Gebäudes, ist ihnen im Vorhinein Rechnung zu tragen; anderenfalls sind besondere Vorkehrungen für eine den Lastannahmen entsprechende Verteilung zu treffen.

Das Eigengewicht von Zwischenwänden muß sorgfältig ermittelt werden, insbesondere dann, wenn sie in Mauerwerk ausgeführt sind. Es genügt keinesfalls, dafür einen willkürlich gewählten, möglicherweise viel zu niedrigen Zuschlag in kg/m^2 zu machen. Dasselbe gilt beim Vorhandensein einer Vielzahl von Leitkanälen und -schächten. Auch die sonstigen Eigengewichte dürfen nicht willkürlich angesetzt, sondern müssen hinreichend genau ermittelt werden. So kann zum Beispiel ein langer, aufgehender Rohrstrang als Einzellast von beachtlicher Größe wirken, wenn er auf einem bestimmten Geschoß mit einer rutschfesten Schelle abgefangen wird, eine Tatsache, der die Deckenkonstruktion in jeder Hinsicht Rechnung tragen muß.

Die Auswirkung der Verkehrslasten läßt sich verringern durch Einführen eines Wahrscheinlichkeitsfaktors, der Anzahl und Größe der insgesamt aufzunehmenden Einzelgeschoßlasten ebenso berücksichtigt, wie die jeweiligen Anteile aus Eigengewicht und Verkehrslast. Überhaupt begegnen ja statistische Verfahren neuerdings bei der Lösung schwierigerer Fragen wachsendem Verständnis und entsprechend breiterer Anwendung, nicht zuletzt unter dem Einfluß der mit diesen Methoden erzielten Erfolge bei der Entwicklung von Luft- und Raumfahrzeugen.

Lasten aus Wind hängen eng mit der Windgeschwindigkeit zusammen; für letztere liegen Wetterdaten in großer Zahl vor. Die Windschattenwirkung benachbarter Gebäude sollte jedoch ebenfalls in die Überlegungen einbezogen werden. Im allgemeinen werden Windkräfte als ruhende Flächenlast über die gesamte vom Wind beaufschlagte Fläche eingeführt; dagegen wird die dynamische Wirkung von Böen selten im einzelnen erfaßt; ebensowenig Stoßwirkungen, die zwar mit großer Heftigkeit, jedoch nur an eng begrenzten Flächen auftreten. Man setzt vielmehr die statische Belastung der gesamten beaufschlagten Fläche so hoch an, daß die dynamischen Wirkungen als miterfaßt gelten. Na-

türlich kann ein horizontal angreifender Staudruck, der die Standsicherheit des Bauwerks in seiner Gesamtheit keineswegs gefährdet, für die Bemessung der Glasstärke eines Aussichtsfensters viel zu gering angesetzt sein, wenn dieses zu einer Attikawohnung gehört. Es laufen zurzeit einige Meßreihen an besonders hohen Gebäuden, die sich auf die momentane Staudruckverteilung erstrecken. Anhand der Ergebnisse dürften sich verschiedene Fragen beantworten lassen, wie die nachstehenden: 1. Zusammenhang zwischen dem Staudruck auf Gebäude-Außenflächen und den in der Umgebung gemessenen Windgeschwindigkeiten; 2. Vergleich von Rechnung und Messung für die Seitenverschiebung und das Schwingungsverhalten von Gebäuden; 3. Zulässige Grenzen derartiger Bewegungen für Bauwerk und Menschen; 4. Ungefährre Werte für die Einspannwirkung von tragenden Wänden, Zwischenwänden und ähnlichen Bauteilen, die bei der statischen Berechnung häufig vernachlässigt oder nur durch Verringerung des Ansatzes für die Last je m^2 berücksichtigt werden.

Ähnliche Untersuchungen erstrecken sich auf die Erfassung von Kräften aus Erdbeben. Auch hier kommen in wachsendem Umfang Berechnungsverfahren zur Anwendung, welche dynamische Wirkungen berücksichtigen. Dabei kommen dann Faktoren ins Spiel wie die Formänderungsarbeit und die elastische Verformung eines Rahmentragwerks.

Darüber hinaus ist zu überlegen, welche bleibende Verformungen als noch zulässig anzusehen sind. Auf diesem Gebiet waren in letzter Zeit erhebliche Fortschritte zu verzeichnen, beim rechnerischen Ansatz wie bei Modellversuchen. Natürlich gehen die Ansichten noch auseinander, jedoch ist bereits jetzt ein beträchtlicher Schatz an Erfahrungen vorhanden, der nicht nur die Erdbebenkräfte selbst, sondern auch deren Auswirkung auf Rahmentragwerke und ihre für Bauwerk und Benutzer zulässige Größenordnung umfaßt.

Die Ansätze zur Erfassung sämtlicher Kräfte aus Eigengewicht, Verkehrslast, Schwingungen, Wind und Erdbeben reichen von allereinfachsten bis hin zu den raffiniertesten Verfahren, wobei häufig mehrere Wege gleichzeitig beschritten werden. Der Einsatz von Elektronenrechnern bietet die Möglichkeit, auch Matrices von außerordentlicher Kompliziertheit durchzurechnen. Andererseits kann man jedoch auch mit ziemlich einfachen Mitteln ein zweckentsprechendes Tragwerk entwickeln. Geht man mit solchen einfachen Mitteln nur an Systeme heran, die sich von bereits bewährten nicht wesentlich unterscheiden, so sind durchaus zuverlässige Ergebnisse zu erwarten. Als Hauptgesichtspunkte verbleiben dann nur die Rentabilität und der allgemeine Sicherheitsfaktor für das Bauwerk als Ganzes, das heißt die Reaktion beim Zusammenwirken widriger Umstände. Unumgänglich sind einfache Verfahren beim Entwurf des Grundskeletts, welches nachträglich mit genaueren Verfahren angegangen werden kann. So lassen sich zum Beispiel beim Einsatz von Elektronenrechnern außer den Durchbiegungen sogar die dadurch entstehenden Längsverformungen einzelner Bauglieder und ihr Einfluß auf die Verformung von Rechteckrahmen verfolgen. Vor zwei Dingen wäre allerdings zu warnen: 1. Mit

der Anzahl der einbezogenen Größen wachsen Arbeitsumfang und Fehlerquellen nach einer e -Funktion. Ein Computer wird mit einer Unzahl von Veränderlichen fertig, sofern er nur richtig programmiert wurde; so gut begabte Statiker haben Seltenheitswert. 2. Die säuberlich ausgedruckten Zahlenkolonnen verleiten dazu, daß man sich völlig auf den Computer verläßt. Für einen Ingenieur, der kein Programmierungsfachmann ist, bestehen jedoch erhebliche Schwierigkeiten, darauf zu achten, daß jeder Rechenschritt und jede Größe richtig eingegeben werden. Ebenso schwierig sind Feststellungen darüber, welche Größe das Ergebnis maßgeblich beeinflußt hat oder welche Entwurfsänderung das Ergebnis entscheidend günstiger gestalten könnte. Beim baustatischen Entwerfen spielen auch heute noch Kunst und Wissenschaft nahezu gleich große Rollen; und ein Computer, der automatisch Patentlösungen auswirft, existiert noch nicht.

Nähere Einzelheiten können in diesem allgemeinen Überblick nicht erörtert werden. Es ging vielmehr darum, einige bei allen Hochhäusern wiederkehrende Tatsachen herauszustellen. Dazu gehören auch künstlerische und wirtschaftliche Betrachtungen, statische Verfahren, Lastannahmen und schließlich die vom Menschen her gesetzten Grenzen. Im folgenden seien nun einige Betrachtungen angestellt, die speziell für Stahlbeton-Hochbauten gelten.

Zwischendecken gibt es in den verschiedensten Ausführungen: 1. Plattendecken; 2. Rippendecken; 3. Kassettendecken; 4. Platten mit kreuzweiser Bewehrung; 5. Platten mit einseitiger Bewehrung; 6. Hubdecken; 7. sonstige. Die Wahl der Deckenausführung hängt im wesentlichen von nachstehenden Faktoren ab: 1. Ausführung der Deckenunterseite; 2. Spannweite; 3. Belastung; 4. lichte Geschoßhöhe; 5. Gesamthöhe des Gebäudes.

Von erheblichem Einfluß ist die Ausbildung der Deckenunterseite. Eine kreuzweis bewehrte Scheibendecke ist von Haus aus wirtschaftlich, spart an Bauhöhe und läßt sich auch an sehr unregelmäßige Stützenstellungen anpassen. Sie ist dann angebracht, wenn die Versorgungsleitungen in senkrechten Schächten oder waagrechten Kanälen über den Verkehrswegen liegen und daher in den Nutzräumen keine Hängedecken erfordern. Dabei bleibt die Deckenunterseite, soweit angängig, freiliegend und wird lediglich mit Anstrich oder erforderlichenfalls mit Schalldämmplatten versehen. Sofern keine Querscheiben oder steife Rahmenecken vorgesehen sind, bedarf die Überleitung der Momente zwischen Scheibe und Stütze einer genauen statischen Berechnung, weil die Scheibe schwächer ist als die Stütze und weil die für die Momentenüberleitung mittragende Breite der Scheibe begrenzt ist. Häufig sind die Schubspannungen im Stützenbereich maßgeblich für die Bemessung der Stützeineinbindung in die Decke wie auch der Scheibenstärke. Ihr Einfluß auf die Scheibenstärke ist häufig größer als der der Biegebeanspruchung.

Plattenträgerdecken bleiben manchmal unverkleidet und werden lediglich mit Anstrich versehen. Die Schalungskosten sind für diese Bauweise bedeutend höher als für glatte Scheiben. Die Gebäudehöhe wird, wenn man einmal von

sehr großen Spannweiten absieht, um die Bauhöhe der Deckenträger größer, die Untersicht verliert wegen der Vielzahl der Träger an Aussehen. Freizügigkeit bei der Stützenstellung ist schwieriger zu erreichen als bei glatten Scheiben, die deshalb vielfach vorgezogen werden.

Rippendecken können als Scheiben aufgefaßt werden mit einer Bauhöhe von UK-Rippe bis OK-Fußboden, bei denen der gesamte Betonquerschnitt oberhalb der neutralen Faser für die Aufnahme der Druckkräfte aus positiv wirkenden Momenten zur Verfügung steht, während unterhalb der neutralen Faser nur der zur Aufnahme der Querkräfte und zur Abdeckung der Bewehrung unbedingt erforderliche Betonquerschnitt belassen wurde. Man spart somit nicht nur an Kosten für den Beton selbst, sondern verringert auch die Kräfte aus Eigengewicht, die über den Tragrahmen in die Fundamente einzuleiten sind. Wirtschaftlichkeit ist für diese Bauweise bereits bei 4–5 m Spannweite gegeben; eine Vergrößerung wirkt sich nur günstig aus, so daß selbst Spannweiten von 15 bis 20 m noch in zweckentsprechender und kostengünstiger Weise ausgeführt werden konnten. Die an sich sehr beträchtliche Kosteneinsparung wird allerdings durch den Aufwand für etwa erforderliche Hängedecken verringert, wenn nämlich die Vielzahl der dicht nebeneinander liegenden Rippen das Aussehen der Decke allzusehr beeinträchtigt. Die bei dieser Bauweise gegebene Möglichkeit großer Spannweiten führt häufig zu ähnlich großen Stützenabständen in Querrichtung. Dann ergeben sich für die Querträger Bauhöhen, die sich ohne Einbuße an lichter Geschoßhöhe nur schwer in den Architektenentwurf einbeziehen lassen.

Hier sei eine kurze Abschweifung gestattet: Es wird immer stillschweigend vorausgesetzt, daß die Baukosten von Hochhäusern abhängig sind von der Größe des umbauten Raumes. In erster Näherung trifft dies zu. Mit der Bauhöhe wachsen die Flächen von Außen- und Innenwänden an; Treppen, Aufzüge und Fahrzeiten werden länger, desgleichen Schächte und Führungskanäle für Versorgungsleitungen. Die lichte Geschoßhöhe von OK-Fußboden bis UK-Decke ist im allgemeinen durch Bauvorschriften festgelegt. Zur Bestimmung der Geschoßhöhe von OK-Fußboden bis OK-Fußboden ist die Deckenstärke hinzuzurechnen (von UK-Decke bis OK-Fußboden). Eine Deckenkonstruktion geringer Bauhöhe bringt daher nicht nur Material- und Kosteneinsparungen bei den Decken selbst mit sich, sondern ebenso bei sämtlichen eben erwähnten Bauteilen und anderem mehr. Kassettendecken weisen gegenüber glatten Scheiben mit kreuzweiser Bewehrung etwa die gleichen Unterschiede auf wie Rippendecken gegenüber massiven Scheiben mit einseitiger Bewehrung. Kassettendecken können als Scheiben ohne Längs- und Querträger ausgelegt werden. Die Stützen brauchen nicht unbedingt in den Achsenschnittpunkten angeordnet zu werden, jedoch wird diese Freizügigkeit dadurch erheblich eingeschränkt, daß auf die vorhandenen, wiederverwendbaren Schalungen Rücksicht genommen werden muß. Die kassettierte Deckenfelder können häufig als solche belassen werden. Falls allerdings aus anderen Gründen Hängedecken

benötigt werden, geht einiges an Wirtschaftlichkeit und lichter Bauhöhe verloren.

Bei der Hubdeckenbauweise werden zunächst lediglich Stützen und -verbände bis zur vollen Bauhöhe erstellt. Inzwischen können sämtliche Betonplatten mit entsprechenden Zwischenlagen am Boden übereinander liegend gefertigt werden, wobei alle Rohrleitungen, Kabel usw. mit einzugießen sind. Nach dem Abbinden werden die Platten innerhalb des bereits stehenden Skeletts gezogen und an den Einbaustellen auf Konsolen oder ähnlichem abgesetzt. Dadurch wird der Umfang der Schalungsarbeiten außerordentlich gering.

Glatte Scheiben mit kreuzweiser Bewehrung bilden bei Hochhäusern für Wohn- und Hotelzwecke nahezu die Regel, während Pilzdecken, gegebenenfalls unter besonderer Verstärkung der Stützen im Deckenbereich, zwecks Aufnahme besonders großer Momente hier nur äußerst selten zur Anwendung kommen. Letztere Bauweise ist dagegen häufiger bei Lagerhäusern und Fabrikgebäuden anzutreffen, bei denen infolge großer Lasten beträchtliche Momente auftreten.

Der Stützenquerschnitt selbst kann sehr unterschiedliche Form erhalten. In erster Linie bieten sich Quadrat-, Rechteck- und Kreisquerschnitte an, doch nehmen häufig L- und T-Querschnitte weniger Nutzfläche in Anspruch, weil sie sich gut in den Ecken von Zwischenwänden, Gängen und Leitungskanälen unterbringen lassen. Bei Spiralbewehrung erhalten die Stützen natürlich kreisförmigen Querschnitt. Spiralbewehrung kann zwar auch bei quadratischem Stützenquerschnitt Verwendung finden, doch wird gemäß der neuen ACI-Norm 318-63 die Bruchlast dadurch nicht so weit heraufgesetzt, daß sich die Mehrkosten der Spiralbewehrung gegenüber einer vergleichbaren Stütze mit Rechteckbewehrung bezahlt machen. Obwohl sich jeder Zuwachs an Nutzraum in Mark und Pfennig niederschlägt, werden Betonsorten hoher Festigkeit üblicherweise lediglich für die Stützen gewählt, die häufig in B 350, B 400 oder B 450 ausgeführt werden, während für die übrigen Bauglieder Festigkeiten von 250 bis 275 kg/cm² als ausreichend angesehen werden (Probezylinder 15 × 30 cm, 28 Tage Abbindezeit). Etwa ab 450–475 kg/cm² Festigkeit erfordert die Auswahl der Zuschlagstoffe erhebliche Sorgfalt. Mischen und Einbringen des Betons sind besonderen Kontrollmaßnahmen zu unterwerfen. Damit gelangt man rasch an die Rentabilitätsgrenze. Vorgefertigte Bauglieder aus Spannbeton erreichen heute bei Serienfertigung Festigkeiten von 700 kg/cm² und mehr. Das gilt jedoch nicht für Ortbeton. Schalungen aus Papptrohren oder Feinblechsektoren bieten für kreisrunde Stützen große Vorteile. Sie finden neuerdings auch bei Stützen mit quadratischem Querschnitt Verwendung. Für L- und T-Querschnitte nimmt man Schalbretter oder Sperrholz. Untergeordnete elektrische Leitungen werden in die Stützen eingebettet. Bei der Berechnung bleiben dünne Adern unberücksichtigt, und erst für stärkere Leitungen ist eine entsprechende Querschnittsminderung vorzunehmen.

Im Hinblick auf die architektonische Wirkung läßt man heute die Außenstützen sich deutlich gegen die Fassade abzeichnen. So bleibt mindestens *eine*

Oberfläche von Außenstützen dem Wetter, insbesondere dem Frost ausgesetzt, während auf die innen liegenden Stützregionen normale Raumtemperaturen einwirken. Damit gewinnt die Frage nach dem Temperaturverlauf im Stützenquerschnitt Bedeutung. Auf den ersten Blick wird man erhebliche Temperaturspannungen erwarten, doch zeigt sich bei näherer Betrachtung, daß diese nach den bisherigen Erfahrungen nicht durchschlagen. Über Fundamente wurde bereits gesprochen. Gründungsschwierigkeiten treten etwa in gleichem Umfang bei Stahl- wie Stahlbetonbauten auf. Gegenüber der Behauptung, das geringere Eigengewicht von Stahlbauten vereinfache die Fundamentenausbildung, insbesondere bei schlechten Bodenverhältnissen, haben neuere Untersuchungen für beide Bauweisen ergeben, daß dem Einfluß des Eigengewichts längst nicht die ihm zugeschriebene Bedeutung beizumessen ist.

Bei vielen neueren Hochhäusern ersetzt man heute die Außenstützen durch tragende Außen- und Zwischenwände aus Ort beton oder vorgefertigten Feldern, manchmal auch durch genormte Einheiten aus Mauerwerk, die auf der Baustelle in Mörtel verlegt werden. Weil manche Bauvorschriften ohne besondere Berücksichtigung derartiger tragender Wände aufgestellt wurden, enthalten sie für deren Bemessung lediglich empirische Formeln, die zwar hinreichend sichere, aber doch nur grob angenäherte Werte liefern. Eine genaue Berechnung derartiger Wände und Wandfelder ist jedoch erst durchführbar, wenn die jetzt noch im Versuchsstadium befindlichen neuen Bauweisen Berechnungsgrundlagen ergeben haben, die den bei anderen Baugliedern verwendeten nicht nachstehen.

Eine interessante Abwandlung besteht darin, zunächst alle tragenden Wände mit Gleitschalungen zu errichten, wie sie vom Silobau her bekannt sind, und die Zwischendecken nachträglich einzuziehen. Derartige Wandflächen können des öfteren ohne Beeinträchtigung des Aussehens als Sichtbeton verbleiben. Steckdosen, Schalter und elektrische Einrichtungen können vor dem Einbringen des Betons und dem schrittweisen Ziehen der Gleitschalung angebracht werden. Wandpfeiler, Nischen, Falze und ähnliche Vorsprünge oder Einschnitte bilden Teile der Schalungskontur, die darum, soweit irgend angängig, durchlaufend für sämtliche Geschosse beibehalten werden sollte. Vorzusehen sind ferner die für den späteren Einbau der Zwischendecken erforderlichen Aussparungen. Dieser Einbau sollte der Schalung mit etwa zwei bis höchstens drei Geschoßhöhen Abstand folgen, damit die Decken als Verbände wirken.

Bis jetzt haben vorgefertigte Wandfelder in Europa eine wesentlich größere Verbreitung gefunden als in Nordamerika, hauptsächlich wegen der dort gegebenen wirtschaftlichen Überlegenheit, zum Teil aber auch wegen des Interesses und des handwerklichen Könnens, das die Baufirmen für dieses Verfahren aufbrachten.

Es wurde bereits erwähnt, daß Zuschlagstoffe mit niedrigem spezifischem Gewicht das Eigengewicht eines Tragrahmens herabsetzen, ebenso auch die Abmessungen tragender Wände, Stützen und Fundamente. Derartige Zuschlag-

stoffe sind in den USA weit verbreitet, in etwas geringerem Umfang in Gegen-
den, die über gute Natursteinvorkommen verfügen. In den meisten anderen
Ländern ist ihre Verwendung noch recht selten.

Teil II

Im Teil II der vorliegenden Arbeit geben die Verfasser einen Überblick über die ihrer Ansicht nach im Hochhausbau wichtigsten drei Fragenkreise. Eine ausführliche Durchsprache wäre sehr erwünscht, schon, um daraus Ansatzpunkte für zukünftige Forschungsarbeiten zu gewinnen. Es sind dies:

1. Einfluß der Last aus Wind.
2. Einfluß der Schrumpf- und Kriechvorgänge sowie der Temperaturschwankungen.
3. Ausbildung und Verhalten weitgespannter Decken unter besonderer Be-
rücksichtigung der Durchbiegungs- und Schwingungsverhältnisse.

Diese drei Hauptgebiete enthalten jeweils mehrere Teilgebiete, auf denen bisher wissenschaftliche Untersuchungen überhaupt nicht oder doch nur in geringem Ausmaß vorgenommen wurden. Wahrscheinlich sind jedoch die bisher beschrittenen Wege nicht mehr länger gangbar, weil eben im Hochhausbau Änderungen grundsätzlicher Art eingetreten sind. Kurze Beiträge über diesen grundsätzlichen Wandel wären sehr zu begrüßen. Die Verfasser möchten in erster Linie den Wandel herausgestellt sehen, der sich, schon beim Architekten, durch den Übergang von gewichtigen, stabilen Außen- und Zwischenwänden zu Leichtbauweisen ergibt, welche zur Erhöhung der Steifigkeit eines Bauwerks wenig oder nichts beitragen. Bei modernen Hochhäusern sind sämtliche Horizontalkräfte ausschließlich vom Rahmentragwerk selbst aufzunehmen. Dabei tritt zu den alten Anforderungen nach Sicherheit gegen Einsturz und nach Gefahrlosigkeit für Leib und Leben noch die Forderung hinzu, daß Schwingungen und andere Bewegungen in einer Größenordnung bleiben, die für die Benutzer keine Belästigung darstellen und keine Schäden an Verglasungen, Zwischenwänden aus Leichtbaustoffen und anderes mehr hervorruft.

Die Forderung nach großen, nicht von Stützen unterbrochenen Nutzflächen hat im Hochhausbau zu einer ständigen Erweiterung der Stützenabstände geführt. Von besonderem Interesse sind daher Deckenbauweisen, die in modernen Bauten die Anwendung großer Spannweiten ohne unerwünschte Nebenerscheinungen gestatten.

Neuere Außenwandbauweisen und die Einbeziehung tragender Bauteile in die künstlerische Gestaltung der Außenflächen hat insbesondere bei Hochhäusern in Stahlbeton dazu geführt, daß heute das Haupttragwerk völlig oder teilweise der Witterung ausgesetzt bleibt. Auf die freiliegenden Bauglieder wirken somit fortwährend die täglichen und jahreszeitlichen Temperaturschwankungen ein, wogegen die sonstigen angeschlossenen Bauglieder eine nahezu gleichblei-

bende Temperatur behalten. Infolgedessen muß hier der Konstrukteur sein besonderes Augenmerk auf Temperaturspannungen und -dehnungen richten. Er darf sich dabei nicht auf Sicherheitsüberlegungen beschränken, sondern muß auch die sonstigen Nebenwirkungen einbeziehen.

Bei den zu besprechenden Fragen handelt es sich keinesfalls um nur theoretisch mögliche, unwahrscheinliche Schwierigkeiten, als vielmehr um Fragen, denen man in der Praxis immer wieder begegnet; einer Erfahrung, die nicht nur die Verfasser, sondern auch andere Ingenieure gemacht haben. So hätten zum Beispiel Fälle, in denen bereits fertiggestellte Bauten nachträglich verstärkt beziehungsweise abgeändert werden mußten, schon im Entwurfsstadium günstiger ausgelegt werden können. Bei näherer Untersuchung solcher Fälle stellte sich meistens heraus, daß die Ausgangsdaten, Meß- und Erfahrungswerte für die eindeutige klare Lösung des jeweiligen Problems nicht ausreichten.

Der erste Komplex «Einfluß der Last aus Wind» umfaßt Teilgebiete, die mit der Ermittlung der tatsächlich während der Lebensdauer eines Bauwerks für einen bestimmten Standort auftretenden Windgeschwindigkeiten beginnen. Am Ende einer langen Reihe stehen dann Feststellungen über die Auswirkung des Durchbiegungs- und Schwingungsverhaltens auf den Menschen, und zwar in psychischer und physiologischer Hinsicht. Hierher gehören folgende Teilgebiete:

1. Wetterkundliche Untersuchungen zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit innerhalb und in der Umgebung von Städten, und zwar vom Erdboden bis zu etwa 2000 ft. = 670 m Höhe.
2. Auswertung der aus der Vergangenheit bereits vorliegenden Wetterdaten in möglichst weitem Umfang.
3. Ausrüsten bestehender Hochhäuser mit den nötigen Meßgeräten und Zusammentragen von Wetterdaten für ausreichend lange Zeiträume. Dazu gehören auch Geräte zur Messung der Staudruckverteilung und zur Ermittlung des Bauwerksverhaltens bei aerodynamischer Beanspruchung, wie Drift, Schwingungsfrequenz und anderes mehr.
4. Gegenüberstellung der aus den Meßreihen gemäß Punkt 3 gewonnenen Daten mit den Ergebnissen von Modellversuchen, die an einer Nachbildung des vorhandenen Bauwerks einschließlich der Bebauung des umgebenden Geländes vorzunehmen sind.
5. Entwicklung dynamischer Rechenverfahren zur Bestimmung der Verschiebung (Drift), wenn statt des herkömmlich angesetzten statischen Winddruckes die tatsächlich herrschenden Windverhältnisse eingeführt werden.
6. Untersuchung der psychischen und physiologischen Auswirkungen der tatsächlichen Baudrift gemäß Punkt 3.
7. Untersuchung des aerodynamischen Verhaltens von Betonbauten verschiedener statischer Systeme und Gegenüberstellung der Ergebnisse mit an Stahlbauten gewonnenen Daten.
8. Untersuchung des tatsächlichen aerodynamischen Verhaltens im Hinblick auf die Lärmerzeugung sowie Rißbildung in Wänden und Decken.

9. Berechnungsverfahren für Außen- und Zwischenwände, die den gestellten Forderungen auch bei aerodynamischer Beanspruchung des Bauwerks genügen.

10. In bestimmten Baugliedern können unter Windlast Wechselspannungen auftreten. Wünschenswert wären daher Arbeiten, die eine genaue Vorausberechnung der Wechselspannungen nach Anzahl und Größe erlauben, und zwar für die Gesamtlebensdauer eines Bauwerks. Damit könnte das Gebiet der für Form- und Bewehrungsstäbe erforderlichen Dauerfestigkeit genauer untersucht werden. Hierbei wären Arbeiten über die Vorausberechnung der tatsächlichen Verkehrslasten einzubeziehen, weil ja für die Berechnung der zu erwartenden Wechselspannungen nach Zahl und Größe die Überlagerung der effektiven Verkehrslasten und effektiven Windlasten während der Gesamtlebensdauer eines Bauwerks den ausschlaggebenden Faktor bildet. Ferner sind die durch Wind und sonstige Kräfte hervorgerufenen Schwingungen zu beachten, die zu Dauerbrüchen führen können.

Im Rahmen des zweiten Hauptthemas «Einfluß der Schrumpf- und Kriechvorgänge sowie der Temperaturschwankungen» wäre die Behandlung nachstehender Teilgebiete vorzuschlagen:

1. Rechenverfahren zur Bestimmung des Temperaturverlaufes in Bauteilen, die völlig oder teilweise Temperaturschwankungen ausgesetzt sind.

2. Ausrüsten bestehender Bauten mit den benötigten Meßgeräten und Gewinnung von Meßwerten zwecks Überprüfung des Geltungsbereichs der nach Punkt 1 entwickelten Verfahren.

3. Entwicklung von Verfahren zur exakten Berechnung der durch Schrumpfen, Kriechen und Temperaturschwankungen verursachten Spannungen und Verformungen.

4. Ausrüsten bestehender Bauten mit den benötigten Meßgeräten und Gewinnung von Meßwerten zwecks Überprüfung des Geltungsbereichs der nach Punkt 3 entwickelten Verfahren.

5. Untersuchung und Weiterentwicklung von Bauweisen für Außen- und Zwischenwände, mit dem Ziel, einwandfreie Funktion auch bei Bauten sicherzustellen, die Kriech-, Schrumpf- und Temperatureinflüssen unterliegen.

6. Entwicklung von Anschlüssen und Einzelbauteilen mit dem Ziel, einwandfreie Funktion auch bei Temperaturschwankungen ganz oder teilweise freiliegender Bauglieder sicherzustellen.

Im Rahmen des dritten Hauptthemas «Ausbildung und Verhalten weitgespannter Decken...» wäre die Behandlung nachstehender Teilgebiete vorzuschlagen:

1. Untersuchung bestehender Bauten mit weitgespannten Decken. Dabei wären festzustellen:

- a) Einfluß der Durchbiegung auf Zwischenwände und Fußbodenbeläge.
- b) Psychische und physiologische Auswirkung der durch Benutzer, maschinelle Einrichtungen und Wind angeregten Schwingungen und sonstigen Bewegungen von Zwischendecken.

c) Geräuschkämpfung durch Zwischenwände, Möblierung, Fensternischen usw.

2. Auswertung der nach Punkt 1 gewonnenen Ergebnisse und Aufbau zweckdienlicher Theorien und Verfahren zur Erfassung etwaiger Probleme des Schwingungsverhaltens, sowie Erarbeitung von Wegen zu deren Lösung.

3. Festlegung von Kenngrößen für zweckdienliche Deckenbauweisen, die nicht nur den üblichen Sicherheitsanforderungen gerecht werden, sondern darüber hinaus auch im dynamischen Verhalten keine unerwünschten Nebenerscheinungen zeigen.

4. Entwicklung völlig neuer Deckenbauweisen ausschließlich für Hochhausbauten. Die Voraussetzungen dafür bilden Einfallsreichtum und erfinderische Begabung.

Nach Ansicht der Verfasser werden zwar viele ältere und manche moderne Hochhäuser den gestellten Anforderungen gerecht, nicht allerdings, weil Ansätze und Verfahren exakt gewesen wären, als vielmehr einfach deshalb, weil Horizontal- und Vertikallasten in altbewährter Form angesetzt wurden, und weil die Außen- und Zwischenwände die Steifigkeit des Grundrahmens um 200% bis 300% heraufsetzten. Kurz gesagt: Wir haben aus reiner Gewohnheit in erheblichem Ausmaß Irrtümer mit verbaut, glücklicherweise nach der sicheren Seite hin. Dadurch blieben allerdings echte Schwierigkeiten ebenso verborgen wie die Wege, auf denen sie zu umgehen wären. Mag ein solches Vorgehen auch bei den in der Vergangenheit errichteten Bauten zum Erfolg geführt haben, so sollten wir uns doch nicht darauf verlassen, daß dies bei den jetzt und in naher Zukunft zu erstellenden Neubauten verschiedenster Art ebenso der Fall sein wird. Vordringlich ist eine Anhebung des Standes der Technik. Das aber setzt ein klares Herausarbeiten der anstehenden Fragen voraus; ferner müssen Meß- und Beobachtungswerte an bereits bestehenden modernen Bauten zusammengetragen und ausgewertet werden. Wir brauchen neue theoretische und praktische Verfahren. Und schließlich müssen auch die geltenden Bauvorschriften immer wieder den aus jüngeren Erfahrungen gewonnenen Erkenntnissen angepaßt werden.