Berücksichtigung der Temperatureinflüsse bei der Projektierung der Tragkonstruktion von Hochbauten

Autor(en): **Jauslin, Werner**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **80 (1962)**

Heft 22

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-66167

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Dabei konnten allerdings die Engländer und die Deutschen, deren Staaten dem Sudan verschiedene grosse Kredite gewährten, auf eine tatkräftige behördliche Unterstützung zählen, während die Schweiz bis vor kurzem mit dem Sudan keine diplomatischen Beziehungen unterhalten hatte. Mit der Ernennung eines schweizerischen Geschäftsträgers im Oktober letzten Jahres ist zu hoffen, dass sich aus diesen zwischenstaatlichen Beziehungen Hilfeleistungen an ein Land ergeben, das unser Vertrauen restlos verdienen würde. Es sind nicht nur das Geld und die Erzeugnisse der Industrie, welche die aufstrebenden Länder Afrikas interessieren; sie erwarten vielmehr einen von Wohlwollen getragenen menschlichen Kontakt ohne «imperialistische» Nebenabsichten und den Austausch von Erfahrungen in Form von Beratungen auf allen Gebieten der Technik. In diesem Sinne noch mehr zu tun, wäre eine Aufgabe der Schweiz, wobei allerdings für grössere Projekte eine finanzielle Unterstützung durch Gewährung langjähriger Kredite von Seiten des Staates oder der Banken aus Gründen der Konkurrenz wünschenswert wäre.

Berücksichtigung der Temperatureinflüsse bei der Projektierung der Tragkonstruktionen von Hochbauten

DK 624.92:624.042.5

Von **Werner Jauslin**, dipl. Ing. ETH, Gebrüder Gruner, Ingenieurbureau, Basel und Gruner & Jauslin, Ingenieure S. I. A., Muttenz

1. Einleitung

Für den Bauingenieur unterscheiden sich die Hochbauten (Wohn- und Verwaltungsgebäude, Industriebauten usw.) vor allem dadurch von den eigentlichen Ingenieurbauten, dass die Tragkonstruktion — und damit der engere Aufgabenkreis des Ingenieurs — gegenüber den andern Anforderungen an das Bauwerk zurückzutreten hat. Die Tragkonstruktion bestimmt nicht wie bei Brücken, Staudämmen, Leitungen usw. die Form oder die Konzeption des Bauwerkes. Vielmehr hat sie im Rahmen der andern Bedürfnisse: Innenräume, Verbindungs- und Transporteinrichtungen, Installationsanlagen für Heizung, Lüftung, Energie, Betriebsanforderungen usw. ihre Funktion zu erfüllen. Deshalb kann die Zweckmässigkeit oder Wirtschaftlichkeit der Tragkonstruktion eines Hochbaues nicht für sich allein beurteilt werden.

Die Beurteilung aller Einzelfragen ist nur noch bei ganz alltäglichen Bauten durch einen einzigen Fachmann möglich. Immer mehr ergibt sich, dass die Projektierung von Hochbauten in einer engen Zusammenarbeit der verschiedenen beteiligten Fachleute erfolgen muss. Ueblicherweise fällt dem Architekten die Aufgabe zu, diese Gruppe von Fachleuten zu leiten, als «Regisseur» zu wirken, zu koordinieren, Entscheide zu fällen und den Kontakt mit dem Bauherrn zu wahren. Verschiedentlich übernehmen aber auch andere Instanzen diese Aufgabe (zum Beispiel Betriebswissenschafter, Planungsbüro usw.). Dem Bauingenieur fällt in diesem Teamwork die Aufgabe zu, in Abwägung der Bedürfnisse und Möglichkeiten die Tragkonstruktion statisch und konstruktiv einwandfrei zu konzipieren. Sein Aufgabenkreis vergrössert sich ständig, da die Zahl der verwendbaren Baumaterialien, der Bauweisen und der möglichen Bauformen wächst, da die ästhetischen Anforderungen an die Bauten steigen und da er sich oft zwangsläufig mit Nebenteilen wie Fassaden, Isolationen, Belägen usw. befassen muss, weil diese indirekt die Tragkonstruktion beeinflussen.

Früher war es wohl möglich, einen Bau zu erstellen und ihn nachträglich mit den notwendigen Installationen zu versehen. Heute kommt den Installationen (Heizung, Lüftung, Sanitär, Beleuchtung, Energie) die Priorität zu, einerseits, weil ihre Zahl und Bedeutung zugenommen hat, und anderseits, weil sie nirgens sichtbar sein sollten. Die Tragkonstruktion sollte sich mit dem zwischen Nutzräumen und Installationen verbleibenden Raum begnügen.

Aus dieser Sicht ergibt sich, dass der Bauingenieur sich mit allen auftretenden Fragen eines Hochbaues befassen und die gesamten Probleme kennen muss, um die geeignete Tragkonstruktion projektieren zu können.

Es zeigt sich aber auch, dass die Gestaltung der Konstruktion vielfältiger wird. Dadurch, dass die Tragkonstruktion nicht mehr losgelöst vom fertigen Bau beurteilt werden kann, kommt man oft zu neuen Lösungen, neuen Formen und Systemen. Dies wiederum bedingt, dass in jedem Fall mit der eigentlichen statischen Dimensionierung auch die Nebeneinflüsse beurteilt werden müssen: Die materialtechnischen Eigenschaften der Baustoffe, die Bauvorgänge, das Verhalten unter den betrieblichen Anforderungen, die Auswirkungen von Alterung und äusseren Einflüssen.

Im folgenden soll an Hand von einigen Beispielen und Ueberlegungen auf die Berücksichtigung der Einflüsse von natürlichen Temperaturschwankungen eingegangen werden.

2. Problemstellung

Bekanntlich führen die Temperaturänderungen in den Baumaterialien zu Längenänderungen. Für Beton und Stahl beträgt die Dehnung 0,00001 pro 1° C, das heisst 1 mm auf eine Länge von 10 m bei 10° C Temperaturdifferenz. Ist die freie Auswirkung dieser Längenänderungen behindert, so entstehen «innere Spannungen», welche zu grossen Gesamtkräften anwachsen können.

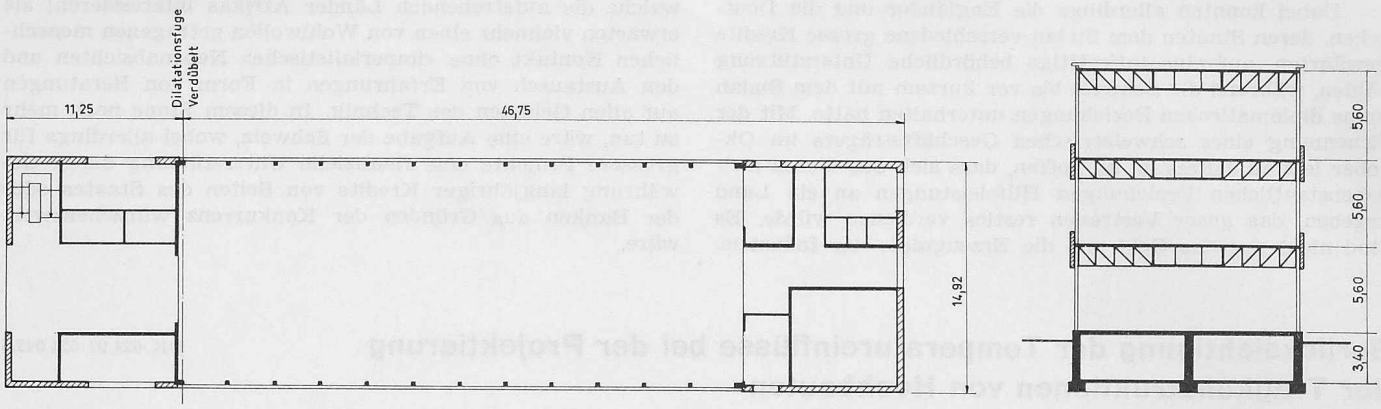
Die Aussentemperatur erreicht zum Beispiel in Basel die Extremalwerte + 39° C im Sommer und — 24° C im Winter. Während einerseits unter Sonnenbestrahlung höhere Temperaturen im Material auftreten können, bewirken grosse Massen und schlechte Leitfähigkeit der Baumaterialien eine Verflachung der Temperaturspitzen. Je nachdem sind die Mittelwerte aus einigen Stunden, Tagen oder Wochen für die Temperaturaufnahme massgebend. Die extremen Monatsmittel, als Durchschnitt über 30 Jahre, betragen zum Beispiel in Basel nur + 18,7° C im Sommer und + 0,1° C im Winter.

Die Auswirkungen von Temperaturschwankungen sind bei Bauwerken immer zu berücksichtigen, sei es als Differenz zwischen isolierender Aussenhaut und Tragkonstruktion, sei es in der Auswirkung der Dehnungen von tragenden Bauelementen. Auch bei gut isolierten und klimatisierten Bauten treten Schwankungen auf, zumindest im Bauzustand und in Ausnahmezuständen. Oft ist der Einfluss nur indirekt, zum Beispiel hervorgerufen durch die Aenderung des Feuchtigkeitsgehaltes von Luft und Material infolge der sich ändernden Aussentemperatur.

Da die Tragkonstruktion den andern Bedürfnissen untergeordnet ist, wird es nur in den seltensten Fällen gelingen, die temperaturbedingten Dehnungen, das «Temperaturspiel», sich frei auswirken zu lassen. Wände, Treppenhäuser, Liftschächte oder ähnliche betrieblich bedingte Bauteile können die Bewegungen nicht mitmachen. Sie zerreissen oder setzen so grosse Widerstände entgegen, dass andere Bauteile überansprucht werden. Obgleich wegen der Temperatureinflüsse eine gewisse Beweglichkeit aller Bauteile wünschbar ist, muss gleichwohl die Steifigkeit und Standfestigkeit des Gebäudes gewährleistet sein. Wenn auch nach den S. I. A.-Normen nur mit Windlasten als horizontalen Kräften zu rechnen ist, so ist doch auch zu berücksichtigen, dass andere Wirkungen, zum Beispiel kleinere Erdstösse, auftreten können. Aus den sich widersprechenden Anforderungen: gute Steifigkeit einerseits und Beweglichkeit zur Ermöglichung des «Temperaturspiels» andererseits, erwächst die eigentliche Problemstellung.

3. Auswirkungen in der Horizontalen; Dilatationsfugen

Dass bei Bauten mit Ausdehnungen von über 20 bis 30 m Dilatationsfugen notwendig sind, ist eine allgemein bekannte Tatsache. Praktisch ist es jedoch nicht möglich, generell anzugeben, bis zu welcher Bauabmessung keine Dilatations-

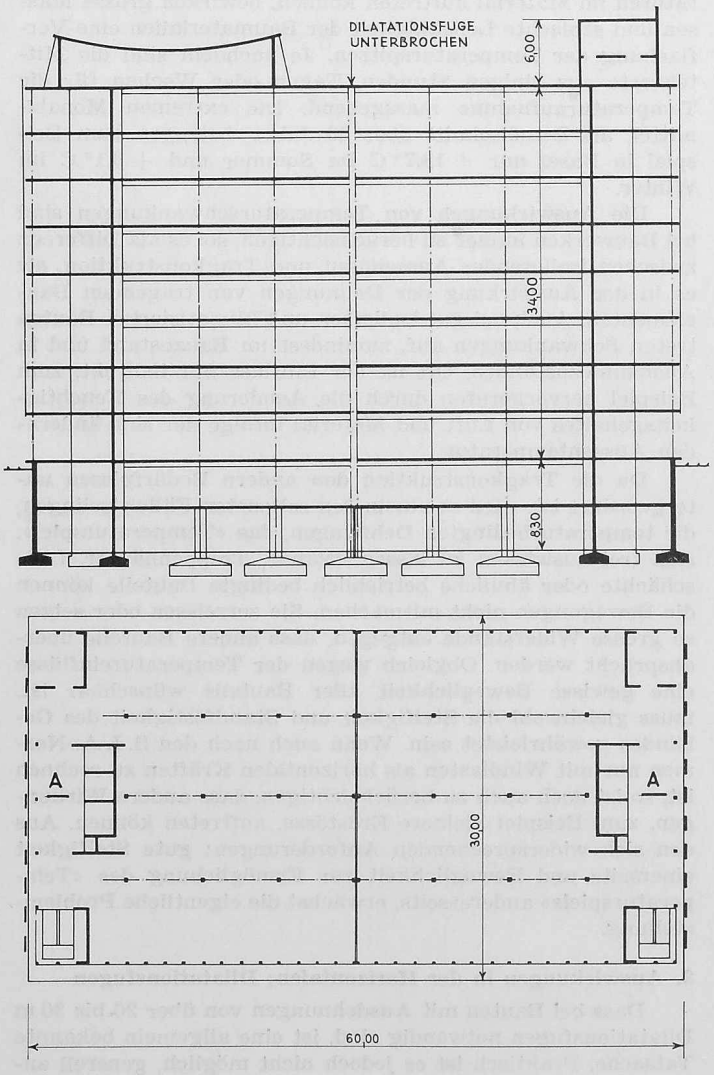


Bilder 3 und 4. Stahlskelettbau zwischen massiven Kopfbauten. Masstab 1:500.

fugen ausgeführt werden müssen. In jedem Fall sind der Aufbau der Konstruktion, die Möglichkeit der freien Auswirkung der Längenänderungen, die Grösse der massgebenden Temperatureinflüsse und die allgemeinen vom Betrieb gestellten Anforderungen zu berücksichtigen.

Im folgenden soll nicht darauf eingegangen werden, dass Dilatationsfugen notwendig sein können, um verschiedenen Setzungserwartungen, bedingt durch die Bodenverhältnisse oder durch ungleiche Baukuben, Rechnung tragen zu können oder um das Schwinden des Betons zu ermöglichen.

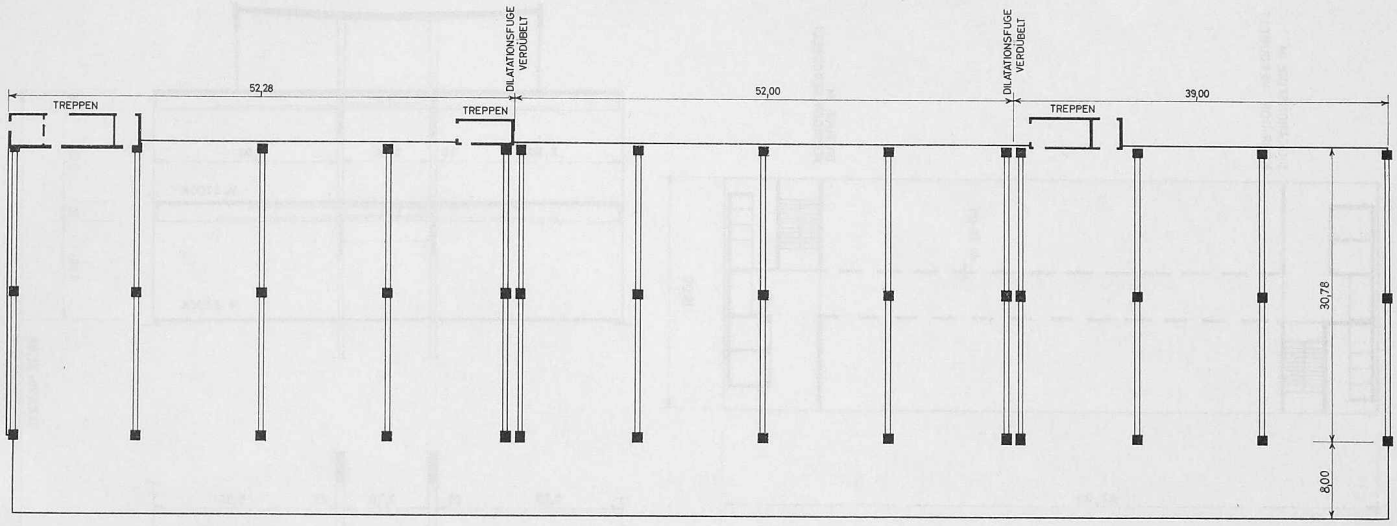
Beispiel 1 (Bilder 1 u. 2). In diesem mehrgeschossigen Fabrikationsgebäude wirkt der Kern, bestehend aus Treppenhäusern, Liftschächten und Leitungskanälen, als Aussteifung des Gesamtbaues. Er ist in armiertem Beton ausgeführt, während die beidseitigen Hauptteile als Stahlkonstruktion erstellt wurden. Die betonierten Decken übertragen als Scheiben die horizontalen Kräfte auf den Kern, der auf Verbiegen und Verdrehen beansprucht wird. Trotz der Gesamtmasse von rund 36 m auf 51 m konnte auf die Anordnung von Dilatationsfugen in der Tragkonstruktion verzichtet werden. Die Aussenhaut, eine Fassade aus vorfabrizierten Betonelementen, die sich auf Fluchtbalkone abstützen, ist so beweglich mit der Tragkonstruktion verbunden, dass sie sich frei horizontal bewegen kann. Acht vertikale Fugen in der Fassade nehmen die Differenzen der Längenänderungen zwischen dieser und der Konstruktion auf. Allerdings mussten beim Betonieren durch den ganzen Keller Baufugen offen gelassen werden, um dem Schwinden des Betons Rechnung zu tragen.

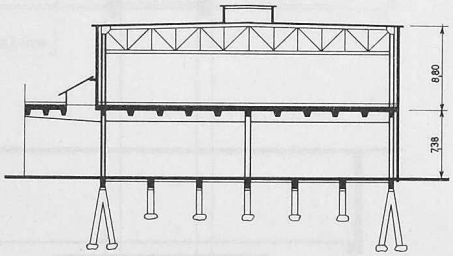


Bilder 5 und 6. Lager- und Fabrikbau, Masstab 1:700

Beispiel 2 (Bilder 3 u. 4). Analog wie im Beispiel 1 sind auch in diesem Bau die Treppenhäuser, Liftschächte und Nebenräume mit betonierten und gemauerten Wänden als aussteifende Elemente verwendet worden. Der Haupttrakt zwischen diesen Kopfbauten ist in Stahlskelett mit Fachwerkträgern im Verbund ausgeführt. Während jedoch im ersten Beispiel die Längenänderung von der Mitte aus möglich ist, würden sich hier die Kopfbauten jeder Längenänderung entgegenstellen. Deshalb war es notwendig, den Mittelteil mindestens einseitig von den Kopfbauten zu trennen. Um jedoch deren Steifigkeit ausnützen zu können, wurde die Fuge so ausgebildet, dass zwar eine Längsverschiebung möglich ist, dass aber die Kräfte in der Querrichtung übertragen werden können. Die Deckenplatten stützen sich so wiederum als liegende Scheiben auf die Kopfbauten.

Beispiel 3 (Bilder 5 u. 6). Theoretisch liegen die Verhältnisse in diesem mehrgeschossigen Lager- und Fabrikationsgebäude gleich wie im vorhergehenden Beispiel. Die Dilatationsfuge entlang einem Kopfbau zu führen, war praktisch jedoch nicht durchführbar. Die Fuge musste in der Mitte des Gebäudes angeordnet werden. Unter horizontalen Lasten, vor allem bei Windlast, werden nun die Kopfbauten durch die Deckenscheiben auf Verdrehen beansprucht. Infolge der grossen Gebäudehöhe führt dies zu grossen Torsionsspannungen in den Wänden dieser Kopfteile. Um diese Verhältnisse zu verbessern, wurde die oberste Decke auf die ganze Länge biegesteif ausgebildet. Die Dilatationsfuge ist von den Fundamenten bis unter die oberste Decke geführt, dort aber unterbrochen, damit eine durchgehende liegende Scheibe entsteht, in welcher die Kopfbauten gegen Verdrehen gehalten sind. Dadurch sind diese nicht nur im Keller, sondern auch oben fixiert, was zu wesentlich geringeren Torsionsbeanspruchungen führt. Diese paradox erscheinende Ausbildung der Dilatationsfuge ist möglich, weil die Kopfbauten infolge ihrer grossen Höhe so schlank sind, dass sie die Verbiegungen mitmachen können, welche die Längenänderungen der obersten Decke hervorrufen. Während sich in den unteren Geschossen die Längenänderungen gegen die Dilatationsfuge hin auswirken, addieren sie sich in der obersten Decke gegen die Kopfbauten hin und verbiegen diese. Das ganze Tragsystem des Gebäudes ist übersichtlich, setzt jedoch gleiche Setzungen beider Gebäudehälften voraus.





Bilder 7 u. 8. Zweigeschossiger Hallenbau, Grundriss und Schnitt 1:800

Beispiel 4 (Bilder 7. u. 8). An diesem zweigeschossigen Hallenbau wird die allgemeine Tendenz, vorhandene, aus betrieblichen Anforderungen notwendige Bauelemente zur Aussteifung eines Gebäudes heranzuziehen, besonders deutlich. Die seitlich angeordneten Treppenhäuser dienen als «Windböcke», auf die sich die Betondecken der Stahlkonstruktion abstützen. Wie im Beispiel 2 sind die Fugen so ausgebildet, dass sie zwar Längsverschiebungen ermöglichen, gleichzeitig aber horizontale Querkräfte aufnehmen können. Die Deckenplatten wirken wiederum als liegende Scheiben, welche ähnlich wie ein Gerberträger arbeiten.

Ueberblick. Bei allen angeführten Beispielen sind die notwendigen Fugen so angeordnet, dass die durch Transport- und Verbindungswege erforderlichen steifen Elemente als Gebäudeaussteifung herangezogen werden können. Es hat sich gezeigt, dass diese Ausführungsart zweckmässig und vorteilhaft ist. Theoretisch wäre es ohne weiteres möglich, die Fugen beliebig zu legen und durch die Ausbildung von biegungssteifen Querrahmen die notwendige Steifigkeit zu erreichen. Die dazu meist erforderlichen Eckversteifungen, die stärkeren Stützen und die wechselnden Beanspruchungen in den Riegeln ergeben jedoch architektonisch und wirtschaftlich ungünstigere Verhältnisse. Bei eingeschossigen Hallen ist die Ausführung mit quersteifen Rahmen (Dreigelenkbinder, eingespannte Stützen) meist unumgänglich, aber schon bei der Halle, die Beispiel 4 zeigt, war die Heranziehung der Treppenhäuser günstiger. Alle Fugen sind mit Doppelstützen oder -Wänden ausgeführt. Gelenkige Auflager, wie sie ein eigentlicher Gerberträger erfordert, oder auch die Auflagerung auf Konsolen sind im Hochbau nicht zu empfehlen, weil sie sich selten sauber gestalten lassen.

Dass alle angeführten Beispiele Stahlskelettbauten darstellen, ist eher zufällig. Allerdings zwingt die Eigenschaft des Schwindens dazu, bei Betonbauten Betonierfugen vorzusehen, die während einiger Zeit offen gelassen werden müssen. Zur Vereinfachung des Bauvorganges werden diese oft durch eigentliche bleibende Dilatationsfugen ersetzt. Zudem werden bei Betonbauten die Einzelelemente in der Regel steifer, weil sie grössere Dimensionen erfordern. Beides führt dazu, Dilatationsfugen in kleineren Abständen anzuordnen, was um so eher möglich ist, als die biegesteife Verbindung der an sich schon schwereren Betonkonstruktionen bewirkt, dass oft ohne zusätzliche Wände eine genügende Aussteifung erreicht wird. Die prinzipiellen Ueberlegungen bleiben sich jedoch gleich. Sie lassen sich an Stahlkonstruktionen besser illustrieren. Beim Bau mit Fertigelementen ergeben sich ganz allgemein die gleichen Verhältnisse.

4. Auswirkungen in der Vertikalen, Hochhäuser

In der theoretischen Erfassung von temperaturbedingten Längenänderungen bestehen natürlich keine Unterschiede zwischen vertikalen und horizontalen Dehnungen. Wenn sich die Temperaturen aller vertikalen Tragelemente gleichmässig ändern, entstehen in der Vertikalen keine Schwierigkeiten, weil sich das Wachsen oder Schrumpfen eines ganzen Baues ungehindert auswirken kann.

Dagegen wirken sich Temperaturdifferenzen in verschiedenen vertikalen Tragelementen des gleichen Horizontalschnittes bei zunehmender Bauhöhe stark aus. Fugen analog den vorher behandelten Dilatationsfugen sind bei hohen Gebäuden nur in vertikal nichttragenden Elementen möglich. Deshalb muss den Temperatureinflüssen bei der Projektierung von Hochhäusern besonders sorgfältig Rechnung getragen werden. Das «Höherbauen» bringt verschiedene Probleme, die bei den üblichen Gebäudehöhen vernachlässigt werden konnten.

Grundlegend können drei verschiedene Ausführungsarten unterschieden werden: 1. Ganze vertikale Tragkonstruktion isoliert, also im «Innenklima». 2. Ganze vertikale Tragkonstruktion nicht isoliert, im «Aussenklima». 3. Vertikale Tragkonsltruktion teilweise im «Aussen-, teilweise im «Innenklima».

4.1 Ganze Tragkonstruktion im «Innenklima»

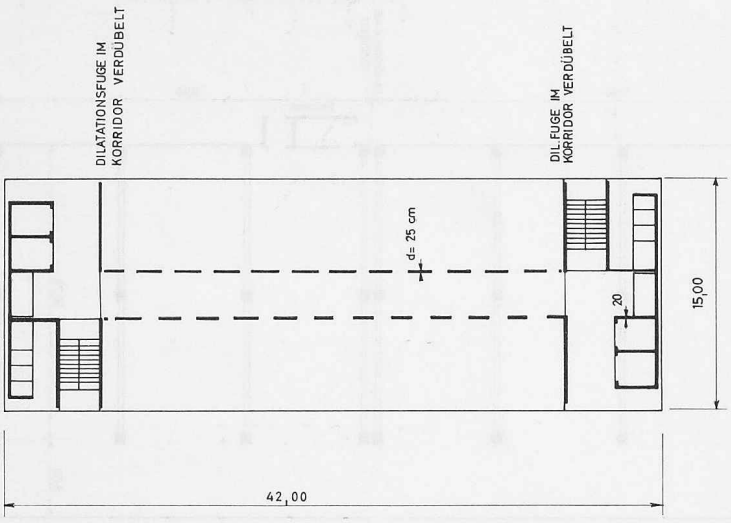
Dass diese Ausführungsart am zweckmässigsten ist, erscheint als selbstverständlich. Der Bau verlängert oder verkürzt sich ungehindert. Horizontalschnitte bleiben eben und damit werden auch Innenwände nicht in ihrer Ebene verbogen. Einige kurze Ueberlegungen sollen jedoch zeigen, dass es bei Verwendung der üblichen Grundrisse gar nicht einfach ist, im Betonbau die gesamte vertikale Tragkonstruktion ins Innenklima zu legen.

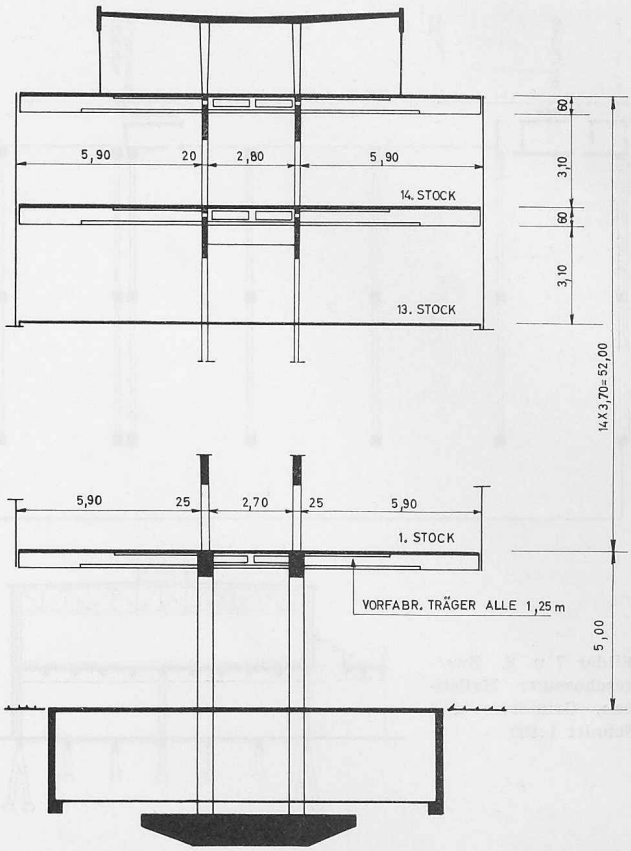
Nehmen wir als Beispiel den häufigen Fall eines Bürohochhauses. Der Wunsch, frei unterteilbare Büroflächen mit grossen Fensterflächen auszubilden, führt dazu, Pfeiler in die Fassade zu stellen, welche den Lichteinfall möglichst wenig behindern sollen. Auf eine Fassadenlänge von 5 m (häufiges Grundmass) ergibt sich bei einer Bürotiefe von 6 m folgender Lastanteil pro Stockwerk:

a) Deckenlast:

Nutzlast	0,250	t/m²
Anteil Zwischenwände	0,100	t/m²
Belag und Putz	0,150	t/m²
Deckenkonstruktion	0,400	t/m²
	0,900	t/m²

$\frac{1}{2} \cdot 6{,}00 \cdot 5{,}00 \cdot 0{,}900 =$ 13,5 t





Bilder 9 und 10. Gebäude mit stützenfreier Fassade; Grundriss 1:500, Schnitt 1:250

b) Fassaden- und Stützenanteil:

Fenster usw.	3,00 · 5,00 · 0,080 =	1,3 t
Brüstung	5,00 · 1,00 · 0,400 =	2,0 t
Stützen rd.	4,00 · 0,800 =	3,2 t
Total pro Stockwerk		20,0 t

Bei einer zulässigen ideellen Betonspannung (Einschluss von rd. 2÷3 % Armierung) von 100 kg/cm² ergeben sich bei einem 15geschossigen Gebäude im untersten Geschoss Stützen von

1 × 55/55 cm, alle 5,00 m
2 × 37/40 cm, alle 2,50 m
3 × 25/40 cm, alle 1,66 m
4 × 25/30 cm, alle 1,25 m

Dies sind Dimensionen, die bereits an der Grenze des für eine freie Fassade Erwünschten liegen.

Die Masse können natürlich noch etwas unterschritten werden, wenn man Spezialbeton oder Stahl verwendet, sowie wenn die Belastung reduziert wird. Einerseits stellen aber 15 Geschosse keine obere Grenze dar, anderseits darf nicht ausser acht gelassen werden, dass häufig Fassadenstützen mit Querleitungen durchfahren werden, dass Kabel- oder Heizleitungen entlang geführt werden, dass Aussparungen für Rolladen, Fensteranschläge und dergleichen mehr notwendig sind, was eine Vergrösserung des Gesamt-Querschnittes bedingt. Werden diese Stützen vor die Fassade gestellt, so erhöhen sich die Dimensionen um die Stärke der Isolation. Werden sie hinter die Fassade gestellt, so beschneiden sie den Innenraum. Da zudem meistens die gleiche Dimension von unten bis oben beibehalten werden soll (Aesthetik, Rationalisierung der Inneneinrichtung), behilft man sich in der Regel damit, dass in den unteren Geschossen auch bei Betonbauten an Stelle der Betonpfeiler Stahlstützen verwendet werden. Immerhin sind ihrer Anwendung sowohl mit Rücksicht auf die Feuersicherheit und die Ausführbarkeit als auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit Grenzen gesetzt.

Diese kurzen Ueberlegungen zeigen, dass die Forderung, die ganze Tragkonstruktion ins «Innenklima» zu stellen, dazu führen kann, die Fassade stützenfrei auszubilden, sofern sie möglichst frei unterteilbar und als Fensterfläche erscheinen soll.

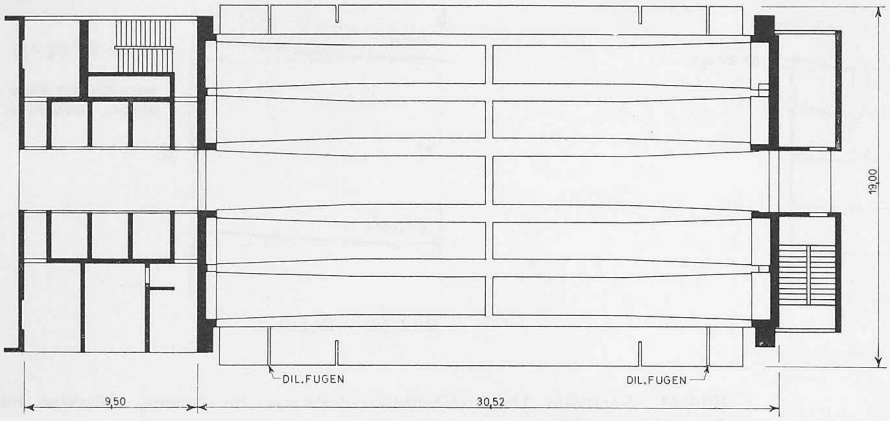
So kragen bei Bild 10 die Decken aus dem Mittelteil frei aus. Die Fassade und die Büroräume bleiben damit beliebig unterteilbar. Neben der teuren Tragkonstruktion (Aufnahme der grossen Kragmomente mit gedrängter Bauhöhe in jedem Geschoss) entstehen allerdings weitere Nachteile durch die relativ grossen elastischen Durchbiegungen der Plattenränder unter Nutzlasten. Diese führen dazu, dass die Fassadenelemente beweglich gelagert sein müssen. Die Anordnung von leichten Pfosten in der Fassade als «Distanzhalter» zwischen den Decken verbessert zwar diese Verhältnisse, bringt aber zusätzliche Belastungsfälle für die sonst eindeutig arbeitenden Kragarme. Die Tragkonstruktion im Kern wird natürlich entsprechend stark, da sie die gesamten Lasten aufzunehmen hat. Dies wirkt jedoch weniger hemmend, da zwar Tür- aber keine Fensteröffnungen notwendig sind und eine Vergrösserung des Gebäudekerns um einige Dezimeter schon erlaubt, wesentliche Mehrlasten aufzunehmen.

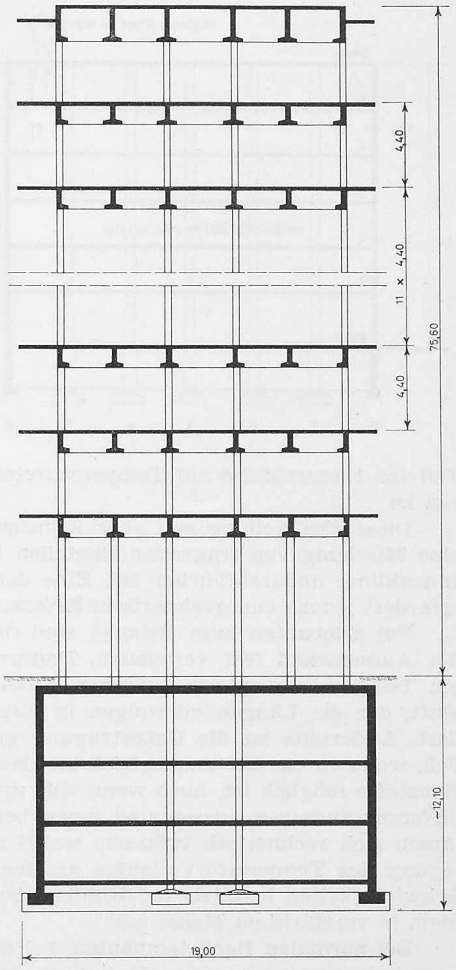
Eine andere Möglichkeit, die Fassade stützenfrei auszubilden, besteht darin, die Decken in der Längsrichtung, d. h. parallel zur Fassade zu spannen (Bilder 11 u. 12). Als vertikale Tragelemente braucht es dann Querwände. Dass diese Lösung für Betonbauten zweckmässig ist, ergibt sich aus der theoretischen Bemessung mit den vorher erwähnten Lasten: 20 t Last entstehen pro Stockwerk auf eine Einzugsfläche von 5 m Fassadenlänge und 3 m Anteil der Bürotiefe. Wenn eine Querwand durch das ganze Gebäude durchläuft, so steht für diese Last ein Wandanteil von 3 m zur Verfügung. Bei 15 Geschossen war eine Fläche von 55/55 cm erforderlich, was 10/300 cm entspricht. Eine 10 cm starke Betonwand würde genügen. Bei durchlaufender Decke wären folgende Wandstärken notwendig: 20 cm für 10 m Spannweite, 30 cm für 15 m Spannweite usw. Umfasst die Decke die ganze Gebäudelänge, d. h. ist die Decke nur über eine Oeffnung gespannt, so genügen 15 cm Wandstärke für eine Spannweite von 15 m, 20 cm Wandstärke für eine Spannweite von 20 m usw.

Natürlich wachsen mit zunehmender Spannweite die Konstruktionshöhe und das Eigengewicht der Decken. Gegenüber der auskragenden Decke ergeben sich jedoch wesentlich günstigere Verhältnisse. Zudem ist die grössere Konstruktionshöhe oft durch den Raumbedarf für Installationen gerechtfertigt, wie verschiedene amerikanische Beispiele zeigen.

Eine Vergleichsrechnung für Hochhäuser mit grosser Geschosszahl ergibt, dass auch grosse Spannweiten wirtschaftlich werden können, da die massige Ausführung der vertikalen Tragelemente als Querscheiben mit wenig Armierung, einfacher Schalung und gut verarbeitbarem Beton geringe Kosten verursacht. Gleichzeitig wird dadurch auch der Anforderung der Windsteifigkeit Rechnung getragen. Die Bilder 11 und 12 zeigen als Schema einen Bau mit einer freien Deckenweite von 30 m.

Das geradezu klassische Beispiel dieser Ausführungsart stellt das Pirelli-Hochhaus in Mailand dar, das aus verschiedenen Publikationen bekannt ist. Die Decken spannen sich





Bilder 11 und 12. Hochhaus; Grundriss und Schnitt 1:400

als vorgespannte Rippenplatten über drei Felder von 17 und 23 m Spannweite.

Fällt die Anforderung der freien Raumunterteilung weg, so ergeben sich aus dieser Ausführungsart ganz einfache Verhältnisse, wie sie in Bild 13, einem 10-geschossigen Wohnhaus, dargestellt sind, das in Backstein ausgeführt wurde. Diese Konzeption der Tragkonstruktion wird nicht nur den Ansprüchen der Temperatureinflüsse gut gerecht, sondern ergibt auch andere vorteilhafte Möglichkeiten. Sie stellt deshalb die wirklich betongerechte Lösung für derartige Gebäude dar.

Eine interessante Lösung mit dem Bestreben, den unerwünschten starken Dimensionen der Fensterpfosten zu begegnen, wurde bei einem Bau in Antwerpen angewandt («Industrial Architecture», Heft 3/62). Die Fensterpfosten sind als Kabel ausgebildet, welche an einer kräftigen Kragkonstruktion über dem Dach aufgehängt sind. Im Grundriss entspricht die Konstruktion im Prinzip dem Beispiel der Bilder 9 und 10, wobei jedoch die Momente aus der Kragwirkung oben zusammengefasst sind. Die Decken aus vorfabrizierten Betonelementen sind im Kern gestützt und in die Kabel eingehängt. Die Hängepfosten weisen kleine Abmessungen auf, da keine Knickstabilität erforderlich ist.

Bei Gebäuden mit weniger speziellen Anforderungen lässt sich natürlich die Forderung «ganze vertikale Tragkonstruktion im Innenklima» einfacher verwirklichen. Praktisch ist sie bei allen Bauten mit Plattenverkleidungen oder mit Fassadenelementen nach dem Prinzip der «Curtain Walls» ohne weiteres erfüllt.

4.2 Alle vertikalen Tragelemente im «Aussenklima»

Die zweite grundlegende Ausführungsart stellt einen selten zu verwirklichenden Spezialfall dar. Er erfordert einen Grundriss ohne Innenstützen. Die Decken sind frei zwischen Tragelemente vor den Fassaden gespannt. Die Tragelemente können als Wände oder als einzelne Pfeiler ausgebildet werden. Eine derartige Anordnung stellte eine einwandfreie Lösung dar, obwohl die Verbindung zwischen Tragpfeilern und Decken einige Probleme mit sich bringt. Da Steigkanäle, Treppen usw. speziell behandelt werden müssen, kommt das System vor allem für repräsentative Bauten in Frage. Immerhin wurden schon verschiedene eingeschossige und auch mehrgeschossige Bauten nach diesem Prinzip verwirklicht. Gesamthaft ist dabei die vertikale Tragkonstruktion grossen Längenänderungen unterworfen. Da die Decken jedoch die Bewegungen mitmachen, wirkt sich im Innern nur die Differenz auf Stockwerkhöhe aus, die unabhängig von der Stockwerkzahl gering ist.

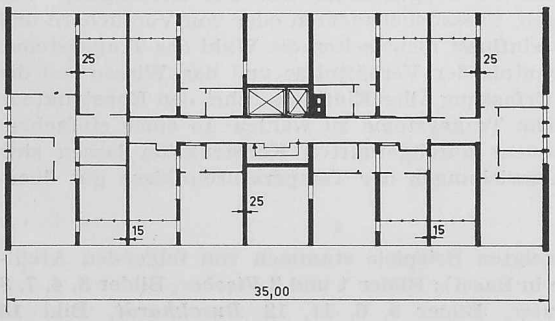


Bild 13. Zehngeschossiges Hochhaus; Grundriss 1:500

4.3 Vertikale Tragkonstruktionen teilweise im «Aussenklima», teilweise im «Innenklima»

Die dritte Lösung trifft man häufig an, obwohl dies meist nicht vorausbedacht wurde. Vielfach erweist sich nämlich die Isolation als ungenügend. Oft werden auch einzelne tragende Teile, etwa der Fassade, in Sichtbeton ausgeführt. Die Auswirkungen der Temperatureinflüsse führen dabei häufig zu Schäden. An Bild 14 können die Auswirkungen erläutert werden. Die Aussenwand in Sichtbeton eines mehrgeschossigen Gebäudes erwärmt sich zum Beispiel durch Sonnenbestrahlung oder sie kühlt sich im umgekehrten Sinne infolge tiefer Aussentemperatur ab. Nehmen wir an, es entstehe eine Temperaturdifferenz von 20° C zwischen dieser Wand und den übrigen im Innenklima liegenden vertikalen Tragelementen. Auf 20 m Höhe ergibt dies bereits eine Differenz der Längen von 4 mm. Die Deckenkonstruktion leistet dieser Verformung Widerstand. Es erfolgt eine Lastumlagerung, ohne dass dadurch eigentliche Schäden entstehen. Die Decken können also die Bewegung unbeschadet mitmachen. Laufen nun aber gemauerte Wände, speziell Leichtwände, senkrecht zur betreffenden Sichtbetonwand, so werden sie unter dieser Verformung in der Form von Schubrissen zwangsläufig reissen. Bei noch höheren Gebäuden werden auch die Decken die Verformung nicht mehr ohne Schäden mitmachen können, da die «Stützensenkungen», bedingt durch das «Wachsen» oder «Schrumpfen» der Tragteile im Freien infolge von Temperaturveränderungen, gross werden.

Es erübrigt sich, Beispiele für diese Ausführungsart anzuführen, da solche Bauten Gegenstand von zahlreichen Expertisen über Rissebildungen sind, wie überhaupt ein grosser

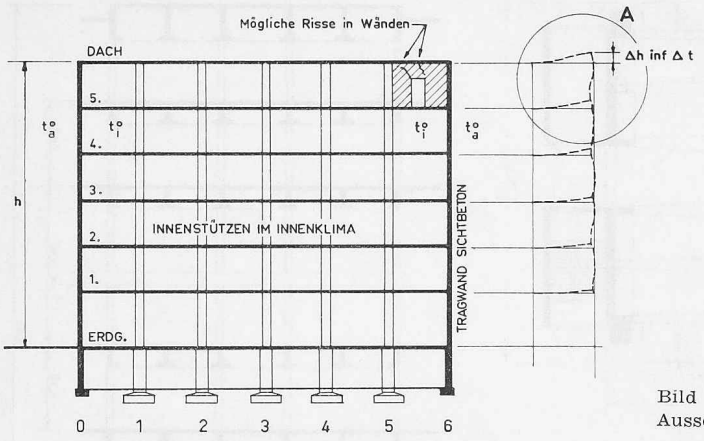


Bild 14. Vertikale Tragkonstruktion teilweise im Innen-, teilweise im Aussenklima (Schema)

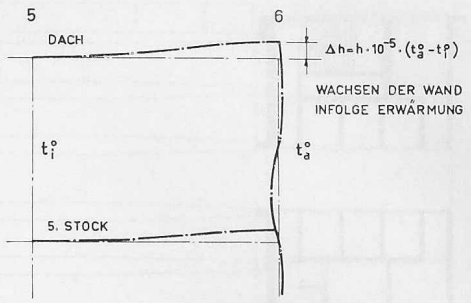


Bild 15. Detail A

Teil von Risseschäden auf Temperatureinflüsse zurückzuführen ist.

Diese Feststellung soll aber keineswegs bedeuten, dass eine Mischung von tragenden Bauteilen im Aussen- und im Innenklima undurchführbar sei. Eine derartige Ausführung erfordert jedoch eine rechnerische Erfassung der Verhältnisse.

Bei Silobauten zum Beispiel sind die Zellenwände mit der Aussenwand fest verbunden. Dadurch findet einerseits ein Temperaturausgleich zwischen Aussen- und Innenwand statt, der die Längenänderungen in ihren Differenzen mildert. Anderseits ist die Uebertragung grosser Kräfte möglich, wodurch ein Lastenausgleich im elastischen Bereich der Baustoffe möglich ist, auch wenn eine grössere Temperaturdifferenz zwischen aussen und innen besteht. Diese Kräfte lassen sich rechnerisch erfassen, wobei allerdings die Festlegung des Temperaturverlaufes an den Uebergangsstellen Schwierigkeiten bereitet. Bei Kühlhausbauten tritt das Problem in verstärktem Masse auf.

Bei normalen Backsteinbauten, bei denen auch die Aussenwände gemauert und nicht isoliert sind, gleichen sich die Temperaturdifferenzen zwischen Innen- und Aussenseite derart aus, dass auch bei hohen Häusern keine wesentliche Längenänderung eintritt. Da die Steine als schlechte Wärmeleiter gut isolieren, wird der Temperaturwert in der Mauermitte bzw. der Mittelwert des Querschnittes, der die Gesamtlängenänderung bestimmt, nur langsam beeinflusst. Tagesschwankungen sind meist ohne Einfluss. Da das Temperaturgefälle meist gross ist, wird der Mittelwert verkleinert. Dass auch hier eine Trennung von Aussenhaut und Tragkonstruktion vorteilhaft sein kann, zeigt sich in der Entwicklung von Zweischalen-Mauerwerk; denn diese Bauweise entspricht dem Prinzip «Tragkonstruktion im Innenklima».

Auch die Ausführung mit schlanken, unisolierten Fassadenstützen ist möglich. Voraussetzung dazu ist, dass entweder die Decken und Innenwände die Deformationen mitmachen können oder dass durch eine kräftige Konstruktion in den Obergeschossen oder im Dach eine wesentliche Lastumlagerung erzwungen wird. Diese soll dazu führen, dass eine Stützenverlängerung zu einer vermehrten Lastaufnahme oder -abnahme führt (Lastumlagerung infolge von «senkbaren» Stützen). Dadurch steht der Stützenverlängerung infolge von Temperaturzunahme eine Verkürzung infolge von elastischen und plastischen Dehnungen gegenüber, so dass das Gesamtmass der Längenänderung relativ klein wird.

Bei Wänden kann eine derartige Umlagerung kaum eintreten, wie folgende Abschätzung der infolge von Temperaturänderungen entstehenden Kräfte zeigt: Würde eine 20 cm starke und 5 m lange Wand vollständig in der Dehnung behindert, so würde bei einer Temperaturdifferenz von 25° C unter der Annahme von $E = 300\,000$ kg/cm² folgende Kraft entstehen:

$P = 20 \times 500 \times 25 \times 0{,}00001 \times 300\,000 = 750\,000$ kg $= 75$ t ($\delta = 75$ kg/cm²).

Derartige Kräfte können kaum behindert werden, so dass sich zwangsläufig in den schwächeren Bauteilen Risse ergeben, sobald sie der freien Dehnung Widerstand leisten.

Aus allen diesen Ueberlegungen ergibt sich, dass die Bauart: «Vertikale Tragelemente zum Teil im Aussen-, zum Teil im Innenklima» nur in Sonderfällen für höhere Gebäude verwendet werden kann. Analoge Ueberlegungen ergeben sich natürlich immer bei Vorliegen von ungleichen Dehnungen, insbesondere im Falle der Mischung von Baumaterialien mit verschiedenen E-Werten oder verschiedenen Schwindmassen im gleichen Horizontalschnitt.

5. Allgemeine Feststellungen

Diese wenigen Hinweise auf temperaturbedingte Längenänderungen in der Vertikalen zeigen, dass von allem Anfang an bei der Projektierung von Bauten — und ganz speziell derjenigen von Hochhäusern — den Temperatureinflüssen Rechnung zu tragen ist. Wenn die horizontalen Längenänderungen noch mit Dilatationsfugen aufgefangen werden können, so ist eine analoge Massnahme bei Hochhäusern nicht mehr möglich. Nur nichttragende Elemente, zum Beispiel Verkleidungen, können durch horizontale Fugen so getrennt werden, dass ein «Temperaturspiel» möglich wird.

Die rechnerische Erfassung der Temperatureinflüsse ist als Abschätzung einfach durchzuführen. Für zusammenhängende Bauteile mit verschiedenen Temperaturen ist die Anwendung der Theorie der Eigenspannungen zweckmässig. Die Abschätzung genügt in der Regel, um die geeigneten Lösungen oder Massnahmen zu treffen. Oft führt die Abschätzung zur Einsicht, dass die temperaturbedingten Beanspruchungen den sorgfältig erfassten Werten aus den Belastungen entsprechen oder diese sogar noch übertreffen. Eine genaue Berechnung ist meist schwierig: Der Temperaturverlauf lässt sich selten genau festlegen. Sowohl einzelne Bauteile als auch die Gesamtheit der Tragkonstruktion stellen bald statisch mehrfach unbestimmte Systeme oder Flächentragwerke dar, wenn die tatsächlichen Wärmeeinflüsse berücksichtigt werden.

Die vorstehenden Ausführungen haben sich auf die Aufzählung einiger Probleme und einiger typischer Fälle beschränkt. Es wurden nur die axialen Dehnungen und ihre Einflüsse berücksichtigt. In Wirklichkeit sind die Bauteile ungleichen Erwärmungen oder Abkühlungen ausgesetzt. Diese führen zu Verbiegungen oder bei Behinderung zu Biegungsmomenten. Die Voraussetzungen der klassischen Statik: Vernachlässigung der lokalen Störungen und Ebenbleiben der Querschnitte, sind oft nicht berechtigt, so dass aus diesen Gründen eine rechnerische Erfassung schwierig wird.

Ein eigenes Problem bildet die Verbindung von Fassadenteilen mit der Tragkonstruktion. Die Befestigung von Verkleidungen, Fassadenelementen oder von Vordächern und Balkonen beeinflusst nicht selten die Wahl des Tragsystems.

Die Kenntnis der Verhältnisse und das Wissen um die schwierige Erfassung aller Einflüsse führt den Konstrukteur dazu, einfache Tragsysteme zu wählen. In einer einfachen, aber konsequent durchgeführten Konstruktion lassen sich auch die Auswirkungen der Temperatureinflüsse gut überblicken.

*

Die gezeigten Beispiele stammen von folgenden Architekten (alle in Basel): Bilder 1 und 2 *Vischer*, Bilder 3, 4, 7, 8 *Suter & Suter*, Bilder 5, 6, 11, 12 *Burckhardt*, Bild 13 *Aug. Künzel & Söhne*.