

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 71 (1953)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Modellversuche zur Bestimmung der Windverteilung an Kühltürmen  
**Autor:** Fischer, Albert  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-60472>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

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

# Modellversuche zur Bestimmung der Windverteilung an Kühltürmen

Von ALBERT FISCHER, Dipl. Ing. ETH, Paris

DK 624.042.41.001.5

## A. Einleitung

Anlässlich der Berechnung und des Entwurfs eines 66 m hohen Kühlturmes für das Kraftwerk Gardanne wurde die Frage aufgeworfen, ob die der statischen Berechnung zugrunde gelegte Verteilung der Winddrücke den tatsächlichen Verhältnissen entspreche. Der Kühlturm ist hier schon beschrieben worden<sup>1)</sup>. Wie dort aus Bild 1 ersichtlich, besteht er aus einem unteren Kegelstumpf, einem Zylinder und einem oberen Kegelstumpf. Kleine Rippen, die als Schalungshalter dienen, stehen um 4 cm über den eigentlichen Mantel vor (Bild 1). Die statische Berechnung wurde nach der früher angegebenen Methode<sup>1)</sup> durchgeführt, wobei für die Winddruckverteilung die dort auf den Bildern 3 und 3a dargestellten Kurven vorgeschlagen worden sind. Die Kurve von Bild 3<sup>1)</sup> deckt sich fast genau mit der in den französischen Vorschriften «Règles N. V. 46» für einen unendlich langen Zylinder angegebenen Kurve (Bild 2).

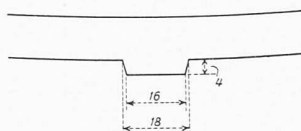


Bild 1. Horizontalschnitt

Nun wurde die Frage aufgeworfen, ob diese Kurve auch für den Kühlturm Anwendung finden könne, dessen Form vom Zylinder etwas abweicht; ausserdem gilt die Kurve für rauhe Zylinder. Versuche an glatten Hyperboloiden haben eine andere Druckverteilung und wesentlich stärkere Spitzenwerte des Soges ergeben. Es wurde deshalb beschlossen, Modellversuche auszuführen, um folgende Fragen beantworten zu können: 1. Hat man es im Fall des Kühlturmes mit den kleinen Rippen mit einem glatten oder mit einem rauhen Körper zu tun? 2. Wie verlaufen die Winddruckverteilungskurven am Kühlturm? Die Société Rateau in La Courneuve, Seine, hat diese Modellversuche im Auftrag des Bauherrn durchgeführt.

1) SBZ 1950, Nr. 41, S. 563\*.

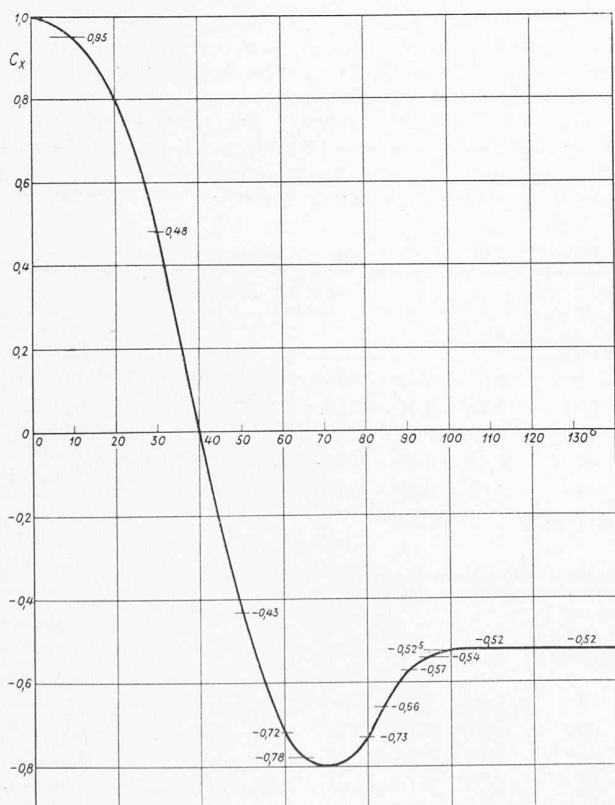


Bild 2. Vorgeschlagene Winddruckverteilung

## B. Beschreibung der Versuche

### 1. Versuchsanordnung

Ein Modell im Masstab 1:200 wurde aus Holz angefertigt und mit 64 Druckmessstellen versehen, die auf acht Kreisen in verschiedenen Höhenlagen verteilt waren. Die Anordnung des Modells im Windkanal ist aus Bild 3 ersichtlich. Das Modell wurde in halber Höhe des Windstrahles auf einer horizontalen Platte befestigt, die genügend lang war, um den Bodeneinfluss zu verwirklichen. Um zu vermeiden, dass der Turm eine unsymmetrische Strömung des Strahles hervorruft, wurde unter der Platte ein Zylinder A befestigt, der den gleichen mittleren Durchmesser hat wie der Turm. Dies ermöglichte auch in B die Messröhren vom Inneren des Modells an die Manometer heranzuführen. Zur Messung des Gesamtwiderstandes wurde der Turm auf dem Mast C einer Dreikomponentenwaage befestigt. Eine Fuge von 0,8 mm Höhe zwischen Turm und Bodenplatte ermöglichte die Bewegung des Mastes.

Bei einer Windgeschwindigkeit von 31,4 m/s betrug die Reynoldssche Zahl des Modells  $4,06 \times 10^5$ . Für das Bauwerk selbst wurde dieser Wert mit einer den örtlichen Verhältnissen entsprechenden Windgeschwindigkeit zu  $8,5 \times 10^7$  berechnet. In beiden Fällen befindet man sich ausserhalb der Uebergangszone. Die Bedingungen sind also vergleichbar.

Die Messversuche wurden an zwei Modellen durchgeführt; das eine war glatt; auf dem anderen waren 96 Drähte von 0,2 mm  $\phi$  befestigt, die den Rippen am Bauwerk entsprechen. Bild 4 zeigt die Lage der acht Druckmesskreise.

### 2. Auswertung der Messungen

Für jeden Kreis wurde die Druckverteilung an acht Stellen gemessen. Bezeichnen  $p$  den statischen Druck auf der Aussenfläche des Turmes,  $p_\infty$  den statischen Druck im Versuchsraum, der praktisch dem statischen Druck des Strahles in genügender Entfernung vor dem angeströmten Modell gleich ist, und  $p_s = \rho v^2 / 2g$  den Staudruck des Strahles, so erhält man den Vergleichswert  $C_p$ , der die Druckverteilungskurve für den Staudruck 1 darstellt, mit Hilfe der Gleichung

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{p_s}$$

An Hand der gemessenen Verteilung wurde der mittlere Widerstandskoeffizient  $C_x$  für jeden horizontalen Schnitt bestimmt.  $C_x$  ist die Resultierende sämtlicher  $C_p$ -Werte für den betreffenden Schnitt; diese Resultierende ist infolge Symmetrie der Kurve parallel zur Windrichtung. Der Wert  $C_x$  wurde auch mit der Waage gemessen. Diese gibt den Wert  $R_x$  des Gesamtwiderstandes durch Messung der Verschiebung der Stahllamelle D (Bild 3).

Dann ist

$$C_x = \frac{R_x}{S p_s}$$

wobei S die Stirnfläche des Versuchskörpers darstellt.

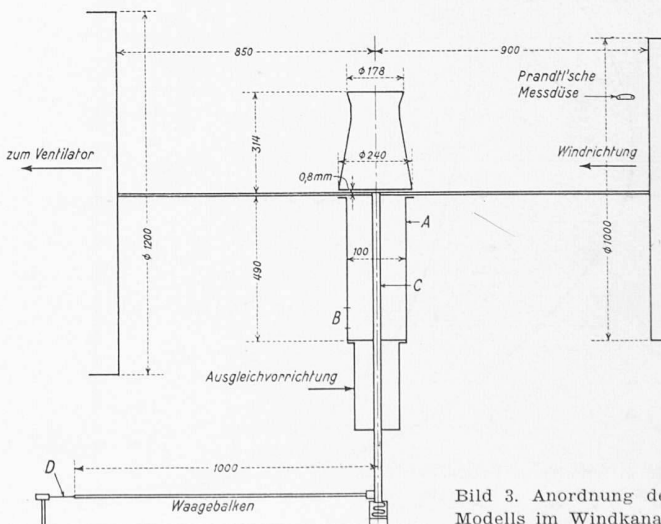


Bild 3. Anordnung des Modells im Windkanal

**C. Versuchsergebnisse**

**1. Allgemeine Ergebnisse**

Bevor wir auf die einzelnen Messergebnisse eingehen, sollen einige Gesamtergebnisse angegeben werden.

**a) Glattes Modell**

Die Messergebnisse stimmen im wesentlichen mit den für glatte Zylinder bekannten Kurven überein. Der seitliche Sog erreicht unter 90° zur Angriffsrichtung sein Maximum. Dieses ist ungefähr doppelt so gross wie der Staudruck des Strahles (Bild 6). Weiter ist der seitliche Sog am grössten an der schlanksten Stelle des Turms, das heisst im Zylinderteil (Bild 5).

Die Randeinflüsse an der Krone und am Fuss (Bodeneinfluss) machen sich in einem Abnehmen der Maximalwerte des Soges nach oben und unten bemerkbar. Der Mittelwert  $C_x$ , der an Hand der Kurven berechnet wurde, beträgt  $C_x = 0,248$ . Der mit der Waage bestimmte Wert beträgt  $C_x = 0,278$ . Der Unterschied rührt von der Reibung her, die in der Integrationsformel nicht enthalten ist.

**b) Rauhes Modell**

Auch hier stimmen die Messergebnisse im wesentlichen mit den für rauhe Zylinder bekannten Kurven überein. Der seitliche maximale Sog ist kleiner als der Staudruck des Strahles und befindet sich nicht mehr bei 90° zur Angriffsrichtung, sondern bei 70° (Bild 6). Auf der ganzen hinteren Hälfte ist der Sog praktisch konstant und beträgt ungefähr 0,5. Auch hier machen sich die Randeinflüsse in gleicher Weise in einer Abnahme der Maximalwerte nach den beiden Enden bemerkbar.

Der mit den Kurven berechnete Mittelwert  $C_x$  beträgt 0,228, während mit der Waage 0,6 gefunden wurde. Der Unterschied kommt auch hier von der Reibung, die in diesem Falle natürlich viel grösser ist als beim glatten Modell.

Die Modellversuche ergaben eine klare Antwort bezüglich der 1. Frage: rauher oder glatter Körper. Das Vorhandensein der Rippen führt zu Druckverteilungskurven, die einem rauhen Körper entsprechen.

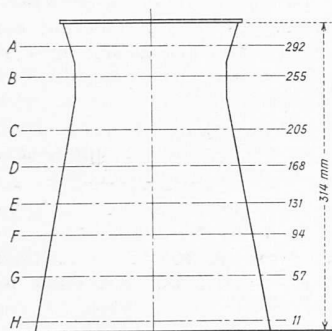


Bild 4. Lage der Druckmesskreise am Modell 1:200

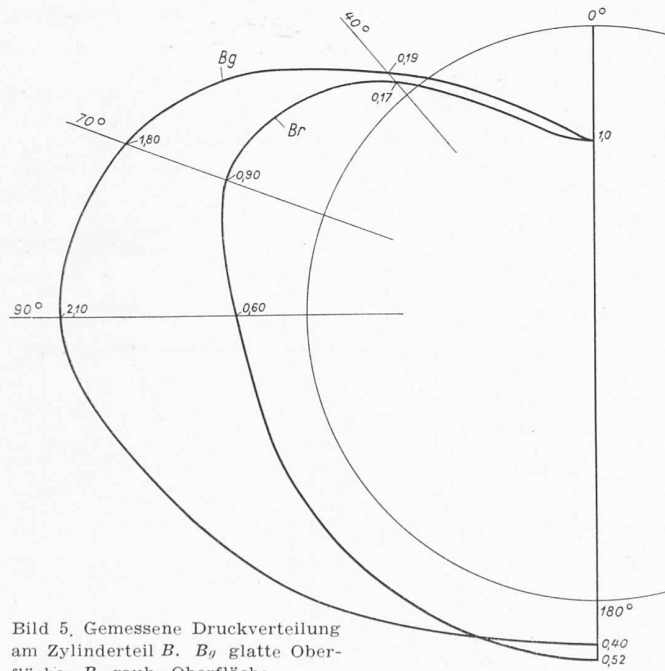


Bild 5. Gemessene Druckverteilung am Zylinderteil B.  $B_g$  glatte Oberfläche;  $B_r$  rauhe Oberfläche.

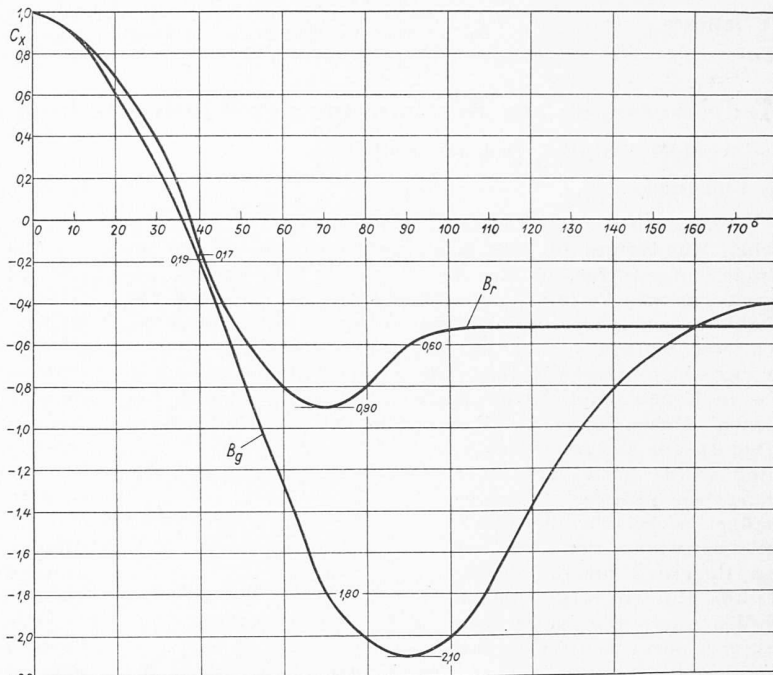


Bild 6. Gemessene Druckverteilung am Zylinderteil.  $B_g$  glatte Oberfläche,  $B_r$  rauhe Oberfläche

**2. Winddruckkurven**

Die Frage nach dem Verlauf der Winddruckkurven wurde durch die Bestimmung des Druckverlaufs, wie er auf den Bildern 5 bis 9 dargestellt ist, beantwortet, auf den nun näher eingegangen werden soll. Die Bilder 5 und 6 zeigen zunächst die Verschiedenheit der Kurven am glatten und am rauhen Körper. Die Kurven entsprechen dem Kreis B (Bild 4) im zylindrischen Teil. Sie zeigen den wesentlichen Unterschied der Druckverteilung bei verschiedener Beschaffenheit der Mantelfläche. Tabelle 1 gibt die aus den Messungen bestimmten  $C_p$ -Werte für beide Versuchskörper. Obwohl der Kühlturm als rauher Körper anzusehen ist, sind der Vollständigkeit halber auch die Werte für den glatten Körper auf Tabelle 2 angegeben.

Die Kurven für den rauhen Körper zeigt Bild 7. Abgesehen von der Kurve für den untersten Querschnitt H, wo die Bodennähe stark stört, sind die Kurven wohl untereinander ähnlich, aber doch nicht gleich. Zur Durchführung der Spannungsberechnung wurde aber angenommen, dass  $C_p$  wohl mit der Neigung  $\beta$  zur Windrichtung ändert, dass aber die Verteilung unabhängig von der Höhenlage ist. Es fragt sich somit, ob die in Bild 2 dargestellte Kurve eine gültige Mittelwertskurve für die Berechnung darstelle.

Tabelle 1.  $C_p$ -Werte für rauhe Mantelfläche

Neigung $\beta$ zur Windrichtung	Lage der Messtellen							
	A	B	C	D	E	F	G	H
0°	+ 1,00	+ 1,00	+ 0,97	+ 0,97	+ 0,98	+ 1,02	+ 1,03	+ 1,03
40°	0,00	- 0,17	- 0,15	- 0,15	- 0,12	- 0,07	0,00	+ 0,10
70°	- 0,76	- 0,90	- 0,92	- 0,90	- 0,87	- 0,88	- 0,80	- 0,30
90°	- 0,62	- 0,60	- 0,58	- 0,59	- 0,49	- 0,45	- 0,44	- 0,49
180°	- 0,47	- 0,52	- 0,50	- 0,53	- 0,50	- 0,45	- 0,35	- 0,25

+ = Druck - = Sog

Tabelle 2.  $C_p$ -Werte für glatte Mantelfläche

Neigung $\beta$ zur Windrichtung	Lage der Messtellen							
	A	B	C	D	E	F	G	H
0°	+ 1,00	+ 1,00	+ 1,00	+ 1,00	+ 1,00	+ 1,00	+ 1,00	+ 1,00
40°	0,00	- 0,19	- 0,13	- 0,19	- 0,12	- 0,03	+ 0,05	+ 0,19
70°	- 1,38	- 1,80	- 1,90	- 1,39	- 1,66	- 1,49	- 1,29	- 1,00
80°	- 1,57	- 2,10	- 2,08	- 2,03	- 1,91	- 1,74	- 1,49	- 1,30
180°	- 0,4	- 0,4	- 0,3	- 0,3	- 0,3	- 0,27	- 0,28	- 0,32

+ = Druck - = Sog

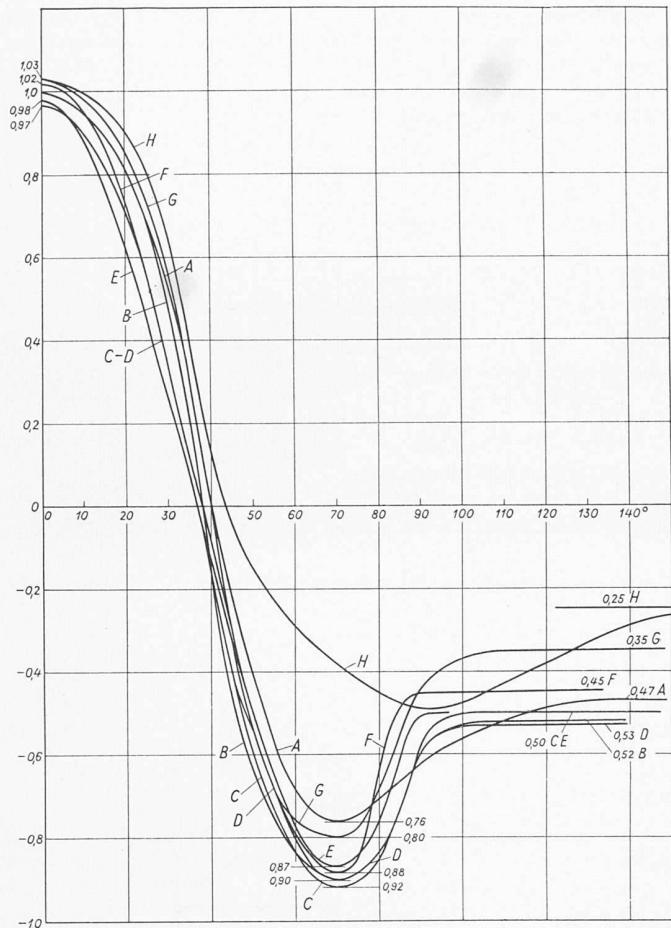


Bild 7. Gemessene Winddruckverteilung beim rauhen Kühlturm. Die Buchstaben A bis H entsprechen den Druckmesskreisen auf Bild 4

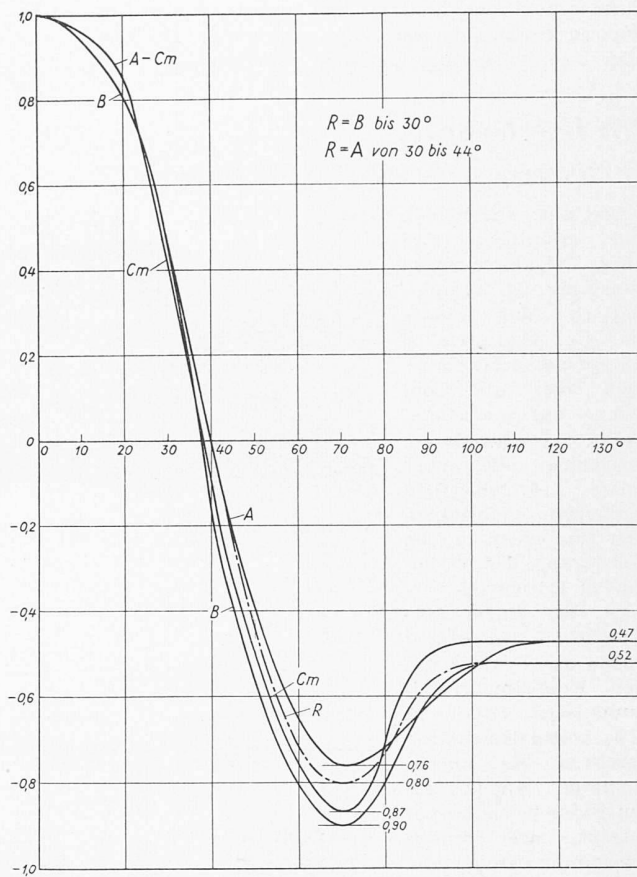


Bild 9. Gemessene Winddruckverteilung. A Oberer Kegelstumpf, E Zylinder,  $C_m$  Mittelwert für den unteren Kegelstumpf, R der Berechnung zugrunde gelegte Verteilung

Zur Abklärung dieser Frage haben wir zunächst die Mittelwertskurve für den unteren Konus bestimmt unter Weglassung der Kurve für den Querschnitt H. Die  $C_p$ -Mittelwerte aus den Kurven C—D—E—F—G betragen:

$\beta$	0°	40°	70°	90°	180°
$C_p$	1,0	-0,1	-0,87	-0,5	-0,47

Die Nullstelle liegt bei 38°.

Bild 8 zeigt in radialer Darstellung links die  $C_p$ -Kurven für den unteren Konus, Querschnitte C, D, E, F und G, rechts die Kurven für den Zylinderteil B, für den oberen Kegelstumpf A und die Mittelwertskurve für den unteren Kegelstumpf  $C_m$ .

Bild 9 zeigt die gleichen Kurven in abgewickelter Darstellung, wie die auf der rechten Hälfte von Bild 8 aufgetragenen Kurven. Ferner haben wir die R-Kurve von Bild 2 ebenfalls eingezeichnet, die zur Berechnung vorgeschlagen wurde. Von 0° bis 30° deckt sich die R-Kurve mit der B-Kurve; von 30° bis 44° deckt sie sich mit der A-Kurve, von 44° bis 80° liegt sie zwischen der A- und  $C_m$ -Kurve, von 80° bis 100° zwischen der  $C_m$ - und der B-Kurve, um sich bei 105° mit der B-Kurve zu decken. In Anbetracht der verschiedenen Vereinfachungen, die gemacht werden müssen, um die Ermittlung der Spannungen durchführen zu können<sup>1)</sup>, kann die oben gestellte Frage bejaht, also die R-Kurve für die Berechnung verwendet werden.

**D. Schlussbemerkungen**

Die Versuche haben einige Fragen der Winddruckverteilung an Kühltürmen

geklärt. Sie haben den Einfluss der kleinen Rippen auf die Windverteilungskurven klar gezeigt. Diese erhöhen die Rauigkeit des Mantels ganz wesentlich und geben Kurven, die von denen für den glatten Mantel sehr verschieden sind. Ferner haben sie Aufschluss gegeben über die Veränderlichkeit der  $C_p$ -Werte mit der Höhe und der Form des Körpers. Die Randinflüsse an der Krone und am Fuss machen sich stark be-

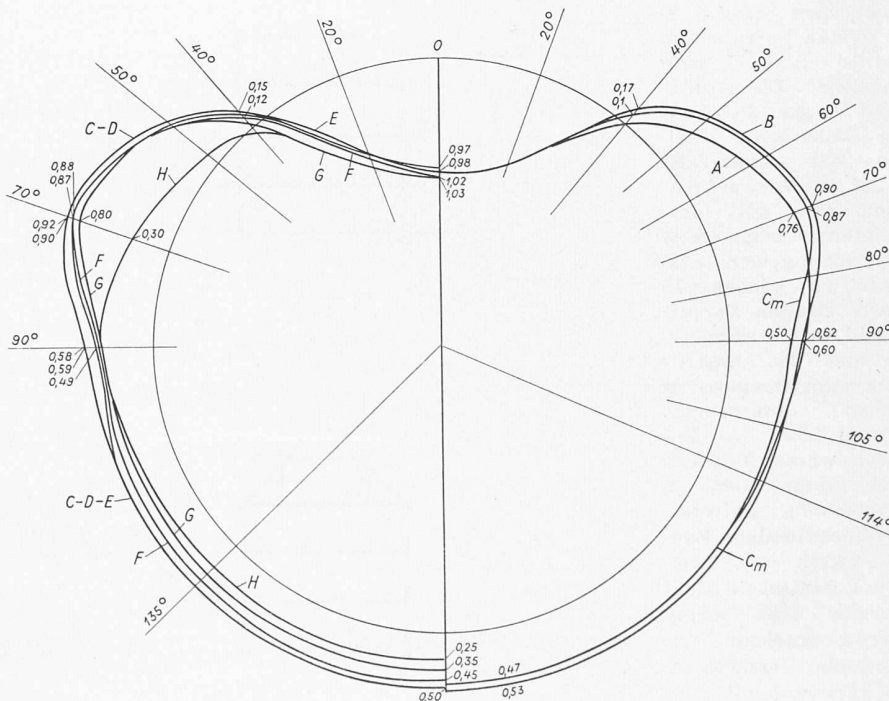


Bild 8. Gemessene Winddruckverteilung; links längs Messkreisen C bis H; rechts längs Messkreisen A und B, sowie Mittelwert  $C_m$  für den unteren Kegelstumpf

merkbar; jedoch sind hier die Ergebnisse nicht vollständig genug. Weitere Versuche, die die Auflagerkonstruktion des Turmes und den Einfluss des aufsteigenden Luftzuges im Inneren berücksichtigen, sind notwendig. Die Windversuche allein, so vollständig sie auch sein können, genügen nicht.

Spannungsmessungen müssten ebenfalls durchgeführt werden, um die Richtigkeit der getroffenen Annahmen nachzuprüfen. Hier bleibt weiterhin ein weites und interessantes Versuchsfeld offen, das der Wissenschaft und der Praxis wichtige Unterlagen geben könnte.

## 2 1/2 Geschosse!

Ein Fall, vorgelegt von Arch. LUX GUYER, Zürich

DK 72.012.321

Der hier abgebildete und erläuterte Fall einer 2 1/2-geschossigen Bebauung ist symptomatisch. Man könnte ihn als erfolgreichen Kampf gegen das Flachdach oder als Lobhymne auf die eingezwängte Dachwohnung bezeichnen. Es muss jedem fortschrittlich denkenden Architekten weh tun, wenn er den Werdegang des vorliegenden Entwurfes verfolgt. Zu einer Vorentscheid eingereicht wurde das Projekt mit vier Doppelmehrfamilienhäusern (Bilder 1 u. 2), wobei das «halbe» Geschoss als klarer, kleinerer Kubus auf den grossen Baukörper gesetzt, zwei schöne Zweizimmerwohnungen enthaltend, ausgebildet wurde. Die Zugänge zu allen Wohnungen sind bergseits, laubengangähnlich gelöst (Bilder 5 u. 6, oben); ein raumfressendes Treppenhaus fehlt (jede Wohnung hat ihren eigenen Eingang, vom Freien zugänglich); die Wohnungsgrundrisse sind nicht nach Schema F. Im ersten Vorentscheid wurde diese Lösung abgelehnt. Die Gründe dazu lassen sich aus der Bauordnung ableiten. Wir wollen niemand den Vorwurf machen, eine seit Jahrzehnten eingespielte Bauordnung nicht auslegen zu können. In einem zweiten Vorentscheid wurde versucht, ob man das umstrittene halbe Geschoss im Keller unterbringen könnte (Bild 3). Dadurch wären talwärts drei Vollgeschosse in Erscheinung getreten. «Dreigeschossige» Bauten waren laut zweitem Vorentscheid nicht genehm. Man schlug der Architektin vor, das halbe Geschoss im Dachgeschoss mit «hinuntergehendem Dach» unterzubringen (Bild 4,

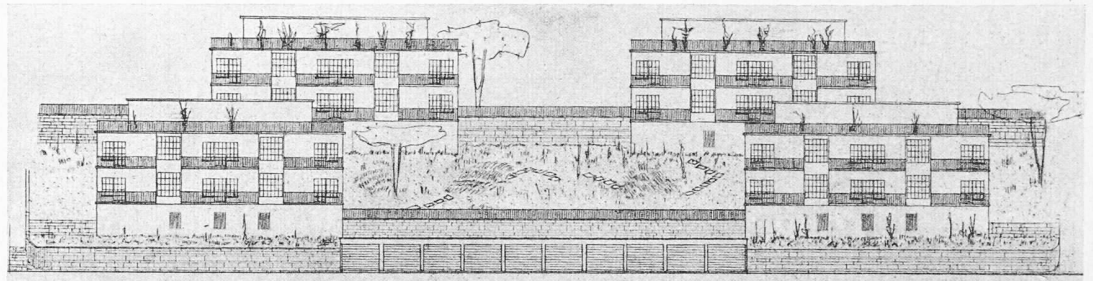


Bild 1. Die ursprünglich beabsichtigte Bebauung mit vier Sechsfamilienhäusern. Gesamtansicht Masstab 1:600

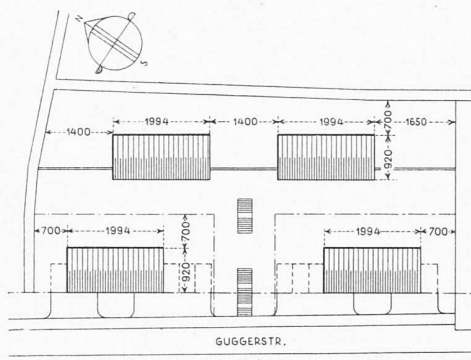


Bild 2. Situationsplan Masstab 1:1500

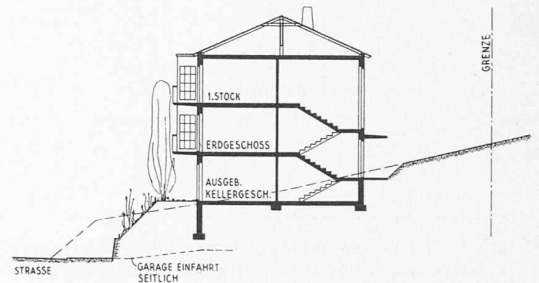


Bild 3. Das im zweiten Vorentscheid abgelehnte halbe Geschoss im Keller, Masstab 1:600

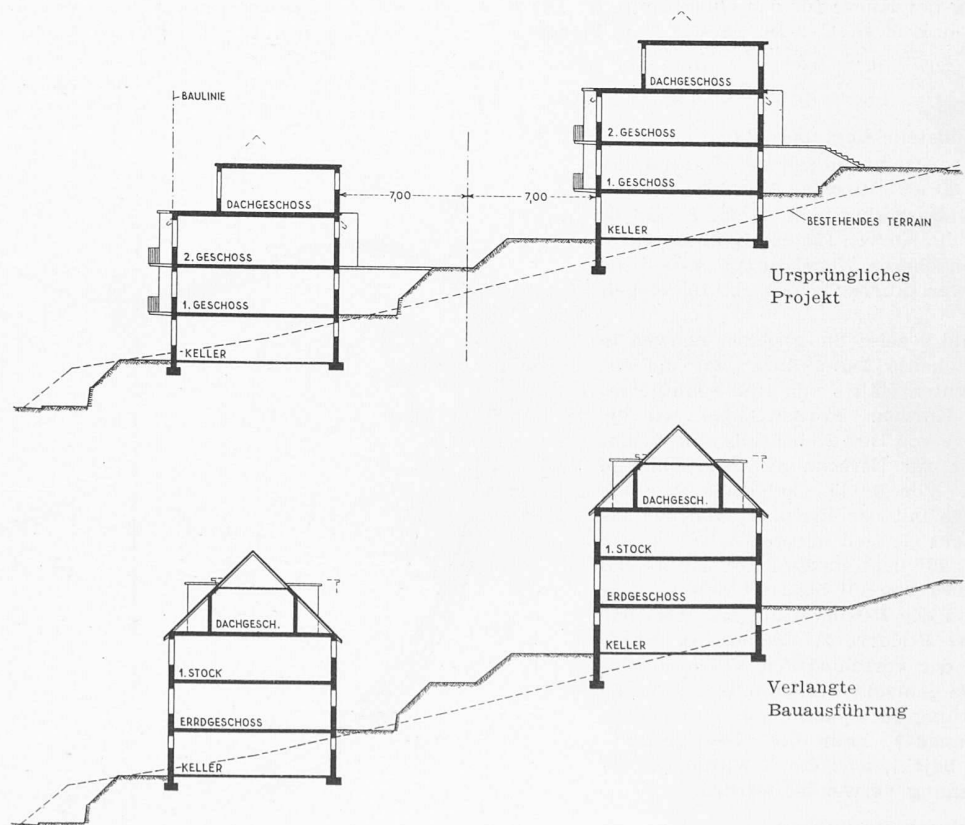


Bild 4. Oben: Schnitt durch die ursprünglich beabsichtigten Bauten mit dem zurückgesetzten halben Geschoss als Aufbau. Unten: das nach dem zweiten Vorentscheid verlangte ausgebaute Dach.