Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 92 (1974)
Heft: 8: SIA-Heft, Nr. 2/1974: Hochhäuser; Werkvertrag

Artikel: Windwirkung auf Hochhäuser
Autor: Thomann, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72269

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: 10.07.2025

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

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, 8021 ZÜRICH, POSTFACH 630

SIA-Heft Nr. 2, 1974 / Hochhäuser

Windwirkung auf Hochhäuser

DK 624.042.4:72.011.27

Von Prof. Dr. **H. Thomann**, ETH Zürich[1])

In einem ersten Teil werden die meteorologischen Daten, d. h. maximale Windgeschwindigkeiten, Windprofile und -schwankungen behandelt. Anschliessend werden kurz die wesentlichsten Eigenschaften des Strömungsfeldes an stumpfen Körpern beschrieben und typische Werte für Geschwindigkeiten, Druckverteilungen und Gesamtlasten gegeben. Damit lassen sich viele Schäden an Gebäuden erklären. Zudem wird auf Belästigungen hingewiesen, die die hohen Windgeschwindigkeiten in Bodennähe ergeben. Der dritte Teil beschreibt die Schwingungen von Gebäuden, die durch Luftkräfte angeregt werden. Es werden verschiedene Vorgänge erwähnt, die Schwingungen anregen können.

1. Windgeschwindigkeit

Der *zeitliche Verlauf* der Windgeschwindigkeit an einem festen Ort ist in Bild 1 dargestellt. Da die Strömung in der Atmosphäre praktisch immer turbulent ist, ist dem Mittelwert $\bar{v}$ eine Schwankung v' überlagert. Ein Mass für die Intensität der Turbulenz ist die Grösse (siehe Bild 1).

$$v'_{rms} \equiv \sqrt{\overline{v'^2}}$$

Für die Belastung eines Gebäudes sind neben der mittleren Geschwindigkeit $\bar{v}$ die Grösse der Schwankung v'_{rms}, die auftretenden Frequenzen (s. Abschnitt 3) und besonders die maximale Geschwindigkeit v_{max} wesentlich. Bei der Anwendung von meteorologischen Angaben ist unbedingt zu beachten, wie das v_{max} definiert ist! Meist stellt es wiederum einen Mittelwert dar, der über 10 min, 10 s oder die Anzeigezeit des Instrumentes gemittelt wurde. Wie Bild 1 zeigt, geben die drei Definitionen merkliche Unterschiede in den Zahlenwerten. Für Gebäudeschwingungen ist eine Mittelungsdauer angebracht, die etwas grösser ist als die Eigenschwingungsdauer des Gebäudes. Spitzen von kürzerer Dauer treten meist nicht mehr gleichzeitig am ganzen Gebäude auf und tragen deshalb relativ wenig zu den Lastspitzen bei.

Für Schäden sind die verhältnismässig selten auftretenden höchsten Spitzen massgebend. Über die *Häufigkeit dieser Spitzengeschwindigkeiten* können nur Beobachtungen eine Aussage geben. Oft liegen Angaben über die in den letzten 15 bis 30 Jahren beobachteten maximalen Geschwindigkeiten im Jahr vor. Wie kann man aus diesen 15 bis 30 Werten auf die

[1]) Vortrag, gehalten an der Studientagung «Hochhäuser» der **SIA-Fachgruppen für Brückenbau und Hochbau (FBH) und für Architektur (FGA),** unter Mitwirkung der Internationalen Vereinigung für Brückenbau und Hochbau (IVBH) und des Joint Committee «Planning and Design of Tall Buildings» der American Society of Civil Engineers (ASCE), vom 18. bis 20. Oktober 1973 an der ETH Zürich.

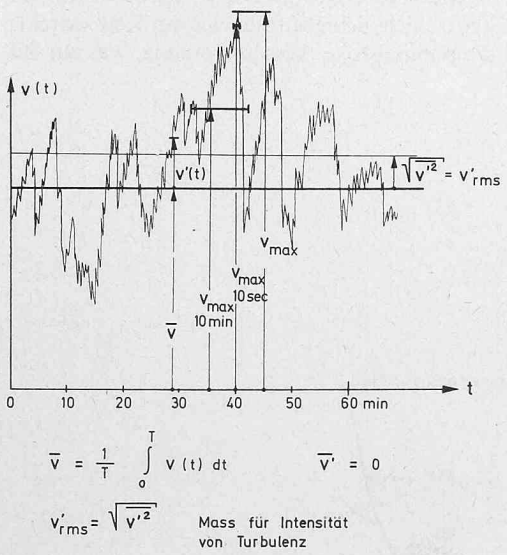


Bild 1. Geschwindigkeitsverteilung am festen Ort

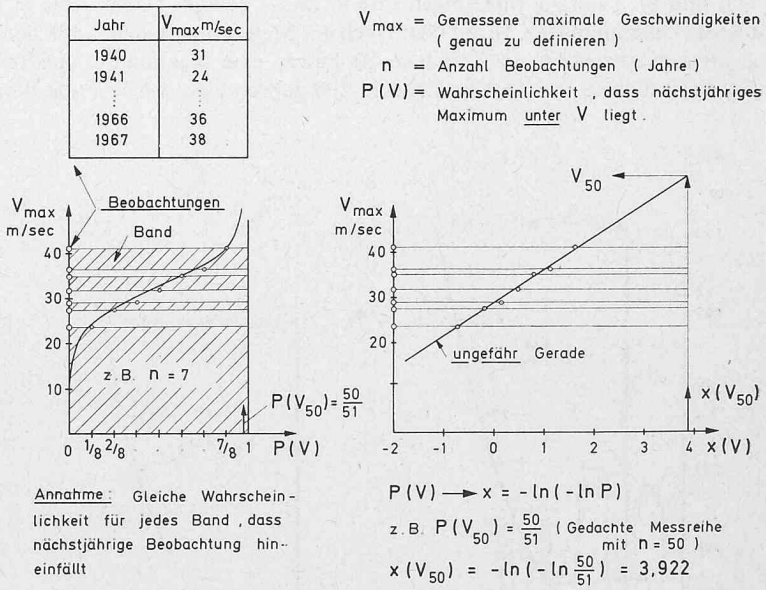


Bild 2. Bestimmung der maximalen Geschwindigkeit

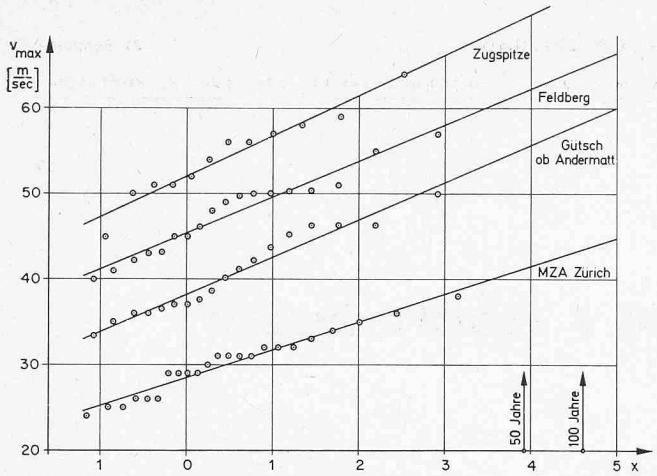


Bild 3. Maximale Geschwindigkeit an verschiedenen Orten

maximale Geschwindigkeit schliessen, die ein Neubau während seiner Lebensdauer von 50 oder 100 Jahren ertragen muss? Genaue Angaben können nicht erwartet werden, die Statistik gibt aber sehr gute Anhaltspunkte. Gehen wir von einer Reihe von n (z. B. 7) Beobachtungen aus (Bild 2). Diese teilen den gesamten Geschwindigkeitsbereich in $n + 1$ (z. B. 8) Bänder auf. Die nächstjährige Beobachtung wird sicher in eines dieser $n + 1$ Bänder fallen. Nehmen wir an, dass jedes Band die gleiche Wahrscheinlichkeit hat, den nächstjährigen Wert zu erhalten (was um so besser gilt, je mehr Punkte wir haben), dann beträgt die Wahrscheinlichkeit $1/(n+1)$, dass der nächstjährige Wert im obersten Band liegt, also grösser als ein bereits beobachteter Wert ist. Die Wahrscheinlichkeit P, dass der bisher grösste Wert *nicht* überschritten wird, ist dann $P = 1 - 1/(n + 1) = n/(n + 1)$. Mit diesen Überlegungen können wir die linke Darstellung $P(V)$ in Bild 2 zeichnen. Für eine Lebensdauer von 50 Jahren verwenden wir nun eine gedachte Messreihe von 50 Werten und finden daraus $P(V_{50}) = 50/51 = 0{,}9804$. Versucht man, die linke Kurve in Bild 2 auf 0,9804 zu extrapolieren, so wird das Ergebnis wegen der Form der Kurve sehr ungenau. Statistische Überlegungen zeigen, dass Extremwerte häufig bestimmten Verteilungsfunktionen folgen. Dies wird hier so ausgenützt, dass man P durch eine neue Variable $x = -\ln(-\ln P)$ ersetzt. Wie die Erfahrung zeigt, fallen die Beobachtungen in einem V–x-Diagramm gut auf eine Gerade und lassen sich verhältnismässig leicht extrapolieren (rechter Teil von Bild 2). Typische Messreihen sind in Bild 3 gezeigt. Nach diesem Diagramm ist z. B. auf dem Dach der Meteorologischen Zentralanstalt, MZA, in Zürich in 50 Jahren eine maximale Geschwindigkeit von 41,3 m/s und in 100 Jahren eine solche von 43,5 m/s zu erwarten. Die Messdaten der Bergstationen sind etwas weniger zuverlässig, da Eisablagerungen am Messinstrument die Werte fälschen können. Trotzdem zeigt der Vergleich der Werte der vier Stationen sehr schön, wie die Geschwindigkeiten stark zunehmen, je exponierter die Messstation liegt.

Über die *Zunahme der mittleren Geschwindigkeit mit der Höhe* liegen zahlreiche Untersuchungen vor. Sie zeigen, dass für hohe Windgeschwindigkeiten der Einfluss der thermischen Schichtung vernachlässigt werden kann. Die wichtigsten Resultate wurden von *Davenport* in Bild 4 zusammengefasst. Im ebenen Gelände ist nur eine dünne Schicht von der Reibung am Boden beeinflusst. Die Strömung darüber, der sogenannte Gradientwind, hängt von der Grosswetterlage ab, die z. B. auf der Wetterkarte dargestellt ist. Wie das Bild zeigt, ist die Bodenrauhigkeit wesentlich. Über das Geschwindigkeitsprofil im Moment der maximalen Geschwindigkeit liegen nur wenige Untersuchungen vor. Nach diesen Angaben ist das Profil in solchen Momenten bedeutend völliger und wäre mit Exponenten von rund 0,1 und weniger zu beschreiben. Eine empfehlenswerte Zusammenstellung über die Windgeschwindigkeiten findet man in [1].

Hügel und Täler beeinflussen die Geschwindigkeiten ebenfalls. Einen Anhaltspunkt dafür gibt Bild 5. Da die dort zugrunde gelegten Berechnungen auf der idealen, reibungsfreien Strömung beruhen, gelten sie nur, solange keine Ablösung entsteht, die Hügel also flach sind. Man findet das erwartete Ergebnis, dass die Geschwindigkeit auf dem Hügel ein Maximum und im Tal ein Minimum hat. Setzt man z. B. $h = 100$ m, $b = 2000$ m, so erhält man für Ellipse und Sinuswelle 10% bzw. 15% Übergeschwindigkeit auf dem Hügel und 15% Untergeschwindigkeit im Tal, Werte, die nicht zu vernachlässigen sind.

2. Typische Strömungsfelder und Druckverteilungen

In Bild 6 sind die wesentlichen Eigenschaften der Strömung dargestellt. Bei der idealen reibungsfreien Strömung links im Bild ist die Strömung vor und hinter dem Körper gleich, und es entstehen keine resultierenden Kräfte. Der maximale Überdruck vor dem Körper (und dahinter) beträgt nach Bernoulli $\varrho\, V^2_\infty/2$. Dabei ist ϱ die Luftdichte und V_∞ die Geschwindigkeit, die weit vom Körper entfernt auftritt. Auch wenn die hier interessierenden Strömungen fast reibungsfrei sind, unterscheiden sie sich ganz wesentlich vom idealen Fall. Der grosse Unterschied wird durch das Kräftespiel in der dünnen Grenzschicht an der Körperoberfläche hervorgerufen, das in Bereichen mit starkem Druckanstieg eine Umkehr der lokalen Strömungsrichtung erzwingt. Diese rückwärtsströmenden Teile der Grenzschicht schieben sich wie ein Keil zwischen die Wand und die reibungsfreie Aussenströmung, was zur Bil-

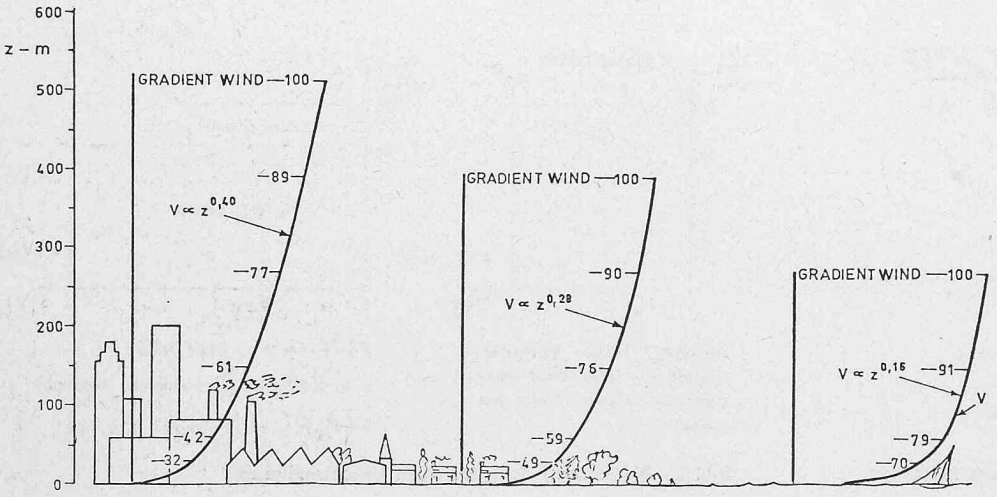


Bild 4. Windprofile

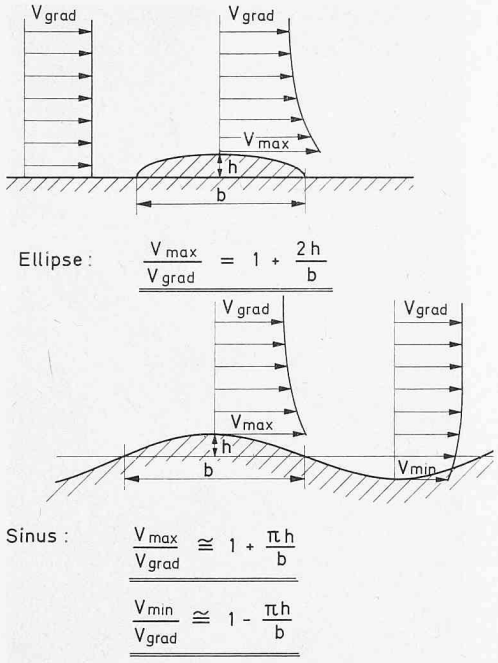


Bild 5. Einfluss von Geländeform auf Geschwindigkeit (reibungsfrei)

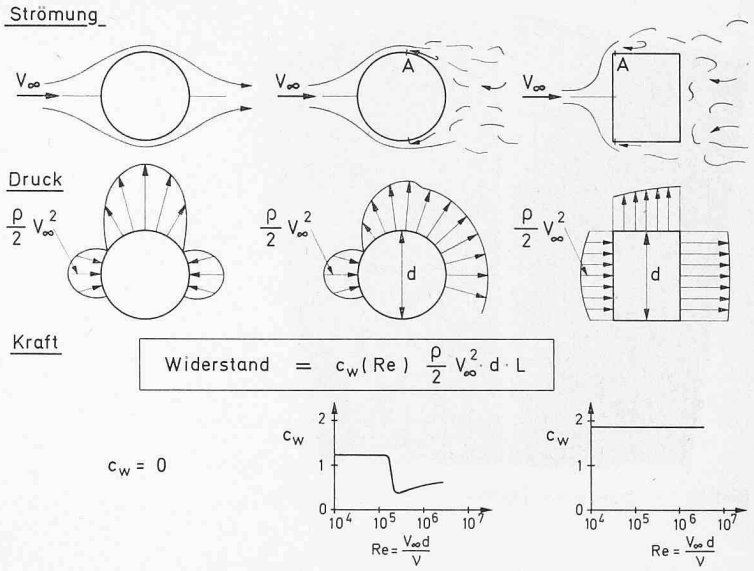


Bild 6. Umströmung von Körper, Druckverteilung, Kraft

dung des ausgeprägten Totwassers hinter dem Körper führt. Man nennt diesen Vorgang Ablösung. Der Überdruck im Gebiet vor dem Körper bleibt bestehen. Im Totwasser hinter dem Körper entsteht aber nun ein Unterdruck (mittlerer Teil des Bildes 6). Diese Druckdifferenz zwischen Vorder- und Rückseite des Körpers verursacht den grossen Widerstand.

Beim Rechteckquerschnitt liegen die Verhältnisse ähnlich (rechter Teil des Bildes 6). Die Ablösung tritt unmittelbar hinter den vorderen Körperecken auf, und es entsteht wiederum ein breites Totwasser, das zum grossen Widerstand führt. Es besteht aber ein äusserst wichtiger Unterschied zwischen Kreiszylinder und Rechteck. Beim Rechteck liegt der Ablösungspunkt A bei den Ecken fest. Dadurch sind Totwasser, Druckverteilung und Widerstand nur wenig von Kleinigkeiten beeinflusst. Windkanalversuche können deshalb gut auf die Wirklichkeit übertragen werden. Anders bei den Rundungen des Kreiszylinders. Hier können Kleinigkeiten den Widerstand bis zu einem Faktor 4 ändern. Ist die Wandrauhigkeit grösser als rund 2% des Durchmessers, ist die Reynoldszahl $V_\infty\, d/\nu < 10^5$ oder ist der Körper etwas kantig (z. B. ein Zwölfeck), so liegt der Ablösungspunkt vor der grössten Körperbreite, was zu einem Widerstandsbeiwert $c_w \simeq 1{,}2$ führt. Unter besonders günstigen Bedingungen (glatte Wand, passende Reynoldszahl) kann die Grenzschicht einen beträchtlichen Druckanstieg ertragen, das Totwasser wird schmal, und der Widerstand sinkt auf etwa ¼ des ursprünglichen Wertes. Bei runden Formen erschwert diese gewaltige Empfindlichkeit auf Kleinigkeiten die Voraussage des Widerstandes sehr. Da Kraftbeiwerte an vielen Orten zusammengestellt sind, z. B. in [2] und [3], soll hier nicht weiter darauf eingegangen werden.

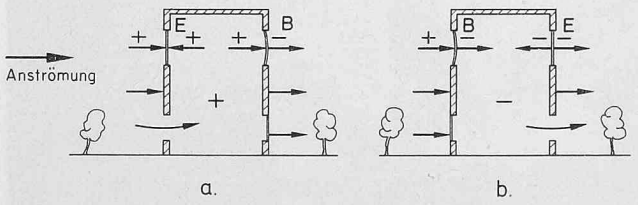


Bild 7. Belastung der Fenster (*B* Belastet, *E* Entlastet)

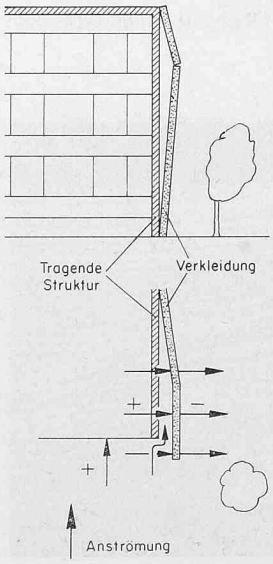
Für Schäden an Gebäudeteilen sind die lokalen Druckverteilungen massgebend. Das soll an drei Beispielen illustriert werden.

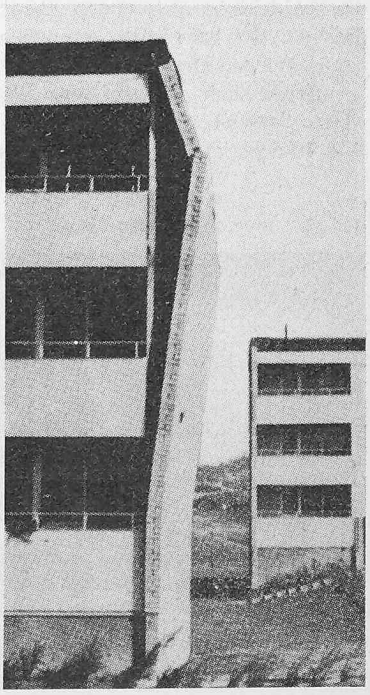
Über die Belastung von Fenstern können wir mit den bisherigen Angaben noch nichts aussagen, da die Last das Produkt aus Fläche und der Differenz Aussendruck abzüglich Innendruck ist. Der Innendruck ist vorläufig noch unbekannt. Er stellt sich so ein, dass die Luftmenge, die auf der Überdruckseite durch Türen, Fenster und Ritzen einströmt, auf der Unterdruckseite auch wieder ausströmt. Wie Bild 7 zeigt, hängt es also weitgehend von Zufälligkeiten ab, wie die Fenster belastet werden, wobei Druckdifferenzen von 1500 N/m² und mehr erreicht werden können, was dem Gewicht von 2 Mann je m² Glasfläche entspricht (!) und Wasser über einen 150 mm hohen Abschluss treiben kann.

Das zweite Beispiel, typisch für viele ähnliche Schäden, ist in Bild 8 gezeigt und in Bild 9 erklärt. Die Anströmrichtung war etwa parallel zur beschädigten Wand, was auf der Aussen-

Bild 8 (rechts). Typischer Schaden

Bild 9 (links). Ursache des Schadens





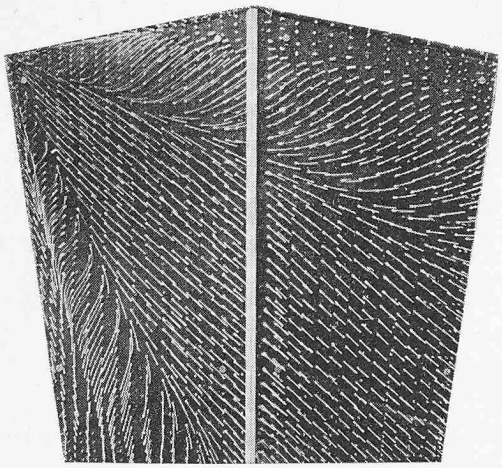


Bild 10. Strömung auf Dachoberseite

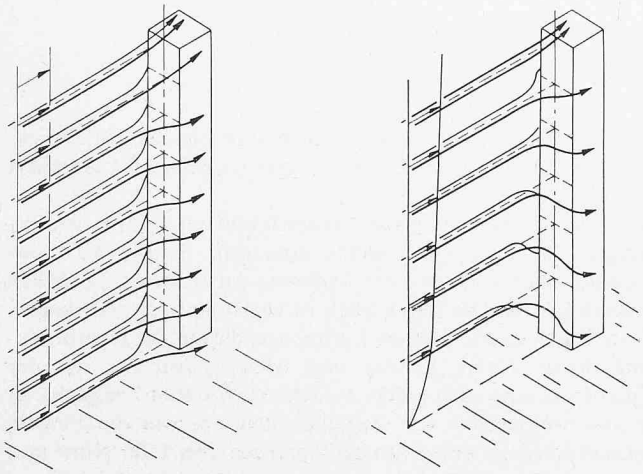


Bild 12. Übergeschwindigkeiten am Fusse eines Hochhauses

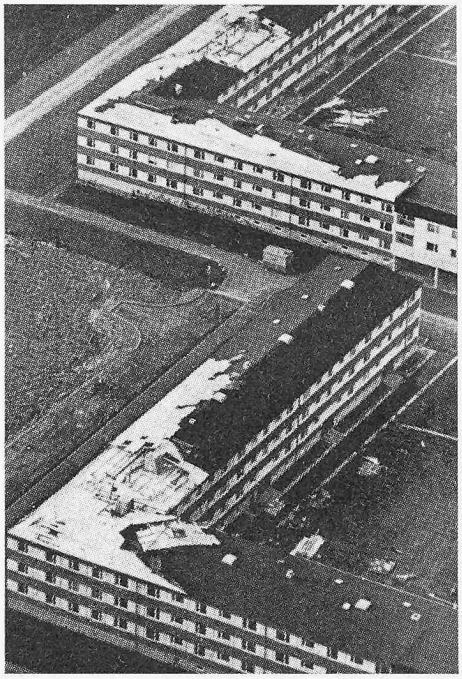


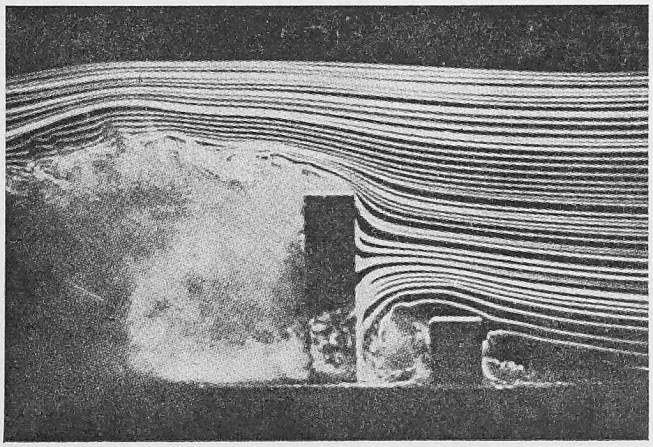
Bild 11. Typische Schäden, Anströmung über die linke Hausecke

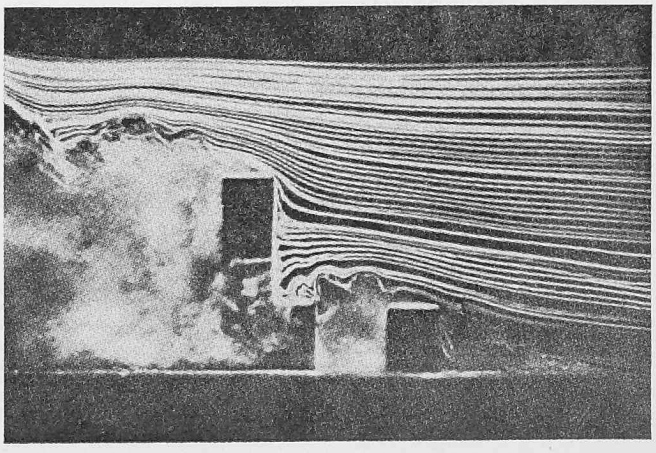
seite einen Unterdruck ergab (Bild 6). Die kleinste Ritze, die auf der Anströmseite offen steht, sonst aber dicht ist, wird einem Überdruck (gleich Staudruck im gezeigten Fall) ausgesetzt. Der dadurch entstehende grosse Druckunterschied kann die Verkleidung absprengen. Beide Beispiele zeigen deutlich, dass man sich bei der Bemessung von Bauteilen genau überlegen muss, welchen Druckdifferenzen sie ausgesetzt sein werden.

Schliesslich soll auf eine dritte Strömungsform hingewiesen werden, die schon viele Schäden verursacht hat. Bild 10 zeigt die Strömung auf der Oberseite eines typischen Flachdaches im Modell. Sie ist durch Farbtupfen sichtbar gemacht, die von der Strömung selbst verschoben wurden. In Dachmitte ist die Strömung, wie erwartet, etwa in der Anströmrichtung gerichtet. Bei den beiden luvseitigen Dachkanten findet man dagegen eine sehr ausgeprägte Querströmung, die durch zwei kräftige, stationäre Wirbel erzeugt wird. Die Querströmung kann so kräftig sein, dass Kies bis 30 mm Korngrösse weggeblasen wird. Zudem kann der lokale Unterdruck bis $5\ \varrho\ V_\infty^2/2$ erreichen (ein Auto pro 2 m², Zug nach oben), was die vielen Schäden vom Typ der in Bild 11 gezeigten erklärt. Es ist auch zu beachten, dass die Lastschwankungen wegen der turbulenten Anströmung wesentlich zum schnellen Wachstum der Schäden beitragen.

Zum Abschluss dieses Abschnittes soll noch auf die Belästigung durch hohe Windgeschwindigkeiten hingewiesen werden, die Hochhäuser am Boden verursachen können. Der Grund ist in Bild 12 skizziert. Da in der Atmosphäre die Geschwindigkeit nach oben zunimmt, ist der Staudruck vor dem Gebäude oben grösser als unten. Dadurch wird die ankommende Strömung auch nach unten abgelenkt, und es kann ein Wirbel vor und neben dem Gebäude entstehen, der die schnellen Luftschichten nach unten führt. Es können in

Bild 13. Strömung um Hochhäuser





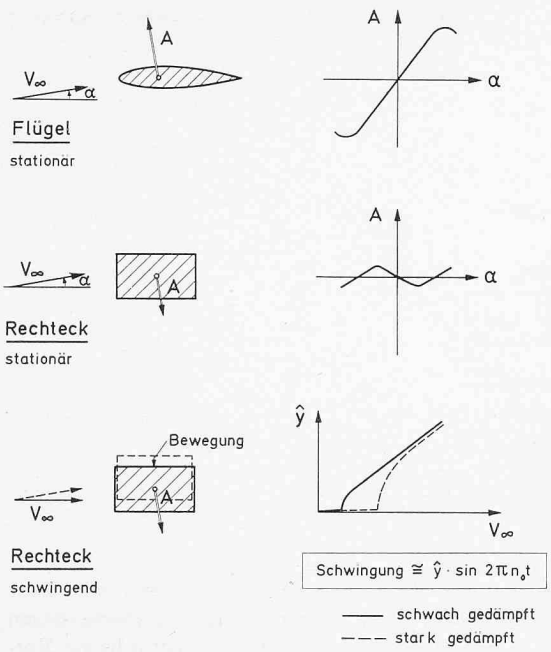


Bild 14. Energieaufnahme aus Strömung

Bodennähe Windgeschwindigkeiten beobachtet werden, die den doppelten Wert der Geschwindigkeit am gleichen Ort, jedoch ohne Hochhaus, überschreiten. Durch geeignete Formgebung kann der Effekt häufig gemildert werden. Bild 13 zeigt z. B., wie der Wirbel zwischen den Häusern durch einen kleinen Vorbau am Hochhaus abgeschwächt werden kann (rechter Teil des Bildes).

3. Schwingungen von Gebäuden

Die bekanntesten Schäden infolge Schwingungen sind Hängebrücken, die zum Einsturz gebracht wurden, wobei die Tacoma-Brücke am häufigsten genannt wird. Bei Hochhäusern sind zum Glück keine Totalschäden bekannt, obwohl Schwingungen beobachtet wurden, die z. B. zur Seekrankheit der Bewohner führten.

Die Luftkräfte sind viel kleiner als die elastischen Rückstellkräfte und die Massenkräfte. Aus diesem Grund schwingen die Bauwerke ungefähr mit ihren Eigenschwingungen, wobei die Amplitude von der Anregung, d. h. den Luftkräften, bestimmt wird. Da sich in vielen Fällen die Bewegungen mit den Eigenschwingungsformen auf die eines Massenpunktes zurückführen lassen, soll hier nur die Bewegung eines einfachen Schwingers behandelt werden.

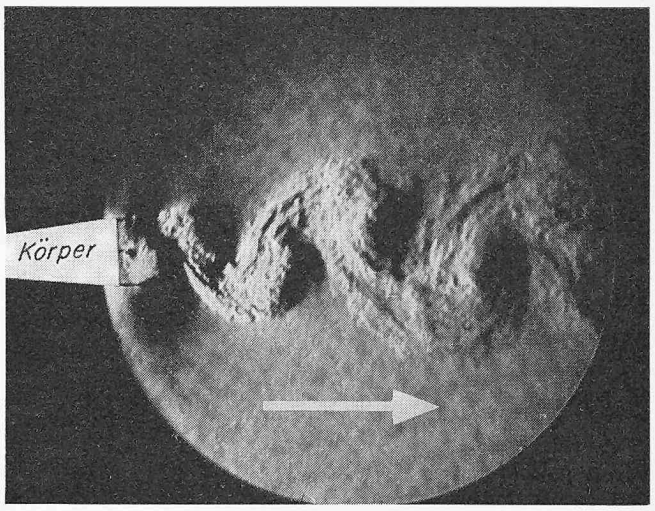


Bild 15. Kármán-Wirbel hinter einem stumpfen Körper

Die einfachste Form eines häufigen Schwingungsmechanismus ist in Bild 14 gezeigt. Er beruht darauf, dass bei gewissen Körperformen (z. B. Rechteck) der Auftrieb «auf die falsche Seite» gerichtet ist. Bei einer Querbewegung ist die Kraft dadurch immer in Bewegungsrichtung gerichtet. Ein solcher Schwinger wird deshalb Energie aus der Strömung aufnehmen, genau wie eine Windmühle. Eine genauere Analyse zeigt, dass kleine Schwingungen gedämpft sind, wenn

$$\frac{\partial c_A}{\partial \alpha} + c_w > 0$$

(c_A und c_w sind Beiwerte für Auftrieb und Widerstand). Ist dieses Kriterium nicht erfüllt, so treten Schwingungen auf, wenn eine kritische Windgeschwindigkeit überschritten wird. Die Amplitude dieser Schwingungen wächst monoton mit der Geschwindigkeit.

Wenn bei einem Gebäude die Eigenfrequenzen der Biege- und Torsionsschwingung in einem bestimmten Verhältnis stehen, so sind ähnliche Schwingungen möglich, die dem Flügelflattern der Flugzeuge entsprechen. Ferner können sich benachbarte Gebäude gegenseitig zu ähnlichen Schwingungen anregen, was bei Neubauten beachtet werden sollte.

Ein ganz anderer Schwingungstyp, die klassische Resonanz, kann z. B. durch die bekannten *Kármán*-Wirbel (Bild 15) angeregt werden. Auf einen Körper der Fläche F wirkt eine schwingende Querkraft A, die in guter Näherung dargestellt werden kann als

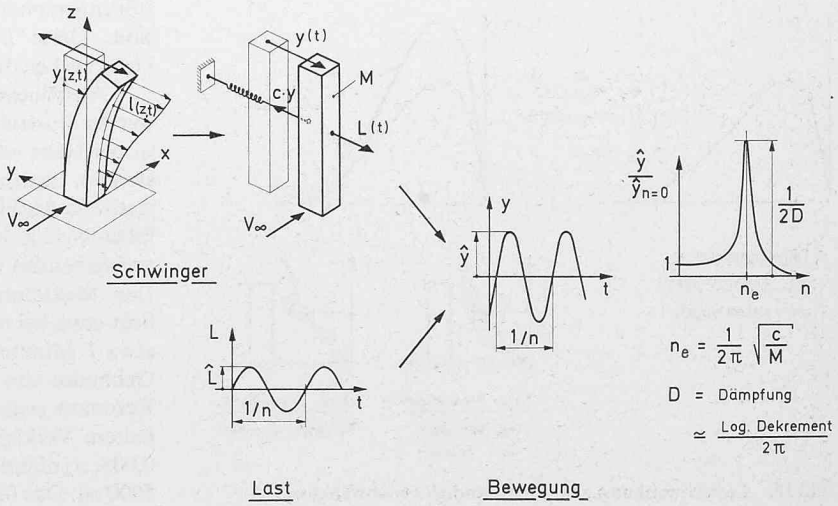


Bild 16. Einfacher Schwinger mit Sinus-Anregung

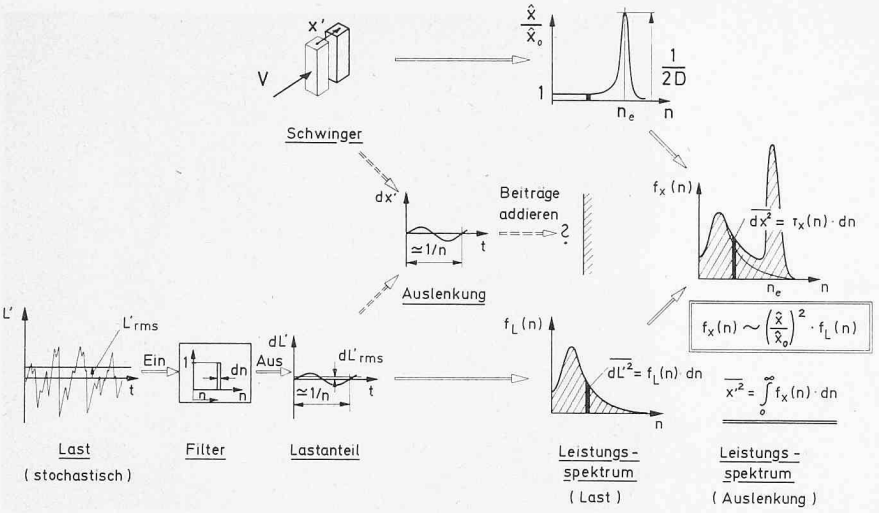


Bild 17. Schwinger mit stochastischer Anregung

$$A = (c_A \varrho V_\infty^2/2)\, F \sin 2\pi nt$$

Die Frequenz n der Schwingung lässt sich darstellen als

$$n = Str\, V_\infty / d$$

mit d = Breite von Totwasser

$\simeq$ Körperbreite

Die Strouhalzahl $Str \simeq 0{,}2$ ist ziemlich unabhängig von Körperform und Reynoldszahl. Man kann deshalb leicht feststellen, bei welcher Windgeschwindigkeit V_∞ die Frequenz der Anregung mit der Eigenfrequenz des Bauwerkes zusammenfällt. Die Amplitude der Kraft A, bestimmt durch den Beiwert c_A, ist dagegen sehr unsicher, und es werden Werte von 0,04 bis 0,5 genannt. Mit diesen Angaben, zusammen mit der Eigenfrequenz n_e des Schwingers und mit seiner Dämpfung D, lässt sich der Frequenzgang der Amplitude bestimmen (Bild 16). Dabei muss allerdings angenommen werden, dass c_A unabhängig von der Bewegung ist, was nur ungefähr stimmt.

Während diese beiden Schwingungstypen nur unter besonderen Umständen auftreten, wird die Lastschwankung wegen der turbulenten Anströmung jedes Bauwerk zu Schwingungen anregen. Neu ist jetzt, dass die Last eine stochastische Grösse ist, die ein breites Band von Frequenzen enthält und über die man nur statistische Aussagen machen kann. Die Verhältnisse sind in Bild 17 gezeigt. In Gedanken kann man diese Lastschwankung durch einen Filter leiten und erhält am Ausgang ein kleines, sinusförmiges Signal. Dieses Signal wird den Schwinger zu einer kleinen sinusförmigen Schwingung anregen, genau wie im vorigen Beispiel. Wenn wir diese Schwingungen wieder zum Gesamtsignal zusammensetzen wollen, wie in der klassischen Methode für periodische Vorgänge, so stossen wir auf unüberwindbare Schwierigkeiten, da wir die Phase der einzelnen Beiträge für ein stochastisches Signal nicht bestimmen können. Mit dieser Methode sind wir in eine Sackgasse geraten. Die Einführung des Begriffes des Leistungsspektrums ermöglicht uns aber, statistische Angaben über die Bewegung zu machen. Das Leistungsspektrum wird bestimmt, indem man den quadratischen Mittelwert des kleinen Ausgangssignals durch die Bandbreite Δn des Filters teilt. Ein fundamentales Resultat der Mathematik sagt, dass man das Leistungsspektrum der Bewegung aus dem Leistungsspektrum der Last erhält, indem man letzteres mit dem quadrierten Frequenzgang der Schwingungsamplitude multipliziert (s. Bild 17). Der quadratische Mittelwert $\overline{x'^2} = x'^2_{rms}$ der Bewegung ist dann durch die Fläche des neuen Leistungsspektrums gegeben. Gute Übersichten über die Methode findet man in [4] und [5], ihre Anwendung in [6]. Wie statistische Überlegungen zeigen, ist die maximale Grösse der Schwankung x'_{max} während eines Sturmes 3 bis 5 mal grösser als x'_{rms}.

Schliesslich muss noch gesagt werden, wie das Lastspektrum erhalten wird. Das Spektrum der Geschwindigkeitsschwankungen kann den meteorologischen Beobachtungen entnommen werden [6]. Für tiefe Frequenzen und kleine $v'/\bar{v}$ ist die Lastschwankung proportional zu v'. Beide Spektren werden also durch einen konstanten Faktor verknüpft, wie Bild 18 zeigt. Bei hohen Frequenzen werden die Verhältnisse bedeutend komplizierter, da sich in der Strömung instationäre Effekte bemerkbar machen und da die Geschwindigkeitsstörungen nicht mehr über dem ganzen Gebäude gut korreliert sind. Diese Effekte gehören heute noch zu den grössten Unsicherheitsfaktoren.

Abschliessend soll das Vorgehen mit einigen Zahlenwerten illustriert werden. Zwei Hochhäuser werden verglichen, wobei Haus «A», verglichen mit Haus «B», gut gedämpft und steif ist. Bezieht man die Schwankungen der Bewegung auf die statische Ausbiegung $\bar{x}$ bei der mittleren Geschwindigkeit $\bar{v}$, so fallen viele Zahlenwerte wie c_w, Dimensionen usw. heraus. Die verbleibenden wesentlichen Grössen sind in Bild 19 angegeben. Das Maximum im Leistungsspektrum der Geschwindigkeit liegt etwa bei $n = 0{,}016$ Hz, d. h. die wichtigsten Böen dauern etwa 1 Minute. Verkleinert man nun die Eigenfrequenz eines Gebäudes von z. B. 0,3 Hz auf 0,1 Hz, so verschiebt sich die Resonanz gegen die Teile des Spektrums, die mehr Energie enthalten. Verkleinert man zudem die Dämpfung von 0,015 auf 0,005, so nimmt das Maximum im x'-Spektrum von 86 auf über 5000 zu. Das führt zu folgenden Werten für die Ausbiegung:

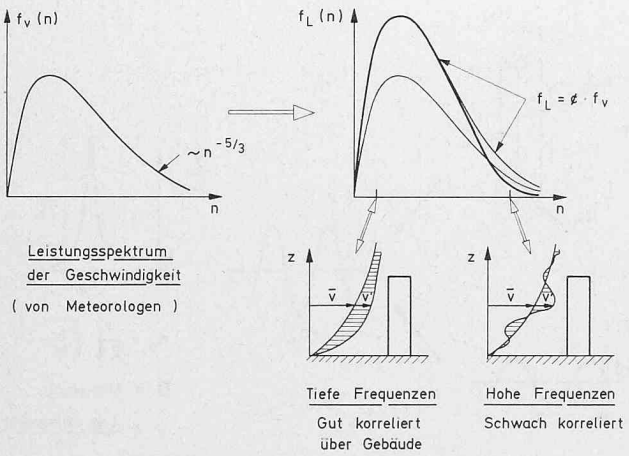
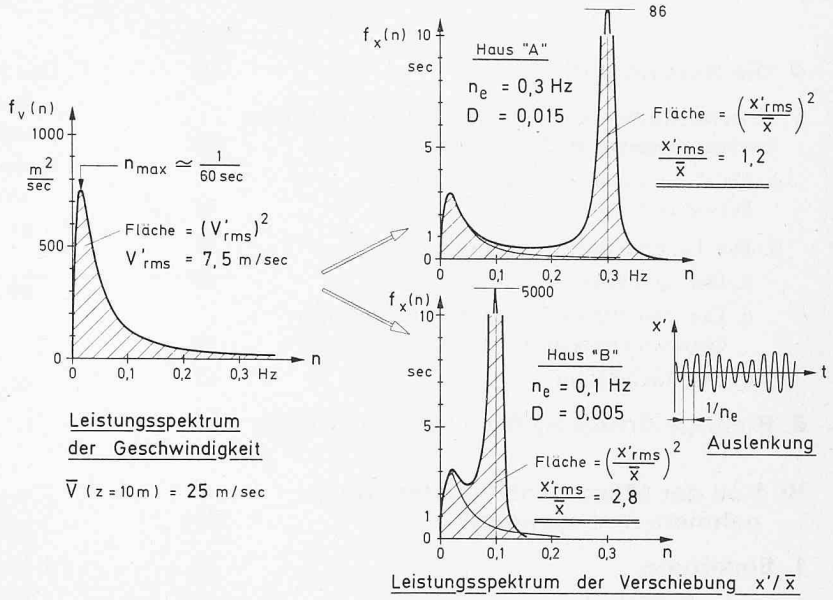


Bild 18. Lastschwankung aus Geschwindigkeitsschwankung

Bild 19. Anwendung auf typische Hochhäuser



Haus «A»	$x'_{rms}/\bar{x}$	$= 1{,}2$
	$x_{max}/\bar{x}$	$\cong 1 + 4 \cdot 1{,}2 = 5{,}8$
Haus «B»	$x'_{rms}/\bar{x}$	$= 2{,}8$
	$x_{max}/\bar{x}$	$\cong 1 + 4 \cdot 2{,}8 = 12{,}2$

Diese Zahlen zeigen, dass die maximalen Ausschläge x_{max}, die einmal wegen einem Sturm auftreten, wesentlich grösser sind als die Mittelwerte $\bar{x}$, die man mit der mittleren Geschwindigkeit $\bar{v}$ berechnet, und dass sie beträchtlich zunehmen, wenn man Dämpfung und Eigenfrequenz verkleinert.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *H. Thomann,* Institut für Aerodynamik der ETH Zürich, Professur für Strömungslehre, Sonneggstrasse 3, 8006 Zürich.

Literatur

[1] Engineering Sciences Data, No. 72026 (1972). Characteristics of wind speed in the lower layers of the atmosphere near the ground: strong winds (neutral atmosphere).

[2] Normen SIA 160 (1970). Norm für die Belastungsannahmen, die Inbetriebnahme und die Überwachung der Bauten.

[3] *P. Sachs:* Wind Forces in Engineering. Pergamon Press, 1972.

[4] *S. H. Crandall, W. D. Mark:* Random Vibration in Mecanical Systems, Acad. Press, 1963.

[5] *H. W. Liepmann:* On the Application of Statistical Concepts to the Buffeting Problem. «Journal of the Aeronautical Sciences», Vol. 19, No. 12, Dec. 1952.

[6] *A. G. Davenport:* The Treatment of Wind Loading on Tall Buildings. Proc. of a Symp. on Tall Buildings, Univ. of Southamptor 1966, Pergamon Press, 1967.

Der Unternehmer im Werkvertrag und seine Haftung für Mängel des Werkes

Ein systematischer Grundriss von Prof. Dr. **Peter Gauch,** Fribourg

DK 347.454 : 347.56

Vorwort

Wer sich in Praxis und Theorie mit dem Werkvertragsrecht befasst, stösst immer wieder auf ungelöste und umstrittene Rechtsfragen. Dieser Sachverhalt wurde den Mitarbeitern unserer Rechtsabteilung namentlich auch im Zusammenhang mit den Revisionsarbeiten zur SIA-Norm 118 bewusst. Darin besteht der Grund, weshalb wir im vergangenen Frühjahr Dr. *Peter Gauch,* damals noch unser Mitarbeiter, mit der Abklärung einiger Fragen aus dem Werkvertragsrecht betrauten. Gedacht war zunächst an die Abklärung bestimmter Einzelfragen. Was jedoch in Wirklichkeit entstand, war eine systematische Abhandlung über den Unternehmer im Werkvertrag und seine Haftung für Mängel des Werkes. Ein Arbeitsergebnis, das wir schon deshalb begrüssen, weil es nach unserer Ansicht zur Aufgabe des SIA gehört, auch auf dem Gebiete des Baurechts Forschungsarbeit zu leisten und zu unterstützen.

Die Abhandlung von Dr. Peter Gauch soll in dieser und in der nächsten Ausgabe der «Schweizerischen Bauzeitung» veröffentlicht werden, um sie einem breiten Publikum zugänglich zu machen. Mit Rücksicht auf die überragende Bedeutung, die dem Werkvertragsrecht im Bauwesen zukommt, erfolgt die Veröffentlichung ungekürzt. Wir hoffen damit, den Lesern der Bauzeitung, die zum grossen Teil fast täglich mit dem Werkvertragsrecht konfrontiert werden, einen Dienst zu erweisen.

M. Beaud, Leiter der Rechtsabteilung des SIA

Inhaltsverzeichnis

Literaturverzeichnis S. 155
Abkürzungsverzeichnis S. 156

Nr.

I. Einleitung 1

II. Vom Unternehmer und von seiner Leistungspflicht im allgemeinen 4

1. Die Herstellung eines Werkes 5

A. Herstellung eines Werkes als Arbeitsleistung 6

B. Das Werk als Arbeitserfolg 8

C. Der Werkstoff 16

D. Eigene Herstellung des Werkes oder Vergebung an Dritte 19

2. Die Ablieferung des Werkes 26

3. Die Entgeltlichkeit der Unternehmerleistung 36