



Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn
The Netherlands

www.mep.tno.nl

T +31 55 549 34 93
F +31 55 541 98 37
info@mep.tno.nl

TNO-report

R 2001/368

Hochbau bedroht das Windklima unserer Städte

Date	August 2001
Authors	Ing. G.Th. Visser
Order no.	004.07122/01.63
Keywords	
Intended for	This article has been published in Bauphysik 23 (2001), Heft 2

All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced and/or published by print, photoprint, microfilm or any other means without the previous written consent of TNO.

In case this report was drafted on instructions, the rights and obligations of contracting parties are subject to either the Standard Conditions for Research Instructions given to TNO, or the relevant agreement concluded between the contracting parties.

Submitting the report for inspection to parties who have a direct interest is permitted.

Zusammenfassung

Die Tendenz, immer höher zu bauen, bedroht das Windklima in unseren Städten. Außerdem werden die kompakten Städte, wie sie in früheren Zeiten angelegt wurden, wegen des zunehmenden Straßenverkehrs immer mehr durch breitere Straßen erschlossen. Nur wenige Menschen sind sich bewußt, daß mit den Hochhäusern in unseren Städten auch immer mehr Stürme hervorgerufen werden. Unsere früher so angenehmen kompakten Städte werden hierdurch immer mehr zu offenen, windigen Zuglöchern, wo sogar die Gefahr besteht, daß stellenweise Menschen von Windböen umgerissen werden können.

Es ist von großer Wichtigkeit, diese Entwicklungen zu verfolgen und bei jedem Hochbauvorhaben die Folgen für das lokale Mikroklima zu untersuchen. Im Entwurfstadium lassen sich ungünstige Wirkungen oft noch berichtigen oder wenigstens beherrschbar machen.

In diesem Beitrag wird erörtert, wie der Windkomfort beeinträchtigt wird und worauf man achten soll, um mögliche Windprobleme bereits auf dem Reißbrett erkennen zu können. Anschließend wird beschrieben, wie man bei Gebäuden und im städtischen Bereich das Windklima bestimmen kann. Für eine erste Erkundung der möglichen Windempfindlichkeit eines Gebäudes kann oft das Computerprogramm KnoWind eingesetzt werden. Wenn es sich herausstellt, daß bei einem Gebäude der Windkomfort beeinträchtigt werden kann, sollte jedoch in einem atmosphärischen Grenzschicht-Windkanal eine eingehendere Untersuchung durchgeführt werden. Eine Faustregel ist, daß Bauten mit einer Höhe von mehr als 50 m im Modell einer Windkanaluntersuchung unterzogen werden sollten. Am Beispiel einer solchen Windkanaluntersuchung wird gezeigt, wie das Windklima als Folge der Errichtung eines Hochhauses beeinträchtigt wird und wie man diesen Nachteil durch gezielte Maßnahmen berichtigen kann.

High-rise buildings threaten microclimate in cities. The tendency to erect tall buildings is threatening the microclimate in our cities. Furthermore, the compact cities from the past are more and more opened up by broad avenues because of increasing traffic flows. Only few people are aware that high-rise buildings also introduce local gales in our cities. As a consequence, our cities, which used to be so comfortable and compact, are changing into open, windy draft-holes, with even the risk of people being blown off their feet by sudden gusts.

It is very important to keep a close track of these developments and to investigate the effects of a high-rise block in the local microclimate each time when such a building is planned. At the design stage it is often possible to remedy adverse effects or at least to bring them under control.

The article describes how wind problems arise and what is to be born in mind to recognize potential threats to the wind comfort at the design stage. Then it is described how to determine the wind climate near buildings and in urban areas. The computer programme KnoWind often can be a very useful tool for a first check of potential wind nuisance. If a building appears to be sensitive to wind nuisance, ho-

wever, further testing in an atmospheric boundary-layer wind tunnel is necessary. A rule of thumb is that buildings taller than 50 m should be subjected to wind tunnel testing. A wind tunnel example show how the wind climate can become worse as a result of erection of a tall building and how specific measures can help to set off this disadvantage.

Inhaltsangabe

Zusammenfassung	2
1. Einleitung	5
2. Die Entstehung von Windgefahren	6
3. Hochhäuser beeinflussen das Windklima unserer Städte	8
4. Windeffekte	9
4.1 Eckeffekte	9
4.2 Unterführungen	13
4.3 Durchgänge zwischen Gebäuden	14
5. Das Mikroklima	16
6. Windkanaluntersuchungen	19
6.1 Atmosphärischer Grenzschicht-Windkanal	19
6.2 Ausführung	21
6.3 Beispiel	21
7. Kurze Übersicht von Modelluntersuchungen im Windkanal	23
7.1 Winddruckmessungen	23
7.2 Windkraftmessungen	23
7.3 Ausbreitung von Gasen	24
8. Schlußbemerkungen	25
9. Literatur	26
10. Verantwortung	27

1. Einleitung

Durch den Hochbau in Großstädten kommt es bisweilen zu gefährlichen Situationen, bei denen Passanten durch Windböen umgerissen werden können. Nur wenige Menschen sind sich dessen bewußt, daß es sich dabei nicht um eine Naturerscheinung handelt. Die lokalen Stürme in unseren Städten sind nämlich Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten, und zwar der Errichtung von Hochhäusern. Durch den zunehmenden Trend, unsere Innenstädte mit Hochhäusern anzureichern, werden lokale heftige Stürme an Orten hervorgerufen, wo vor kurzem noch ein angenehmes Windklima herrschte. In diesem Beitrag wird diese Problematik näher erläutert.

2. Die Entstehung von Windgefahren

Wind wird über dem Boden durch allerlei Unebenheiten, wie Städte, Wälder, Weiden usw., abgebremst. Dieser Effekt wird in größerer Höhe immer geringer, d.h. die Windgeschwindigkeit nimmt mit der Höhe zu; ein 'Windgeschwindigkeitsprofil' entsteht. Der Verlauf der Windgeschwindigkeiten in unterschiedlicher Höhe kann für eine neutrale Atmosphäre durch das sogenannte logarithmische Wandgesetz beschrieben werden:

$$U_z = \frac{u^*}{k} * \ln\left(\frac{z-d}{z_o}\right)$$

Hierin ist:

U_z	Windgeschwindigkeit in Höhe z
u^*	Schubspannungsgeschwindigkeit
k	von-Karman-Konstante (0,4)
z	Höhe über der Bodenoberfläche
d	Versatzhöhe
z_o	Rauhigkeitslänge

Der Rauhigkeitslänge ist eine Funktion der Rauhigkeit der Bodenoberfläche und variiert zwischen 0,0002 m (Meer) und 2 m (Großstadt). Die angeführte Gleichung gilt erst ab einer bestimmten Höhe. Diese Höhe, die von der Höhe der Hindernisse abhängt, heißt die Versatzhöhe (d). Sie kann näherungsweise auf 1/2 bis 2/3 der durchschnittlichen Hindernishöhe geschätzt werden. Für Wälder und Städte liegt sie in der Größenordnung von 5 bis 10 m. Die Versatzhöhe gibt also an, ab welcher Höhe das logarithmische Geschwindigkeitsprofil gilt.

Unebenheiten der Bodenoberfläche sorgen auch dafür, daß knapp über dem Boden starke Turbulenzen auftreten. In großer Höhe ist der Einfluß der Bodenunebenheiten geringer, d.h. die Turbulenzen werden schwächer; es entsteht also ein 'Turbulenzprofil'.

Bei senkrechter Windanströmung an einem Gebäude entsteht an der luvseitigen Fassade in einer Höhe, die etwa 3/4 der Gebäudehöhe entspricht, ein Staupunkt, an dem die anströmende Luft zum Stillstand kommt. Von diesem Punkt aus breitet sich die Luft über der Fassade fächerförmig aus (Bild 1). Unterhalb des Staupunktes strömt die Luft also schräg nach unten über die Fassade, wodurch sich in Eckbereich zwischen Fassade und Boden ein Wirbel bildet. Dieser strömt auf beide Fassadenenden zu und wird dabei durch die Luftzufuhr entlang der Fassade auf etwa das Niveau der Windgeschwindigkeit in Dachhöhe verstärkt. An den Ecken biegen diese Wirbel schließlich nach den Seitenwänden an der Leeseite ab und biegen mit der Strömung mit. Hierdurch entstehen an den Gebäudekanten lappenförmige Gebiete mit stark erhöhten Windgeschwindigkeiten ('corner streams'). Die Windgeschwindigkeiten an diesen Stellen entsprechen etwa denen in Dachhöhe.

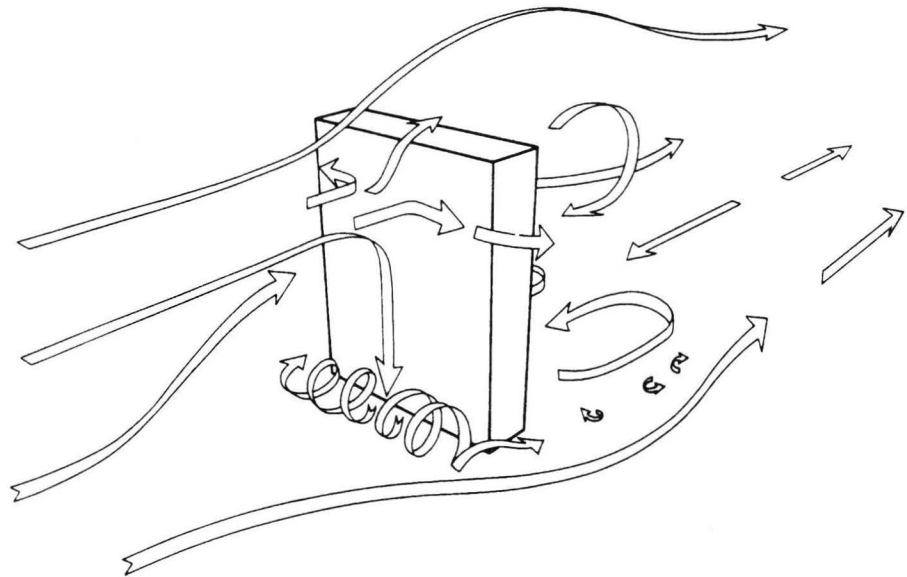


Bild 1 Strömungsmuster um ein Gebäude

Hohe Gebäude haben demnach die Eigenschaft, Windgeschwindigkeiten, wie sie normalerweise nur in Dachhöhe herrschen, auf das Bodenniveau zu bringen. Da die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zunimmt, sind bei höheren Gebäuden die Werte in Dachhöhe (und damit die auf Bodenniveau entstehenden Geschwindigkeiten sowie die Windprobleme) größer.

3. Hochhäuser beeinflussen das Windklima unserer Städte

In früheren Zeiten wurden die Städte im allgemeinen viel kompakter gebaut, mit meist schmalen Gassen, die einen natürlichen Windschutz darstellten und somit auch einen angenehmen Aufenthalt gewährleisteten.

Als Folge des zunehmenden Autoverkehrs wurden unsere Städte dann durch breitere Straßen erschlossen. Dadurch kann der Wind oft ziemlich ungehindert bis tief in die Städte eindringen. Die hohen Windgeschwindigkeiten in und um unsere Städte werden stellenweise durch die hohen Gebäude noch zusätzlich erhöht. Durch die Wechselwirkungen zwischen hohen Gebäuden sowie den lokalen Abschirmungen einzelner Hochhäuser können hierbei in den örtlichen Windgeschwindigkeiten starke Gradienten auftreten. Dies führt oft zu einer drastischen Verschlechterung des Mikroklimas unserer Städte, mit vielen Luftlöchern und stellenweise zu einer starken Beeinträchtigung des Windklimas an den Gebäuden.

Ein Vorteil der offenen städtischen Struktur mit ihren erhöhten Windgeschwindigkeiten besteht natürlich darin, daß Kfz-Auspuffgase schneller und besser verdünnt werden. Stellenweise muss dies jedoch durch eine bisweilen unzulässig starke Verschlechterung des Windklimas erkaufte werden, was bis zum Umwehen von Passanten durch Windböen führen kann.

Auch auf städtebaulichem Niveau könnte man natürlich versuchen, die Problematik des örtlich verschlechterten Windklimas durch eine geeignete Bauparzellierung und eine günstige Lage und Breite der Erschließungswege in den Griff zu bekommen. In den meisten Fällen ist dies jedoch nicht mehr möglich. Der städtebauliche Entwurf liegt meist fest und daneben muß der Kfz-Verkehr natürlich ungehindert ablaufen können.

Lokal, also in der Nähe der Gebäude, sind hingegen mit Hilfe von Bäumen, Bepflanzungen, Windschutz, Vordächern usw. durchaus sinn- und wirkungsvolle Verbesserungen des lokalen Windklimas möglich. In einigen Fällen sind auch noch Änderungen am Entwurf oder der Orientierung eines hohen Gebäudes möglich, womit das örtliche Windklima verbessert wird.

Mit Hilfe des Softwarepakets 'KnoWind' kann man in nicht allzu komplexen Situationen und an schematisierten Gebäuden rasch untersuchen, ob ein Gebäudeentwurf möglicherweise Anlaß zu einer Verschlechterung des Windkomforts geben wird [1]. Ist dies der Fall, dann sollte in einem Windkanal weiter untersucht werden, welche Maßnahmen ergriffen werden müssen, um nach der Fertigstellung des Gebäudes Windprobleme zu vermeiden.

4. Windeffekte

Bei Gebäuden und in deren bebauter Umgebung treten verschiedenartige Windeffekte auf. Die drei wichtigsten und häufigsten sollen hier näher erörtert werden.

Zur Angabe der lokalen Windgeschwindigkeiten werden die Windgeschwindigkeiten in Kopfhöhe um das Gebäude (U) stets auf die Windgeschwindigkeit bezogen, die in derselben Höhe bei Abwesenheit des Gebäudes auftreten würden (U_0), also:

$$K = \frac{U}{U_0}$$

K wird der Verstärkungsfaktor genannt.

4.1 Eckeffekte

In abschnitt 2 wurde dargelegt, daß sich an den Gebäudeecken lappenförmige Gebiete ('corner streams') mit stark erhöhten Windgeschwindigkeiten, etwa vergleichbar mit den Windgeschwindigkeiten in Dachhöhe, befinden. Trifft der Wind schräg auf das Gebäude, so drehen sich die 'corner streams' mit der Windrichtung um die Gebäudeecken herum, wodurch sich auch der Wert der dortigen Windgeschwindigkeiten ändert. Bild 2 zeigt, daß die Länge der 'corner streams' sowohl von der Gebäudehöhe als auch von der Windrichtung abhängt [2]. Dabei zeigt sich, daß bei höheren Gebäuden nicht nur die Windgeschwindigkeiten zunehmen, sondern vor allem auch der Umfang der Zonen mit stark erhöhten Windgeschwindigkeiten. Bild 3 veranschaulicht diesen Effekt für ein 25 m hohes und ein 50 m hohes Gebäude bei schrägem Anströmwinkel.

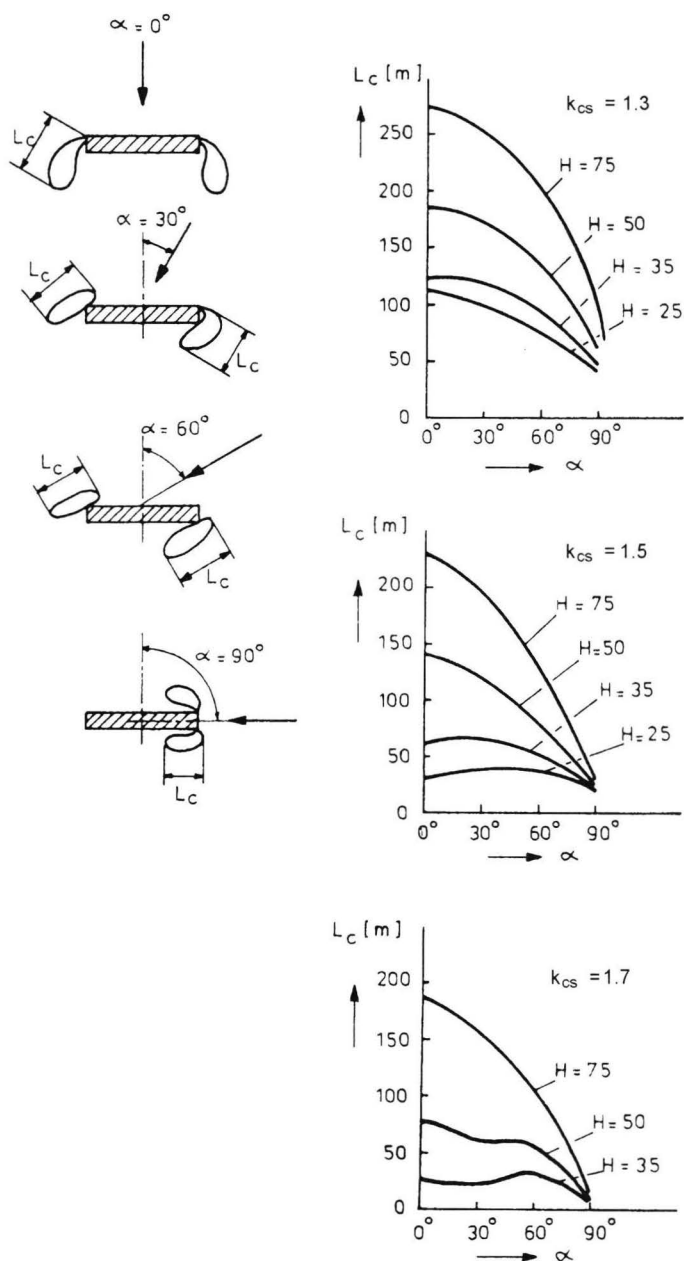


Bild 2 Die Beziehung zwischen der Länge eines 'corner streams' und dem Windanströmwinkel am Gebäude bei verschiedenen Verstärkungsfaktoren als Funktion der Gebäudehöhe.

- H Gebäudehöhe
 L_c Länge des 'corner streams' innerhalb derselben ein bestimmter Verstärkungsfaktor K überschritten wird
 K_{cs} Verstärkungsfaktor - Faktor, um den die örtliche Windgeschwindigkeit als Folge der Gebäudeorientierung vergrößert wird
 α Anströmwinkel oder relative Windrichtung

In Bild 3 ist auch zu erkennen, daß sich hinter dem Gebäude ein Windschattengebiet mit stark verminderten Windgeschwindigkeiten (aber mit stark erhöhter Turbulenz und mit Rückstrom) befindet. Ein Passant bewegt sich darin zunächst im Windschatten des Gebäudes. Plötzlich nimmt der Wind dann auf kurzem Abstand nicht nur kräftig zu, sondern verändert auch seine Richtung um 180 Grad. Dieser Effekt kann durch Windstöße noch zusätzlich verstärkt werden. Der ahnungslose Passant kann sich hierdurch urplötzlich einem seitlichen Windsturm ausgesetzt sehen. Dieser rasche Wechsel sowohl von der Windgeschwindigkeit als auch von der Windrichtung auf kurzem Abstand kann bei Sturm dazu führen, daß Menschen buchstäblich umgeweht werden.

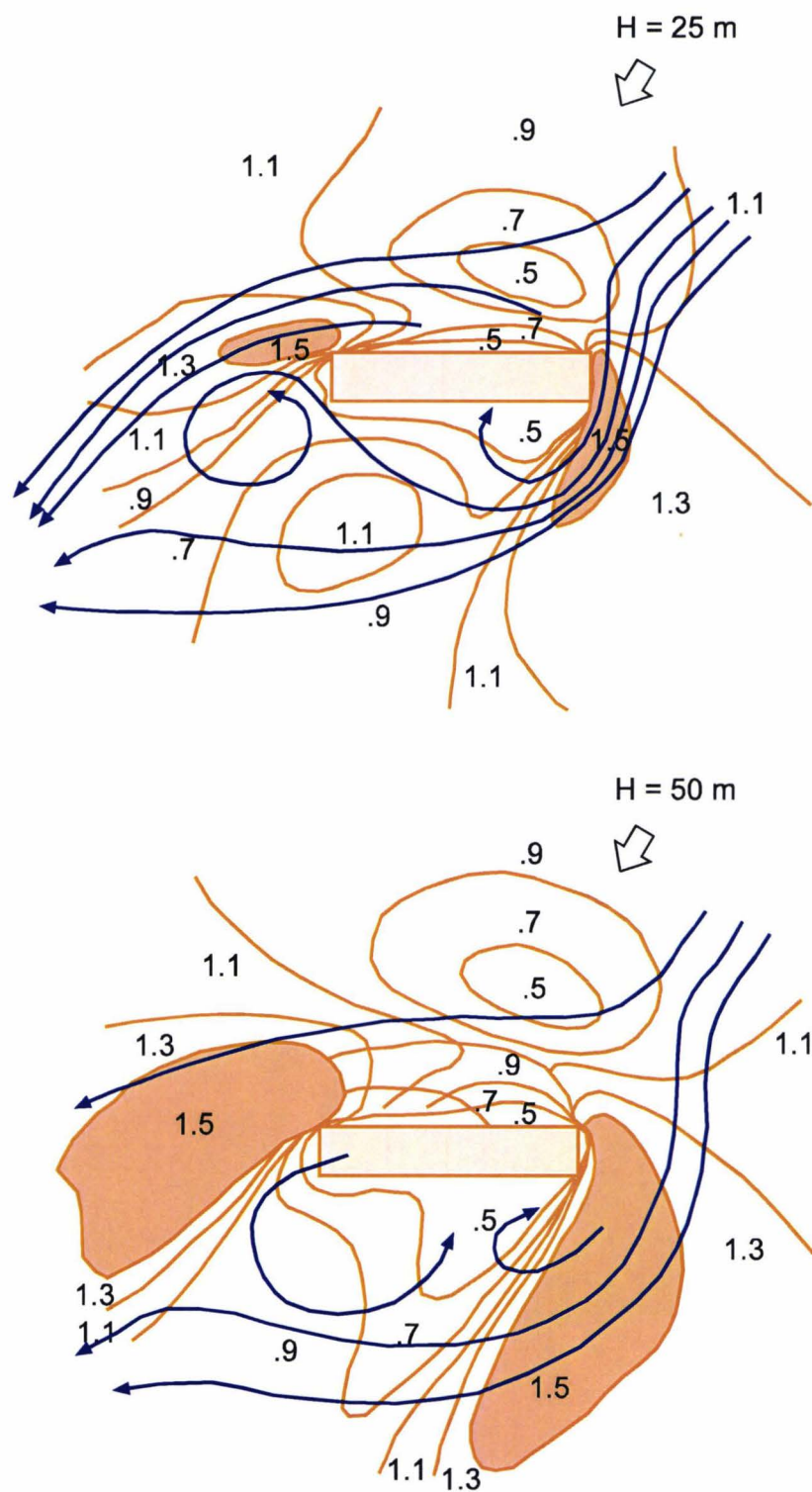


Bild 3 Verstärkungsfaktoren und Strömungsmuster an einem Gebäude bei schräger Windanströmung

Dementsprechend wird man bei der Planung vermeiden, Gebäudeeingänge in der Nähe der kurzen Seiten von Gebäuden vorzusehen.

4.2 Unterführungen

In Unterführungen entstehen aufgrund der Druckunterschiede zwischen der Luv- und Leeseite des Gebäudes stark erhöhte Windgeschwindigkeiten. Bild 4 gibt die Windgeschwindigkeiten bei senkrechtem Anströmwinkel als Funktion der Gebäudehöhe wieder [3]. Die maximalen Windgeschwindigkeiten in Unterführungen sind um etwa 25% höher als die in den 'corner streams'. Bei schräger Anströmung nehmen die Windgeschwindigkeiten in einer Unterführung jedoch rasch ab.

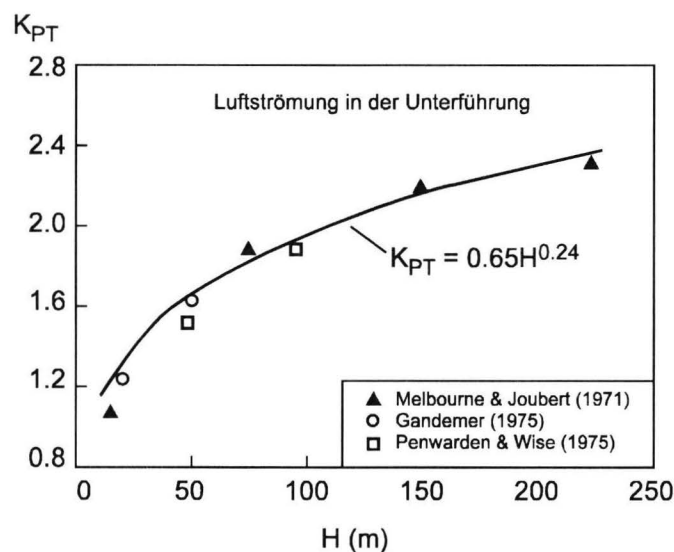


Bild 4 Verstärkungsfaktoren in Unterführungen als Funktion der Gebäudehöhe [3]
 K_{PT} = "Pass-Trough" flow

In Unterführungen gibt es keine unmittelbare Sonneneinstrahlung und die Gebäudemasse hält die niedrigeren Nachttemperaturen länger fest. Hierdurch ist die Temperatur in der Unterführung immer ein wenig niedriger. Bei niedrigeren Temperaturen werden auch geringere Windgeschwindigkeiten bereits als unangenehm empfunden. Dies bedeutet, daß bei Gebäuden, bei denen die Unterführung am vorherrschenden Wind liegt, bereits bei Gebäudehöhen ab 15 m Höhe mit möglichen Beschwerden über eine Verschlechterung des Windkomforts gerechnet werden muß. In windarmen Gegenden wird dies selbstverständlich erst bei größeren Gebäudehöhen der Fall sein.

Für das Windklima in Unterführungen spielt auch die Orientierung gegenüber der vorherrschenden Windrichtung eine wichtige Rolle. In jedem Fall neigen Unterführungen fast ausnahmslos ganz besonders zu Problemen hinsichtlich Windkomforts.

Daraus ergibt sich, daß Gebäudeeingänge nach Möglichkeit nicht in Unterführungen projiziert werden sollten. Ist dies jedoch unvermeidlich, so sollte wenigstens mit Hilfe von Windkanaluntersuchungen überprüft werden, mit welchen Problemen gerechnet werden muß. Sind Probleme zu befürchten, so sollten geeignete Windschutzmaßnahmen ergriffen werden. Zu denken wäre an die Anlage von Vordächern, Windschutzanlagen oder tiefergreifende Maßnahmen. Die Wirksamkeit und der notwendige Umfang derartiger Maßnahmen ist nur durch Windkanalmessungen eindeutig festzustellen.

4.3 Durchgänge zwischen Gebäuden

Die Windgeschwindigkeiten in Durchgängen zwischen Gebäuden werden, je nach Breite des Durchganges, im wesentlichen durch die Druckunterschiede zwischen der Luv- und der Leeseite des Gebäudes, Wechselwirkungen zwischen den Gebäuden sowie Eckeffekte bestimmt. Eine große Zahl von Variablen bestimmt die Windgeschwindigkeiten in solchen Durchgängen, wie zum Beispiel die Höhe der Gebäude, der Abstand zwischen den Gebäuden, ihre Länge sowie die Art ihrer Aufstellung (in Reihe, senkrecht, im Winkel) usw.

Bild 5 gibt die Windgeschwindigkeiten in einem Durchgang bei senkrechtem Anströmwinkel als Funktion des Abstandes zwischen den Gebäuden wieder [3]. Bei der ungünstigsten Breite des Durchganges können die Windgeschwindigkeiten 20% höher liegen als in den 'corner streams'.

Die Windgeschwindigkeiten in einem Durchgang hängen auch von der Windrichtung ab.

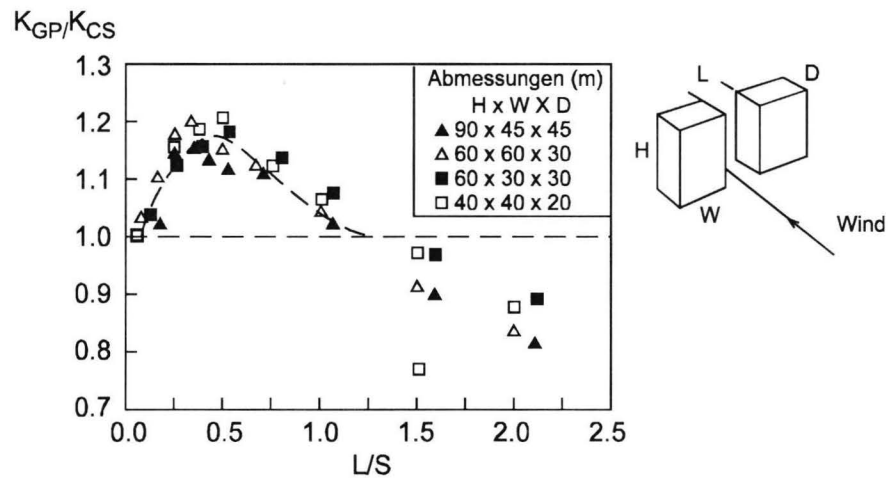


Bild 5 Verstärkungsfaktoren im Durchgang zwischen zwei Gebäuden verglichen mit den Verstärkungsfaktoren in 'corner stream' [3]
 Repräsentative Längeneinheit $S = (B_L B_S^2)^{1/3}$
 B_L und B_S sind immer die größeren bzw. die kleineren Werten von H und W
 K_{GP} = "Gap-Passage" flow
 K_{CS} = "Corner-Stream" flow

Gebäudeeingänge sollten dementsprechend nach Möglichkeit nicht in Durchgängen projiziert werden, besonders dann nicht, wenn die Gebäude dicht beieinander stehen.

Auch für das Windklima in Durchgängen gilt, ganz wie bei den Unterführungen, daß die Orientierung gegenüber der vorherrschenden Windrichtung eine wichtige Rolle spielt.

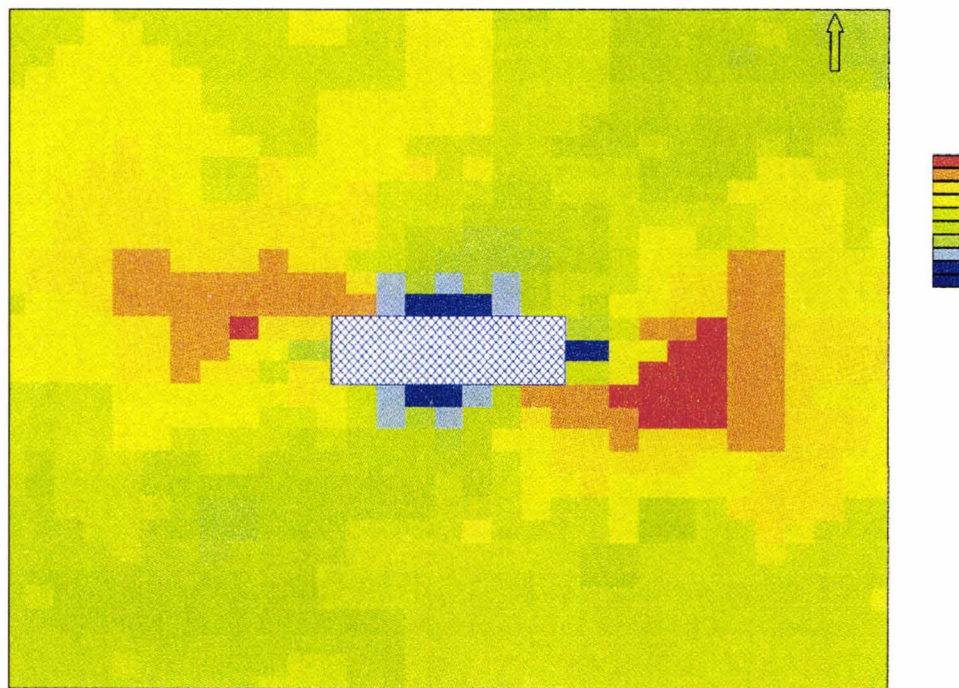
5. Das Mikroklima

Bei Hochhäusern entstehen nicht nur Zonen mit stark bis zu gefährlich erhöhten Windgeschwindigkeiten, sondern auch Zonen mit Windschatten. Sowohl die Lage dieser Zonen als auch die dortigen Windgeschwindigkeiten hängen von der Windrichtung ab. Das normale städtische Mikroklima wird durch die Errichtung hoher Gebäude also empfindlich gestört, wobei namentlich die Windgeschwindigkeitsgradienten stark zunehmen: an einigen Stellen mehr Windschattengebiete, an anderen hingegen größere Windprobleme bzw. eine stärkere Windgefahr. Die großen Unterschiede in den Windgeschwindigkeiten treten dabei oft in ganz kurzen Abständen auf, wodurch das Windklima in der Nachbarschaft von Hochhäusern als besonders negativ erfahren wird. Auch auf städtischem Niveau können, in Kombination mit der gegenseitigen Beeinflussung von Gebäuden und dem Vorhandensein breiter Straßen und Plätze, örtlich starke Erhöhungen der Windgeschwindigkeiten auftreten. Das Mikroklima verschlechtert sich hierdurch wesentlich.

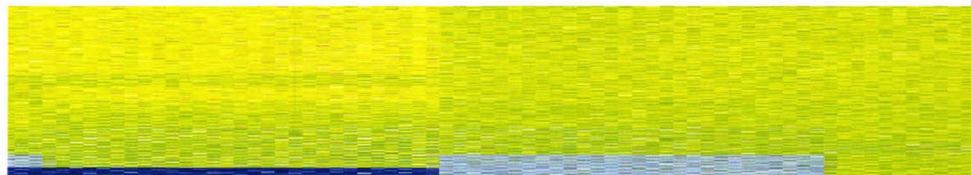
Lokale hohe Windgeschwindigkeiten an Gebäuden oder städtischen Gebieten brauchen an sich noch keine windgefährdeten Situationen oder einen Verlust an Windkomfort zu bedeuten. Alles hängt davon ab, bei welchen Richtungen die hohen Windgeschwindigkeiten auftreten. Um ein Gebäude auf den möglichen Windkomfort hin beurteilen zu können, muß also das Mikroklima (oder Windklima) an den Gebäuden ermittelt werden. Dabei werden diese Windgeschwindigkeiten für jede Windrichtung mit den statistischen Winddaten einer repräsentativen meteorologischen Station (Frequenz der vorkommenden Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen) kombiniert. Hieraus wird dann errechnet, wie oft eine bestimmte Windgeschwindigkeitsgrenze (hinsichtlich des Windkomforts bzw. der Windgefahr) im Jahresdurchschnitt überschritten wird. Multipliziert mit der Zahl der Tage pro Jahr ergibt dies die Zahl der 'Tage', an denen die Windkomfort- bzw. Windgefarengrenze in einem Jahr durchschnittlich überschritten wird. Durch Prüfung anhand von Windkomfortkriterien kann daraufhin ein Einblick in die mögliche Häufigkeit von Windproblemen bzw. Windgefahr erhalten werden.

Das Windklima an Gebäuden und städtischen Gebieten kann mit Hilfe von Untersuchungen im Windkanal an einem maßstabsgetreuen Modell ermittelt werden. Für eine erste Orientierung über das mögliche Auftreten von Windproblemen bzw. bezüglich der Windgefahr an Gebäuden kann ebenfalls das Computerprogramm KnoWind verwendet werden. Damit kann bereits im Entwurfstadium schnell und kostengünstig untersucht werden, ob bei dem Gebäude die Gefahr der Beeinträchtigung des Windkomforts droht [1]. Es kann für schematisierte Gebäude benutzt werden, die über die Nachbargebäude hinausragen. KnoWind ist ein von TNO entwickeltes, Database-orientiertes Computerprogramm.

Zur Illustration wird in Bild 6 das mit KnoWind berechnete Windklima um ein einfaches Gebäude in einem städtischen Umfeld wiedergegeben. Dabei zeigt sich, daß das Windklima an den Gebäudeseiten am ungünstigsten ist. In Prinzip gilt dies für alle Gebäude. Dies bedeutet, daß Eingänge und Fußwege an den kurzen Seiten nach Möglichkeit zu vermeiden sind.



*Bild 6 Das Windklima um ein Gebäude ($H = 80\text{ m}$, $L = 40\text{ m}$, $B = 15\text{ m}$)
Durchschnittliche Zahl der Tage im Jahr an dem die gewählten Windgeschwindigkeitsgrenzwerte überschritten werden.*



Die Windgeschwindigkeiten am Fuße hoher Gebäude sind umso höher, je höher das Gebäude ist. Dies bedeutet, daß sich, unabhängig von der Gebäudeorientierung gegenüber der vorherrschenden Windrichtung, bei höheren Gebäuden auch das Windklima bis zu einem gewissen Grad verschlechtern wird. Für die kurzen Seiten eines 45 m breiten und 15 m tiefen Gebäudes sind KnoWind-Berechnungen ausgeführt worden. Sie zeigen, in welchem Ausmaß sich das Windklima an den kurzen Seiten des Gebäudes bei zunehmender Gebäudehöhe verschlechtert (Bild 7).

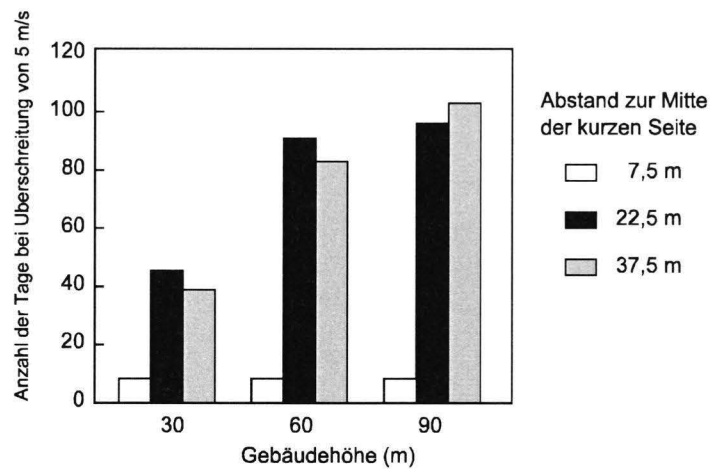


Bild 7 Das Windklima in verschiedenen Entfernungen von der Mitte der kurzen Gebäudeseite als Funktion der Gebäudehöhe.

6. Windkanaluntersuchungen

6.1 Atmosphärischer Grenzschicht-Windkanal

Um allerlei Windprobleme mit Hilfe von Windkanalmessungen an einem maßstabsgetreuen Modell zuverlässig vorhersagen zu können, müssen die natürlichen Windeigenschaften (die atmosphärische Grenzschicht) im Modellmaßstab simuliert werden [4]. Es handelt sich dabei um die Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe, die Abnahme der Turbulenzintensität mit der Höhe, Spektren usw. Ein Windkanal, in dem diese Eigenschaften korrekt modelliert werden können, wird ein atmosphärischer Grenzschicht-Windkanal genannt.

Bei TNO können standardmäßig sechs verschiedene atmosphärische Grenzschichten benutzt werden, von einer Meer-Grenzschicht bis zu einer Grenzschicht über großstädtischem Gebiet. Je nach Lage des betreffenden Gebäudes wird die bestgeeignete Grenzschicht gewählt.

Die benutzte Grenzschicht kann je nach Windrichtung variieren. Dafür wird bei TNO korrigiert, wobei für jede Windrichtung auch eventuelle Übergänge in der Rauigkeit des Bodens (zum Beispiel der Übergang Weide-Stadt oder Wasser-Stadt) berücksichtigt werden können.

Das Windfeld um ein Gebäude wird in einer bebauten Umgebung nicht nur durch die Eigenschaften des anströmenden Windes, sondern auch durch die Abmessungen, die Lage und die Höhe der umgebenden Bebauung bestimmt. Für eine gute Simulation der Wirklichkeit ist es daher erforderlich, daß die Bebauung innerhalb eines Radius von 300 m in das Modell miteinbezogen wird.

Das zu erwartende Windklima um projektierte Gebäude in ihrer städtischen Umgebung kann daraufhin mittels Windkanalmessungen ermittelt werden. An einem maßstabsgetreuen Modell des betreffenden Gebäudes samt Umgebung werden dann an einer großen Zahl von Punkten für jede Windrichtung die Windgeschwindigkeiten gemessen. Bild 8 gibt ein Beispiel eines solchen Modells im 2*3 m Windkanal von TNO in Apeldoorn (Niederlande) wieder.

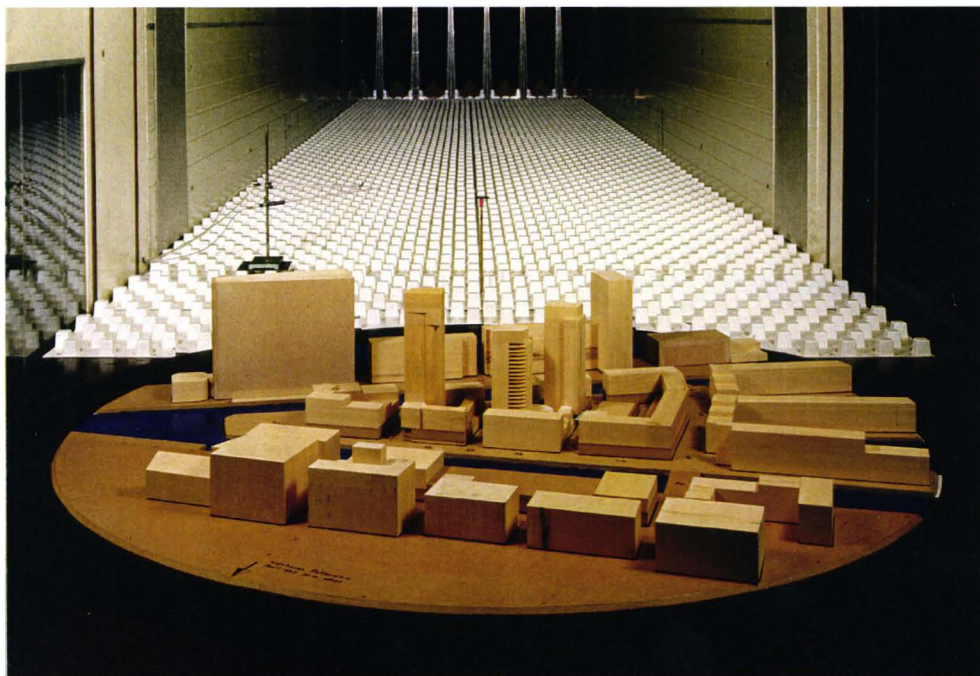


Bild 8 Modell des Wijnhavenkomplexes in Rotterdam im TNO-Windkanal

Mit diesem Modell wurde die zu erwartende Beeinträchtigung des Windkomforts ermittelt. Dabei zeigte sich, daß örtlich Windprobleme und Windgefahren erwartet werden müssen. Mit Hilfe windabschirmender Maßnahmen wie Vordächer und Schirme war es möglich, das Windklima hinreichend zu verbessern.

Die von TNO angewandte Methode für Untersuchungen im Bereich Windkomfort wurde anhand umfangreicher Freilandmessungen validiert, sowohl für hohe als auch für niedrige Gebäude. Bild 9 zeigt ein Beispiel für verschiedene Stadien eines im Bau befindlichen Hochhauses [4]. Die Übereinstimmung ist gut.

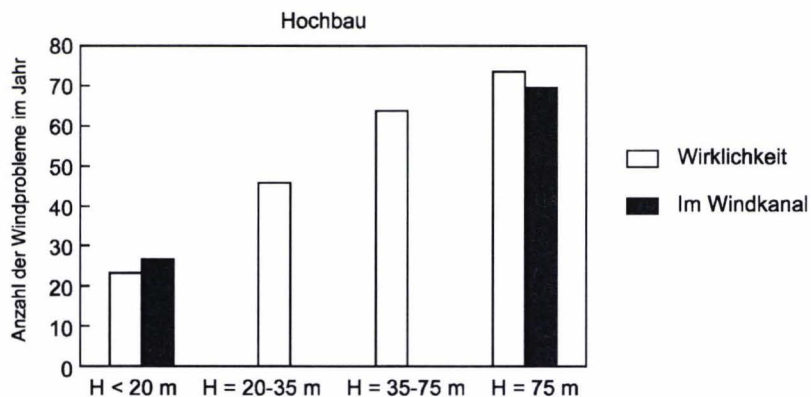


Bild 9 Anzahl der "windprobleme" im vergleich von Windkanalversuchen an einem im Bau Befindlichen Hochhaus

6.2 Ausführung

Bei einer Windkomfortuntersuchung im Windkanal von TNO werden die Windgeschwindigkeiten rings um das Gebäude als Funktion der Windrichtung gemessen. Mit Hilfe der windstatistischen Daten von einer repräsentativen meteorologischen Station wird daraufhin berechnet, wie oft die Windgeschwindigkeitsgrenze für Windkomfort oder Windgefahren im Jahresdurchschnitt überschritten wird (das Windklima). Durch Prüfung der Windkomfortkriterien wird anschließend untersucht, wie das Windklima zu beurteilen ist.

Treten Windprobleme oder Windgefahren auf, so können nach unmittelbarer Rücksprache mit den Betroffenen Maßnahmen zur Verbesserung des Windklimas erprobt werden. An einem einzigen Tag können viele Konfigurationen durchgemessen werden, so daß kurzfristig Einblick in die Möglichkeiten erhalten wird, mit denen das Windklima in einer für alle Parteien akzeptablen Weise verbessert werden kann.

6.3 Beispiel

Bild 10 zeigt ein einfaches Beispiel von den Möglichkeiten einer Windkanaluntersuchung.

Bild 10a zeigt das Windklima in der Umgebung eines 42 m hohen Wohnhochhauses in der Ausgangslage. Nördlich der Etagenwohnung liegt ein ziemlich großes Gebiet mit ungünstigem Windklima. Es gab bei diesem Wohnhochhaus bereits Beschwerden über Windprobleme. Sowohl hinsichtlich der Lage der Windproblemzone als auch hinsichtlich der Intensität stimmen die Messungen mit den Erfahrungen der Bewohner gut überein.

Gleich neben dem Wohnhochhaus wurde ein zweites, 46 m hohes Wohnhochhaus geplant. Die Bewohner des bestehenden Hochhauses befürchteten eine weitere Verschlechterung des Windklimas in der Umgebung ihres Hochhauses. Als Beurteilungskriterium für die Untersuchung wurde verabredet, daß sich das Windklima in der Umgebung des bestehenden Hochhauses nicht weiter verschlechtern dürfe und - aus psychologischen Erwägungen - gegenüber der Ausgangslage sogar verbessern müsse.

Das zu erwartende Windklima nach Fertigstellung des projektierten Hochhauses ist in Bild 10b dargestellt. Es zeigt sich, daß sich das Windklima, abgesehen von der unmittelbaren Umgebung des neuen Hochhauses, nach dessen Fertigstellung nicht wesentlich verschlechtert. Das Gebiet mit schlechtem Windklima verlagert sich nur zwischen die beiden Wohnhochhäuser. Damit erfüllt das Windklima zwar den ersten, aber nicht den zweiten Teil des verabredeten Kriteriums, die Verbesserung. Mit Hilfe einer gut positionierten Bepflanzung ist es aber offenbar möglich, das Windklima ganz wesentlich zu verbessern. Aus Bild 10c ergibt sich, daß die Gebiete mit schlechtem Windklima vollständig verschwunden sind, wodurch ein Mikroklima erhalten wird, daß deutlich günstiger ist als in der Ausgangslage.

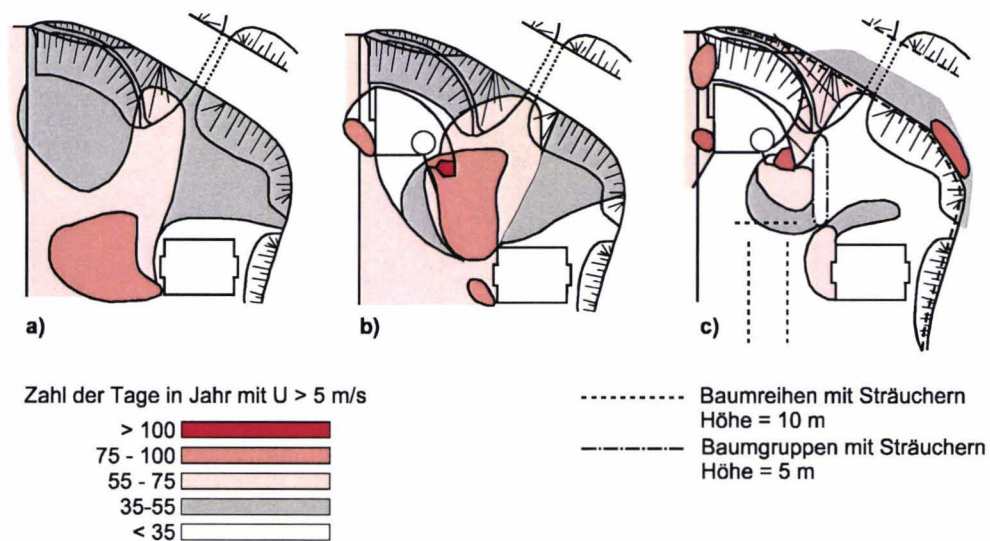


Bild 10 Windclimate in a) der Ausgangslage; b) der projizierten Lage; c) der verbesserten projizierten Lage

7. Kurze Übersicht von Modelluntersuchungen im Windkanal

Neben Windkomfortuntersuchungen können an einem maßstabsgetreuen Modell im atmosphärischen Grenzschicht-Windkanal auch noch weitere Untersuchungen angestellt werden, nämlich:

- A. Winddruckmessungen
- B. Windkraftmessungen
- C. Ausbreitung von Gasen

Die Möglichkeiten dieser Untersuchungen werden nachsehend kurz beschrieben.

7.1 Winddruckmessungen

Bei einfachen Gebäudeformen in normaler Umgebung können die Winddrücke auf den Fassadenpaneelen und Dachteilen mit Hilfe von Normen gut berechnet werden.

Bei abweichenden Gebäudeformen, Gebäuden in einem komplexen städtischen Umfeld oder bei hohen, nahe aneinanderstehenden Gebäuden sind Normen nicht mehr ohne weiteres anwendbar. An nahe aneinanderstehenden Hochhäusern können beispielsweise allerlei durch Wechselwirkungen bedingte Effekte auftreten, wodurch namentlich die Saugwirkungen deutlich größer ausfallen als aufgrund der Norm vorhergesagt. Bei den Türmen von Bild 8 wurden die Entwurfswindbelastungen auf den Fassadenpaneelen und Dachteilen mit Hilfe fluktuierender Druckmessungen und einer Extremwertanalyse bestimmt. Bei Windkanalmessungen werden sämtliche örtlichen und von Wechselwirkungen hervorgerufenen Effekte unmittelbar berücksichtigt.

7.2 Windkraftmessungen

Auch die auf die Baukonstruktion einfacher Gebäude wirkende Windkraft kann in einer normalen Umgebung gut mit Hilfe von Normen berechnet werden. Aufgrund der notwendigen Schematisierungen sind Normen jedoch definitionsgemäß immer konservativ. Bei Messungen im Windkanal wird die Windkraft in der Umgebung als Funktion einer spezifischen Gebäudeform gemessen. Auch der Einfluß der umgebenden Bebauung wird dabei mitberücksichtigt.

In vielen Fällen ist die im Windkanal gemessene Windkraft deutlich niedriger als die in der Norm angegebene. Dies bedeutet, daß billiger gebaut werden kann. Dies war beispielsweise auch bei den Türmen von Bild 8 der Fall, bei denen die Entwurfswindlasten am Fundament durch Kraftmessungen mittels Waage gemessen wurden.

7.3 Ausbreitung von Gasen

Die aus Kaminen und anderen Abfuhrkanälen entweichenden Gase können unter bestimmten Bedingungen schlecht verdünnt durch das Belüftungssystem des Gebäudes wieder angesaugt werden. Dies kann zu allerlei Beschwerden und Gesundheitsproblemen im Gebäude führen.

Durch Messungen im Windkanal kann untersucht werden, ob derartige Effekte zu erwarten sind. Darüberhinaus kann auch gleich untersucht werden, welche Maßnahmen getroffen werden müssen, um derartige Probleme zu vermeiden.

8. Schlußbemerkungen

Der zunehmende Trend, in die Höhe zu bauen, bedroht das Windklima in unseren Städten. Es ist von äußerster Wichtigkeit, diese Entwicklungen genau zu verfolgen und bei jedem projektierten Hochhaus festzustellen, welche Auswirkungen auf das lokale Windklima zu erwarten sind. Im Entwurfsstadium von Gebäuden ist es oft noch möglich, durch geeignete windabschirmende Maßnahmen negative Trends abzuwenden oder zumindest unter Kontrolle zu bekommen. Ist das Gebäude nämlich erst einmal errichtet, so wird die Bevölkerung einem rauen und unwirtschaftlichen Windklima ausgesetzt bzw. es kostet unverhältnismäßig großen Aufwand an Maßnahmen und Finanzen, das Windklima wieder zu verbessern. Windeffekte und die Effekte windabschirmender Maßnahmen sind ganz allgemein nicht vorhersehbar. Einzig und allein durch Windkanaluntersuchungen ist es möglich, schnell und effizient Einblick in diese Erscheinungen zu erhalten.

9. Literatuur

- [1] Visser, G.Th. and Folkers, C.J., Weenk, A.: KnoWind: A database oriented approach to determine the pedestrian level wind environment around buildings, Proc. Tenth Int. Conf. on Wind Eng., Kopenhagen, Dänemark, 21.-24. Juni 1999.
- [2] Visser, G.Th.: Windhinder vrijwel nooit vanachter het bureau voorspelbaar (Der Windkomfort ist fast nie vom Schreibtisch aus vorherzusagen). Gemeentewerken 10(1981), S. 237-240 (in niederländischer Sprache).
- [3] Wu, H.: Pedestrian-level wind environment around buildings, Thesis Centre of Building studies, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada, April 1994.
- [4] Wolfseher, U., Gertis, K.: Bodennahe Aerodynamik; Darstellung der lokalen Windverhältnisse über ungebauten und bebauten. Flächen auf Grund vorhandener Literatur. Gesundheits-Ingenieur, 99 Jahrgang (1978), H.9, S. 259-274; H.11, S. 321-332.
- [5] Visser, G.Th. and Cleijne, J.W.: Wind comfort predictions by wind tunnel tests: comparisons with full-scale data, J. of Wind Eng. And Ind. Aerod. 52(1994), pp 385-402.

10. Verantwortung

Name and address of the principal:

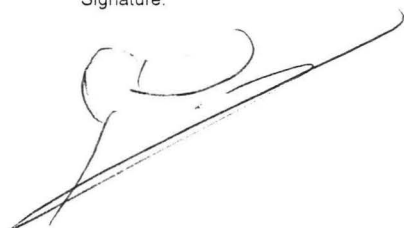
Names and functions of the cooperators:

Ing. G.Th. Visser

Names and establishments to which part of the research was put out to contract:

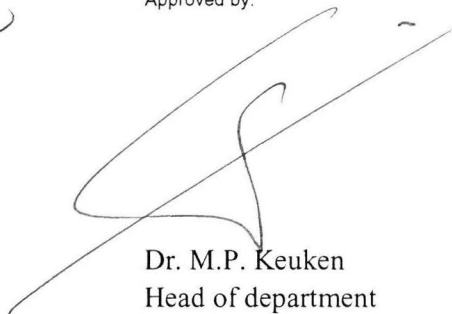
Date upon which, or period in which, the research took place:

Signature:



Ing. G.Th. Visser
Project Leader

Approved by:



Dr. M.P. Keuken
Head of department