



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 2001/370

**Beeinflussung des städtischen Windklimas durch
Hochhäuser**

Date	August 2001
Authors	G.Th. Visser ¹⁾
Order no.	03000
Keywords	
Intended for	This article has been published in Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 60 (2000) Nr. 11/12 – November/Dezember

¹⁾ Autor dieses Beitrags:
Dipl.-Ing. Gerard Th. Visser, TNO-MEP, Postbus 342, 7300 AH Apeldoorn,
Niederlande

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.

© 2001 TNO

Zusammenfassung

In unseren Städten vollzieht sich eine schleichende Änderung des Klimas, insbesondere des Windklimas. In manchen Städten werden Straßen und Plätze, an denen der Aufenthalt früher angenehm war, zu zugigen Stellen, bei denen Straßenpassanten von starken Windböen umgeweht werden können. Die Ursache solcher Unannehmlichkeiten ist das immer häufigere Vorkommen von Hochhäusern im städtischen Umfeld.

In diesem Artikel wird erklärt, wie Hochhäuser das örtliche Windklima verändern können. Werden vor der Errichtung hoher Gebäude in Städten auch Windkanaluntersuchungen durchgeführt, dann lassen sich eventuelle Probleme frühzeitig erkennen, so dass rechtzeitig geeignete Maßnahmen getroffen werden können. In den Niederlanden ist dies bereits zur Praxis geworden. Dadurch können nachteilige Auswirkungen grundsätzlich vermieden oder wenigstens in den Griff bekommen werden.

Summary

In our cities one can see a gradual change in (wind) climate. In several towns, streets and squares which used to be agreeable places, are becoming draught-holes where people can be blown over by strong winds. This inconvenience is caused by the ever-increasing presence of high-rise buildings in the urban environment. This article explains how high-rise buildings can affect the local wind climate. An early detection method for any problems in this field, is the application of wind tunnel measurements in parallel with the planning of tall buildings, which technique allows for measures to be taken in time. In the Netherlands this has become daily practice already. With this technique it is possible to counteract adverse effects or at least to make these effects manageable.

Inhaltsangabe

Zusammenfassung	2
Summary.....	2
1. Einführung	4
2. Entstehungsmechanismen	5
3. Erkennen und Lösen des Windproblems.....	7
3.1 Erkennen	7
3.2 Lösen	8
3.2.1 Atmosphärischer Grenzschichtwindkanal	8
3.2.2 Durchführung	8
3.2.3 Validierung	10
4. Richtlinien für Windprobleme in den Niederlanden	11
5. Windwirkungen.....	14
5.1 Eckeffekte	14
5.2 Unterführungen.....	17
5.3 Durchgänge zwischen Gebäuden.....	18
6. Beispiele.....	19
7. Schlussbemerkungen.....	22
8. Literatur.....	23
9. Authentication	24

1. Einführung

Mit dem Erscheinen eines Hochhauses nach dem anderen vollzieht sich in unseren Städten eine allmähliche Veränderung des Windklimas. Straßen und Plätze, die früher einen angenehmen Aufenthalt boten, werden zu zugigen Orten, wo Menschen sehr unangenehm von Stürmen überrascht werden können. Die Ursache solcher örtlichen Stürme ist nicht etwa eine weltweite Klimaänderung, auf die wir keinen Einfluss nehmen können, sondern einfach die lokale menschliche Bautätigkeit, nämlich das Errichten von Hochhäusern in den Städten.

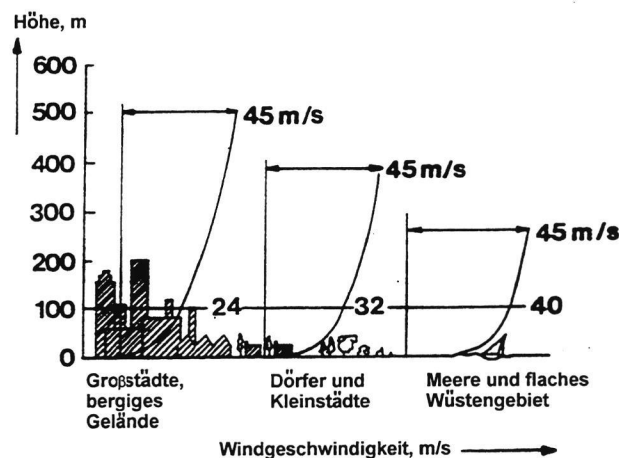
Architekten und Stadtplaner sind sich über die Konsequenzen von Stadtplänen und Gebäudeentwürfen auf das Windklima vor Ort oft nicht im Klaren. Das ist sehr zu bedauern, zumal es im Entwurfstadium oft noch möglich ist, durch Änderungen des Planungskonzepts oder des Entwurfs die schlimmsten Auswüchse eines rauer werdenden Windklimas abzumildern. Steht das Gebäude erst einmal bzw. liegt der Stadtplan einmal fest, dann ist es oft viel aufwendiger (Mühe und Geld), das Windklima noch zu verbessern.

2. Entstehungsmechanismen

Wind entsteht als Folge großräumiger Druckunterschiede in der Atmosphäre. Diese Druckunterschiede ergeben sich aus einer unterschiedlichen Erwärmung der Luft, die sich bei höheren Temperaturen ausdehnt und damit leichter wird.

In einer bestimmten Höhe über der Erdoberfläche kann die Luft sich unter dem Einfluss dieses Druckgefälles, der Erdrotation und der Aufstiegskräfte frei bewegen. Direkt über der Erdoberfläche wird der Wind von allerlei Hindernissen, wie Städten, Wäldern, Wiesen usw. abgebremst. Dieser Einfluss nimmt ab, je weiter man sich über der Erdoberfläche entfernt. Dadurch herrschen in der Höhe höhere Windgeschwindigkeiten.

Die Luftschicht, in der die Eigenschaften der Windgeschwindigkeit von der Rauheit der Erdoberfläche bestimmt werden, nennt man die atmosphärische Grenzschicht. Die Dicke der atmosphärischen Grenzschicht hängt von der Rauheit der Erdoberfläche ab und liegt zwischen etwa 250 m bei einer Meeresgrenzschicht und etwa 500 m für eine Grenzschicht über städtischem Gebiet (Figur 1).



Figur 1 Atmosphärische Grenzschichten.

Ein auf ein Gebäude zuströmendes Windfeld breitet sich ab etwa zwei Drittel der Gebäudehöhe fächerförmig nach oben und nach unten über die Gebäudefassade aus, wird dabei stärker und löst sich an den Gebäudeecken. Dadurch entstehen an der Bodenoberfläche *corner streams* (Gebiete mit stark erhöhten Windgeschwindigkeiten). Die Windgeschwindigkeiten in diesen *corner streams* entsprechen etwa die Windgeschwindigkeit in Dachhöhe. An höheren Gebäuden herrschen in Dachhöhe größere Windgeschwindigkeiten, so dass auch an der Bodenoberfläche höhere Windgeschwindigkeiten auftreten. Anders gesagt: Hohe

Gebäude übertragen die in großer Höhe herrschenden Windgeschwindigkeiten auf die Bodenoberfläche. Hierdurch können Straßen und Plätze, die einst windgeschützt waren, zu unangenehm zugigen Gegenden werden, in denen man sich nicht gerne aufhält.

3. Erkennen und Lösen des Windproblems

3.1 Erkennen

In den Niederlanden erfährt das Windklima städtischer Gebiete schon seit einiger Zeit die gebührende Aufmerksamkeit. Um das Jahr 1960 wurde erstmals die Windkanaltechnik zur Erforschung des Windklimas in der Nähe hoher Gebäude und Einkaufszentren herangezogen. Benutzer von Einkaufszentren stellen an das Windklima hohe Anforderungen. Unter Umständen werden selbst bei flach gebauten Einkaufszentren Beschwerden über das Windklima geäußert. Darum geschieht es auch immer wieder, dass bestehende oder geplante Einkaufszentren im Windkanal auf ihren Windkomfort hin untersucht werden.

Vor etwa vierzig Jahren betrachtete man ein 50 m hohes Gebäude bereits als Hochhaus. In den letzten fünf oder zehn Jahren sieht man eine exponentiell zunehmende Tendenz in Richtung Hoch- und Superhochbauten; dabei sind mehr als 100 m hohe Gebäude längst keine Ausnahme mehr. Damit das städtische Windklima (das Wohnumfeld) als Folge der ständig hinzugebauten Hochhäuser örtlich nicht drastisch verschlechtert, verlangen die großen Gemeinden in den Niederlanden (Amsterdam, Rotterdam, Den Haag) Windkomfortmessungen im Windkanal. Damit wird ermittelt, ob und gegebenenfalls, wie stark das Windklima nach dem Bau der geplanten Hochhäuser im Vergleich zur Ausgangssituation erwartungsgemäß beeinträchtigt werden wird und ob dabei die Richtlinien für Windkomfort oder Windgefahr eingehalten werden können oder nicht (Paragraph 5). Verschlechtert sich das Windklima im Vergleich zur Ausgangssituation und kann den Richtlinien für Windkomfort oder Windgefahr nicht entsprochen werden, so sind Maßnahmen zu treffen, mit denen die Richtlinien erfüllt werden können. Auch kleinere niederländische Gemeinden verlangen bei Hochhausprojekten immer häufiger, dass ein Windkomfortgutachten vorgelegt wird.

Je nach Lage sollte man bei Gebäudehöhen zwischen 25 und 40 m auf Windprobleme gefasst sein. Bei Gebäudehöhen von 40 bis 70 m ist auch mit Windgefahr zu rechnen.

In einer nicht sehr komplexen Situation und bei schematisierten Gebäuden kann das Softwarepaket KnoWind als ein rasches Mittel zur ersten Orientierung darüber benutzt werden, ob bei einem Gebäudeentwurf potentielle Windprobleme zu erwarten sind [1]. Wird dies bestätigt, kann im Windkanal untersucht werden, welche Maßnahmen zu treffen sind, um tatsächlichen Windproblemen nach der Errichtung des Gebäudes vorzubeugen.

Auch in Deutschland wird immer höher gebaut. Nur ist es dort noch keine gängige Praxis, jedes Hochhausprojekt einer Windkomfortuntersuchung zu unterziehen.

Dies ist bedauerlich, weil der Bevölkerung so nach dem Bau eines Hochhauses eine erhebliche Beeinträchtigung des Wohnumfelds (Windklima) zugemutet wird. Offensichtlich sind sich Architekten, Baugesellschaften und Kommunalbehörden nicht immer davon bewußt, dass das unwirtliche und manchmal gefährliche Windklima an bestimmten Standorten in den Städten nicht einfach eine Naturgegebenheit ist, sondern erst durch den Bau von Hochhäusern, also durch menschliches Eingreifen, verursacht wird.

3.2 Lösen

3.2.1 Atmosphärischer Grenzschichtwindkanal

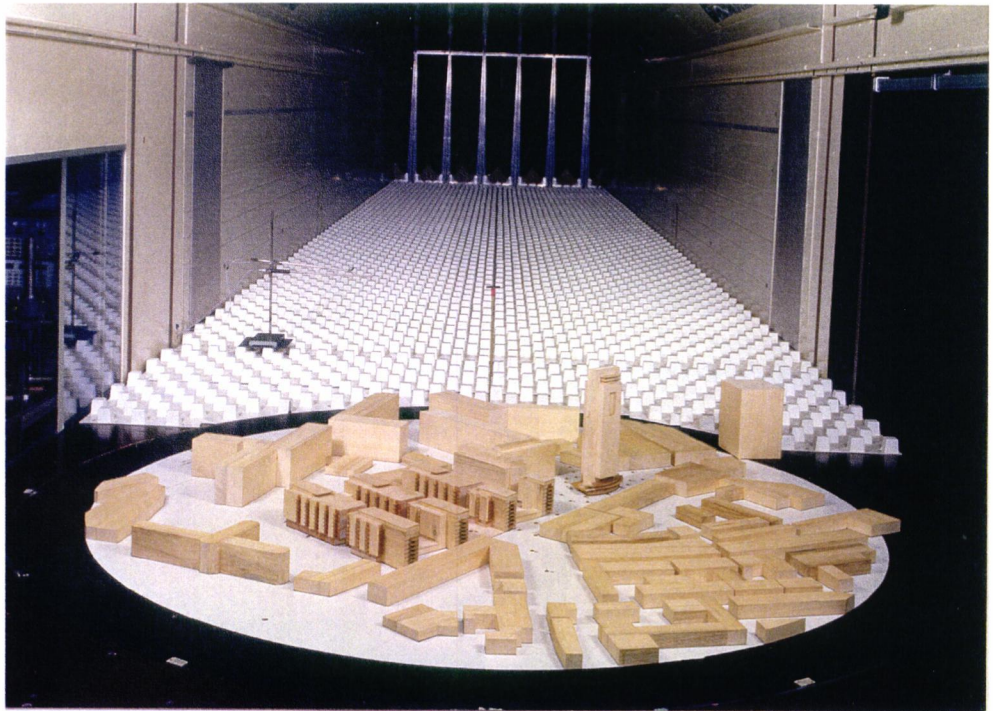
Das bei geplanten Gebäuden zu erwartende Windklima kann mit Hilfe von Messungen an einem maßstabgetreuen Modell in einem Windkanal gut vorhergesagt werden. Dazu müssen allerdings die natürlichen Windeigenschaften (die atmosphärische Grenzschicht) im Modellmaßstab simuliert werden. Dabei handelt es sich um die Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe, die Abnahme der Turbulenzintensität mit der Höhe, Spektren usw. Einen solchen Windkanal, in dem diese Eigenschaften richtig modelliert werden, nennt man einen atmosphärischen Grenzschichtwindkanal.

Bei TNO können standardmäßig sechs unterschiedliche atmosphärische Grenzschichten erzeugt werden, von einer Meeresgrenzschicht bis zu einer Grenzschicht über einem großstädtischen Gebiet. Je nach Lage des betrachteten Gebäudes wird die am besten geeignete Grenzschicht gewählt.

Die zu wählende Grenzschicht muss nicht unbedingt für alle Windrichtungen dieselbe sein. Entsprechende Korrekturen werden von TNO vorgenommen, wobei für jede Windrichtung auch etwaige Übergänge in der Geländerauigkeit (wie Wiese-Stadt oder Wasser-Stadt) berücksichtigt werden können.

3.2.2 Durchführung

Das Windfeld bei einem Gebäude wird in einer bebauten Umgebung nicht nur von den Eigenschaften des einfallenden Windes, sondern auch von den Abmessungen, der Lage und der Höhe der Nachbarbebauung in der Umgebung bestimmt. Um die Wirklichkeit richtig simulieren zu können, ist es deswegen erforderlich, die Bebauung im Umkreis von 300 m in das Modell mit aufzunehmen. Figur 2 zeigt ein Beispiel eines solchen Modells im 2*3-m-Windkanal bei TNO in Apeldoorn (Niederlande).



Figur 2 Das Modell des Emmasingelkomplexes in Eindhoven im TNO-Windkanal.

Das Windklima, das bei geplanten Gebäuden in einer städtischen Umgebung zu erwarten ist, kann mit Windkanalmessungen ermittelt werden. Dazu werden an einem maßstabsgetreuen Modell des betreffenden Gebäudes samt seiner Umgebung an einer Vielzahl von Messpunkten und für jede Windrichtung die auftretenden Windgeschwindigkeiten registriert.

Mit Hilfe der Windstatistik einer repräsentativen Wetterstation wird dann errechnet, wie oft im Jahr die Windgeschwindigkeitsgrenze für Windprobleme oder Windgefahr durchschnittlich überschritten wird. Zur besseren Anschaulichkeit, wird diese Wahrscheinlichkeit mit der Zahl der Tage im Jahr multipliziert:

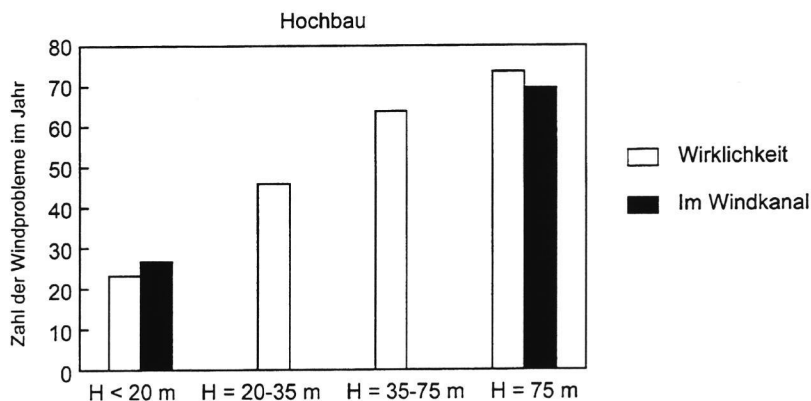
$$F (> 5 \text{ oder } 15 \text{ m/s}) \times 365.$$

Hieraus ergibt sich die Zahl der 'Tage' mit Windproblemen oder Windgefahr, das sogenannte Windklima. Überprüft man das Ergebnis an den Richtlinien für Windprobleme und Windgefahr (Paragraph 4), so kann festgestellt werden, wie das Windklima zu bewerten ist. Werden die Richtlinien überschritten, so können nach Rücksprache mit dem Architekten und dem Bauherrn Maßnahmen zur Verbesserung des Windklimas im Windkanal erprobt werden.

Da die Messungen und die Datenverarbeitung automatisiert sind, kann an einem einzelnen Tag eine Vielzahl von Anordnungen mit Maßnahmen zur Verhütung von Windproblemen durchgemessen werden. Dies ermöglicht einen raschen Einblick in die Verbesserungsmöglichkeiten, des Windklimas, und zwar so, dass alle beteiligten Parteien damit einverstanden sind.

3.2.3 Validierung

Die von TNO angewandten Methode zur Windkomfortuntersuchung wurde anhand von Messungen, sowohl an hohen Gebäuden als an niedrigen Bauten, ausführlich validiert. Figur 3 gibt ein Beispiel eines im Bau befindlichen Hochhauses in verschiedenen Bauphasen [2]. Die Ergebnisse stimmten gut miteinander überein.



Figur 3 Vergleich zwischen Windkanalversuchen und wirklicher Situation bei Hochhäusern [2].

4. Richtlinien für Windprobleme in den Niederlanden

Als Kriterium für Windprobleme verwendet man im allgemeinen einen Grenzwert der Windgeschwindigkeit in Kopfhöhe von 5 m/s (Windstärke 4) [3]. Bei dieser Windgeschwindigkeit beginnt der Wind generell als unangenehm empfunden zu werden. Doch darf diese Windgeschwindigkeit im Prinzip durchaus überschritten werden, wenn dies nur nicht zu häufig geschieht.

Soweit bekannt gibt es weltweit noch keine Windkomfort-Normen, und auch in der Literatur gibt es diesbezüglich keine eindeutigen Daten. Als Bezugsrahmen zur Beurteilung des Wohlbehagens eines lokalen Windklimas, hat TNO vor 20 Jahren die in verschiedenen ausländischen Veröffentlichungen verwendeten Kriterien miteinander verglichen und zu eigenen Kriterien verarbeitet [3]. Dabei wurden nicht nur unterschiedliche Tätigkeiten oder Nutzungsbereiche berücksichtigt, sondern auch die Frage, ob ein bestimmtes Gebiet überdacht war oder nicht. Aus vielen ad hoc angestellten Untersuchungen hat sich nämlich ergeben, dass man vom Windklima überdachter Bereiche viel höhere Erwartungen hat als in offenen Bereichen (bei einem im Übrigen gleichen Verwendungszweck). Einerseits hat dies einen psychologischen Grund (in einem überdachten Raum erwartet man mehr oder weniger ein Innenklima; also ohne Zugluft) und andererseits ist die Ursache thermisch (da das Gebäude die niedrigeren Nachttemperaturen länger festhält und im Herbst und Winter keine Sonneneinstrahlung einfängt, ist die Temperatur dort tagsüber oft niedriger als draußen und wird das Klima bereits bei niedrigen Windgeschwindigkeiten als feuchtkalt empfunden).

Die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten nehmen in den Niederlanden von etwa 7 m/s direkt an der Küste, 6 m/s im Nordwesten auf etwa 4 m/s im Südosten ab. Dies bedeutet, dass man im Nordwesten des Landes mehr an starken Wind gewöhnt ist als im Südosten. Menschen aus verschiedenen Gegenden erleben den Windkomfort ganz unterschiedlich. Erfahrungen bestätigen, dass Menschen aus dem Westen des Landes höhere Windgeschwindigkeiten als Menschen aus der östlichen Landeshälfte akzeptieren. Deswegen werden innerhalb der Windproblem-Richtlinien drei Regionen unterschieden: die Küste, der Westen und Norden, sowie der Süden und Osten der Niederlande.

In Tabelle 1 werden die in den Niederlanden benutzten Richtlinien für zwei Regionen angegeben. Diese Richtlinien werden in den Niederlanden bereits seit 1980 verwendet.

Tabelle 1 Zahl der Tage, an denen die stundendurchschnittliche Windgeschwindigkeit von 5 m/s in Kopfhöhe jährlich im Durchschnitt überschritten werden darf.

Aktivitätenbereich	Anwendbar für	Westen und Norden			Süden und Osten		
		gut	Mäßig	schlecht	gut	mäßig	schlecht
Passagen	Parkplätze, Bürgersteige, öffentliche Straßen, Fahrradwege	< 35	35 - 75	> 75	< 15	15 - 40	> 40
Bummelbereiche; überdachte Passagen	Einkaufszentren, Parks, Gebäudeeingänge, Fußwege, überdachte öffentliche Wege und Fahrradwege, Omnibusbahnhöfe und Bahnsteige	< 5	5 - 35	> 35	< 2	2 - 15	> 15
Aufenthaltsgebiete für kurze Dauer; überdachte Bummelbereiche	Sportplätze, Plätze, überdachte Einkaufszentren und Fußwege	< 0,1	0,1 - 5	> 5	-	0 - 2	> 2

Als Richtlinie für Windgefahr wird ein Windgeschwindigkeitsgrenzwert von 15 m/s in Kopfhöhe verwendet (Sturm: Windstärke 9). In Böen können dann Windgeschwindigkeiten bis 20 - 25 m/s vorkommen. Es ist bekannt, dass Menschen bei derartigen Windgeschwindigkeiten umgeweht werden können [3]. Selbstverständlich müssen gefährliche Windsituationen so weit wie möglich vermieden werden. Als Richtlinie gilt daher, dass der 15-m/s-Grenzwert der Windgefahr in allen Aktivitätenbereichen generell nicht länger als 24 Stunden pro Jahr überschritten werden darf.

Selbstverständlich kann das ermittelte Windklima grundsätzlich an jedem vom Kunden gewünschten Windkomfortkriterium gemessen werden.

Zur Zeit ist in den Niederlanden unter den Auspizien des niederländischen Instituts für Normung (Nederlands Normalisatie-Instituut) ein Windkomfort-Normenausschuss tätig (auch TNO beteiligt sich daran), der eine Normierung der Untersuchungen von Windproblemen und der Beurteilung von Windproblemen und Windgefahren vorbereitet.

Vergleich der Windeigenschaften in den Niederlanden und in Deutschland

Im Norden Deutschlands (nördlich der Linie Bremen-Hamburg) entsprechen die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten denen im Westen der Niederlande. Das Gebiet etwa zwischen den Linien Bremen-Hamburg und Frankfurt-Hof Hoohensaas entspricht mit seiner durchschnittlichen Windgeschwindigkeit etwa dem Osten und Süden der Niederlande. Dies bedeutet, dass die Windprobleme in Deutschland grundsätzlich von der gleichen Größenordnung sein sollten als in den

Niederlanden, doch wird dieser Problematik in Deutschland offenbar noch nicht genügend Aufmerksamkeit geschenkt.

5. Windwirkungen

Wenn man die bei Gebäuden und in einem städtischen Umfeld auftretenden Windwirkungen bereits im Entwurfstadium kennt, so können sie noch berücksichtigt werden.

Auf Stadtplanungsebene hängen die Windgeschwindigkeiten von variablen Größen ab, wie der Anordnung und Dichte der Parzellierung, der Länge und Breite der Straßen, der Anwesenheit von Plätzen und Parks, der Höhenverteilung der Gebäude usw. Ein flüssiger Verkehr ist aber von so entscheidender Bedeutung, dass etwaige nachteilige Windwirkungen dem völlig untergeordnet werden. Auf dieser Ebene lässt sich also meist nicht allzu viel erreichen.

Auch an den Gebäuden lassen sich verschiedene Auswirkungen des Windes beobachten. Die drei wichtigsten und häufigsten sollen hier eingehender erörtert werden.

Die stärksten Auswirkungen auf die unmittelbare Umgebung haben zweifellos die Eckeffekte. Daneben treten auch oft Probleme bei Unterführungen und Passagen auf. Diese Wirkungen sind immer lokal, können jedoch wohl stärkere Gradienten im lokalen Windklima hervorrufen, so dass das Windklima auch in etwas größerem Umkreis als ungünstiger empfunden wird.

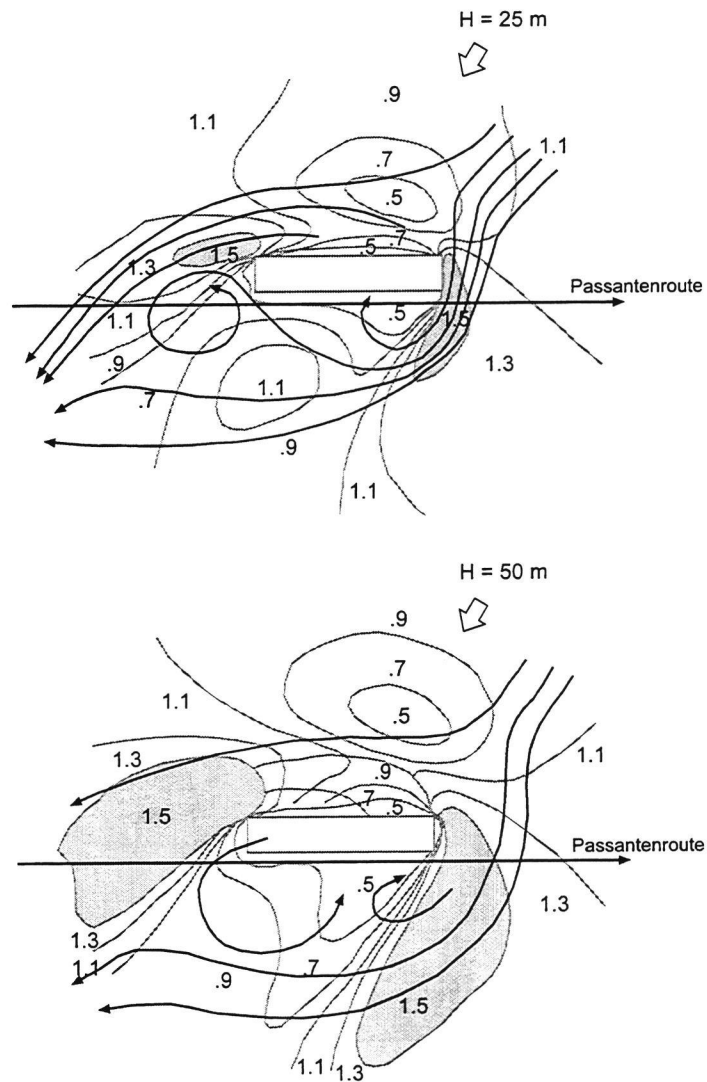
Um die Höhe der lokalen Windgeschwindigkeiten anzugeben, werden die lokalen Windgeschwindigkeiten in Kopfhöhe um das Gebäude (U) herum oft auf die Windgeschwindigkeit einer Bezugssituation bezogen, beispielsweise auf die an derselben Stelle und in derselben Höhe bei Abwesenheit des Gebäudes (U_o):

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

K wird der Verstärkungsfaktor genannt.

5.1 Eckeffekte

In Paragraph 2 wird beschrieben, dass an Gebäudeecken direkt über der Bodenoberfläche sogenannte *corner streams* mit stark erhöhten Windgeschwindigkeiten entstehen, die etwa der Windgeschwindigkeit in Dachhöhe entsprechen. Je höher ein Gebäude ist, desto höher sind die Windgeschwindigkeiten, aber desto größer werden auch die Gebiete mit erhöhter Windgeschwindigkeit. Figur 4 zeigt dies für ein freistehendes 25 m bzw. 50 m hohes Gebäude bei schrägem Windeinfall.



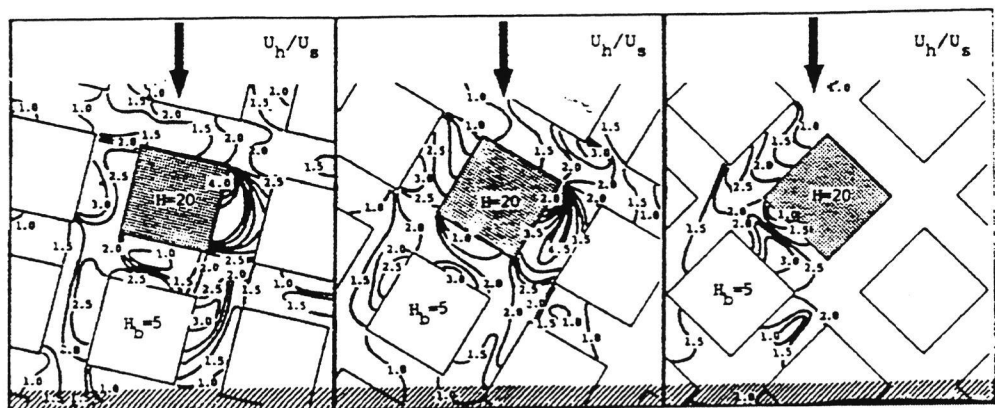
Figur 4 Verstärkungsfaktoren und Strömungsmuster an einem Gebäude bei schrägem Windeinfall.

Die Probleme, die Passanten im Windfeld dieses Gebäudes erfahren, lassen sich anhand der in Figur 4 angegebenen Passantenroute veranschaulichen. Der Passant geht zunächst im Windschatten hinter dem Gebäude (niedrige Windgeschwindigkeiten, jedoch mit stark erhöhter Turbulenz und Rückströmung). Plötzlich und auf sehr kurze Entfernung steigt die Windgeschwindigkeit dann auf das dreifache an, wobei sich auch noch die Windrichtung um 180 Grad dreht. Böen können diesen Effekt noch weiter verstärken. Dadurch wird der nichtsahnende Passant plötzlich seitlich von einem überaus starken Windstoß erfasst. Derartige plötzliche Geschwindigkeits- und Richtungswechsel auf kurzem Abstand können bei starkem Wind dazu führen, dass Menschen buchstäblich zu Boden geweht werden.

Selbstverständlich sollten Gebäudeeingänge niemals an den Schmalseiten eines Gebäudes geplant werden.

In einem städtischen Umfeld verschlechtert sich das Windklima nach dem Bau eines Hochhauses meist noch stärker als an einem freistehenden Gebäude. Dies erklärt sich daraus, dass eine städtische Umgebung an sich bereits einen gewissen Windschutz bietet. Wird in einer derart geschützten Umgebung dann ein Hochhaus errichtet, so können die lokalen Windgeschwindigkeiten im Vergleich zur geschützten Lage einige Male größer werden.

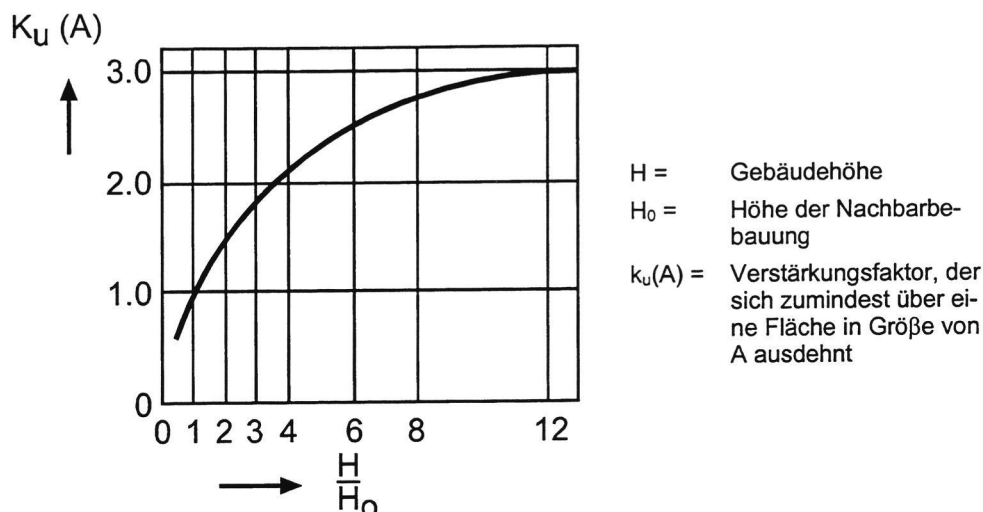
Dieser Effekt wird in Figur 5 dargestellt. Hier sieht man, wie sich die Windgeschwindigkeiten einer schematisierten Umgebung mit einem regelmäßigen Baumuster von 25 m hohen Gebäuden nach dem Ersatz eines dieser Häuser durch ein 100 m hohes Haus ändern [4]. Der Verstärkungsfaktor K wird hier definiert als das Verhältnis zwischen der Windgeschwindigkeit bei einem Gebäude mit der Höhe H und der Windgeschwindigkeit, bei der H der Höhe der umgebenden Bauten entspricht (H_0). Es zeigt sich, dass die Windgeschwindigkeiten drastisch zunehmen, wobei die lokalen Windgeschwindigkeiten durch die Gebäudeerhöhung nicht nur in den anliegenden Straßen, sondern auch in größerer Entfernung um nicht weniger als drei- bis viermal so groß werden können. Auch zeigt sich, dass bereits kleine Änderungen der Windrichtung an bestimmten Standorten eine dreifache Zunahme der Windgeschwindigkeiten bewirken können.



Figur 5 Die Wirkung eines hohen Gebäudes auf die Windgeschwindigkeiten in seinem Umfeld [4].

Aus Figur 6 geht hervor, wie in derselben schematisierten städtischen Gebäudesituation der Verstärkungsfaktor mit der Höhe des ersetzten Hochhauses zunimmt [4].

Aus alledem ergibt sich, dass das städtische Windklima als Folge der Errichtung von Hochhäusern erheblich beeinträchtigt werden kann. Bei frühzeitiger Erkennung mittels Windkanaluntersuchungen lassen sich nachteilige Folgen vermeiden oder wenigstens in Grenzen halten.

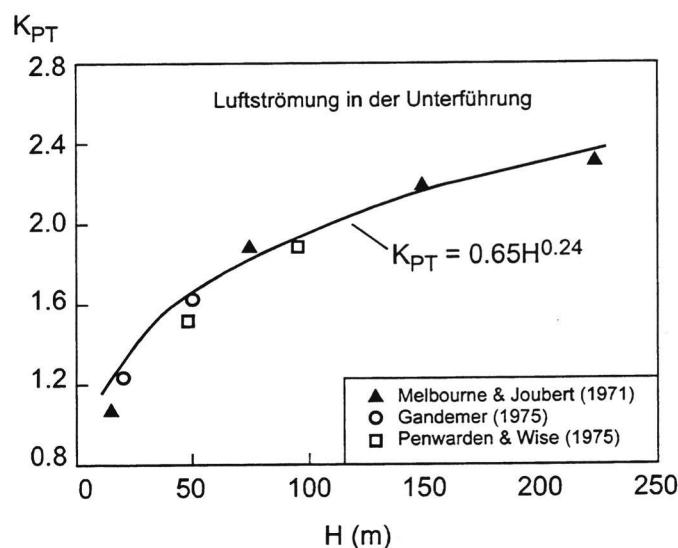


Figur 6 Der Verstärkungsfaktor als Funktion des Gebäudehöhenparameters H/H_0 [4].

5.2 Unterführungen

Druckunterschiede zwischen der Luv- und Leeseite eines Gebäudes verursachen in Unterführungen stark erhöhte Windgeschwindigkeiten. Je höher ein Gebäude ist, desto größer werden diese Druckunterschiede und damit auch die Windgeschwindigkeiten in der Unterführung.

Figur 7 gibt die Windgeschwindigkeiten bei senkrechtem Windeinfall als Funktion der Gebäudehöhe wieder [5]. Die Höchstgeschwindigkeiten in Unterführungen liegen um etwa 25% höher als in den *corner streams*.



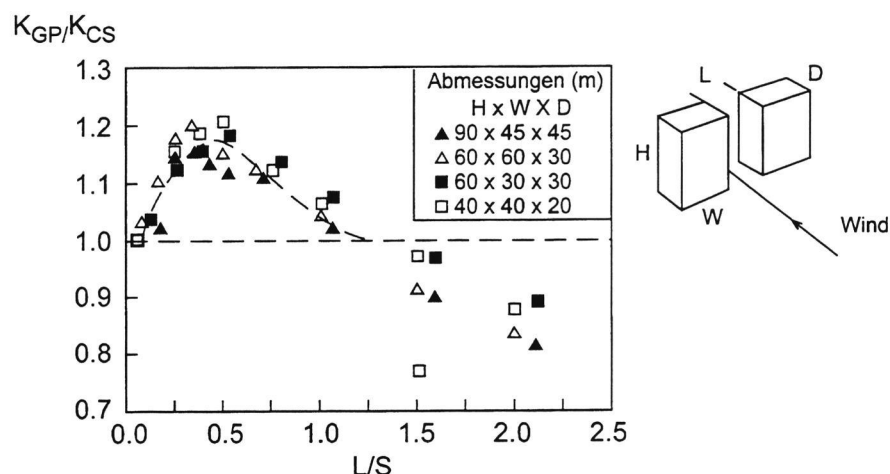
Figur 7 Verstärkungsfaktoren in Unterführungen als Funktion der Gebäudehöhe [5]

Dies bedeutet, dass man bereits bei verhältnismäßig niedrigen Gebäuden (ab 15 - 25 m) bei Unterführungen mit Windproblemen rechnen muss. Aus diesem Grunde sollten Gebäudeeingänge vorzugsweise nicht in Unterführungen angelegt werden. Geschieht dies dennoch, dann sollte wenigstens mittels Windkanaluntersuchungen nachgewiesen werden, dass sich hieraus keine Probleme ergeben. Bei Problemen sind vorbeugende Maßnahmen zu treffen. Das kann das Aufstellen von Schirmdächern oder Windschirmen oder können auch andere, tiefgreifendere Maßnahmen sein. Nur durch Windkanalmessungen lässt sich der erforderliche Umfang dieser Maßnahmen und deren Wirkung eindeutig bestimmen.

5.3 Durchgänge zwischen Gebäuden

Die Windgeschwindigkeiten in Durchgängen zwischen Gebäuden werden je nach Breite des Durchgangs mehr oder weniger stark von den Druckunterschieden zwischen der Luv- und Leeseite des Gebäudes, sowie von den Wechselwirkungen zwischen den Gebäuden und von den Eckeffekten bestimmt. Es sind viele Faktoren, die die Windgeschwindigkeiten in solchen Durchgängen bestimmen, z.B. die Gebäudehöhe und die Entfernung zwischen den Gebäuden, die Länge der Gebäude sowie deren gegenseitige Orientierung (in einer Linie, senkrecht zueinander, im Winkel) usw.

Figur 8 zeigt die Windgeschwindigkeiten in einem Durchgang als Funktion der Entfernung zwischen den Gebäuden bei senkrechtem Windeinfall [5]. Bei der ungünstigsten Breite des Durchgangs können Windgeschwindigkeiten erzeugt werden, die um 20% höher liegen als die bei den *corner streams*. Deswegen sollten Gebäudeeingänge nicht in solchen Durchgängen angelegt werden, schon gar nicht, wenn die Gebäude nahe aneinander stehen.



Figur 8 Verstärkungsfaktoren im Durchgang zwischen zwei Gebäuden im Vergleich mit den Verstärkungsfaktoren bei *corner streams* [5].

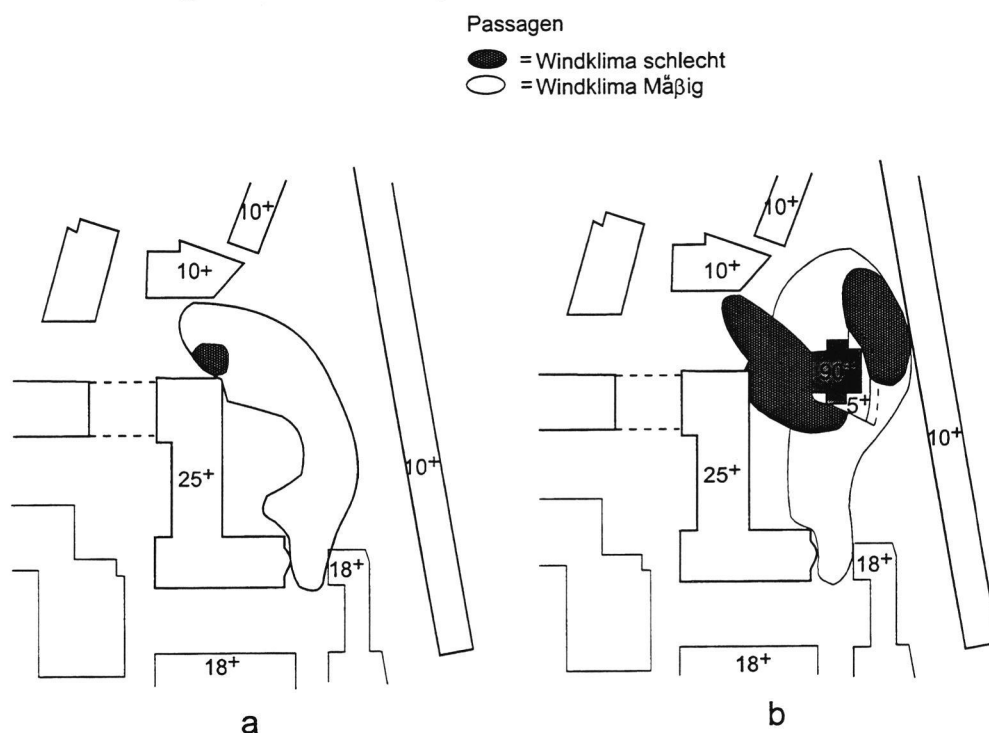
6. Beispiele

Zwei Beispiele von ad hoc durchgeführten Windkanaluntersuchungen zeigen, wie sich der Bau eines Hochhauses in einer städtischen Umgebung nachteilig auf das Windklima auswirken kann.

Beispiel 1

Am Rande eines Platzes in Eindhoven (größere Stadt im Süden des Landes) ist ein 90 m hoher Wohnturm geplant, an den sich auf der Südseite Wohnungen in Flachbauweise anschließen (Figur 2). In Figur 9a läßt sich erkennen, daß in der bestehenden Situation der Richtlinienwert für schlechtes Windklima nur sehr lokal überschritten wird. Ein großer Teil des Platzes weist ein Windklima auf, das sich als mittelmäßig einstufen lässt. Nach dem Bau des Wohnturmes wird sich das Windklima lokal jedoch drastisch verschlechtern (Figur 9b). Die Richtlinie für ein schlechtes Windklima wird dann auf einem Großteil des Platzes überschritten werden.

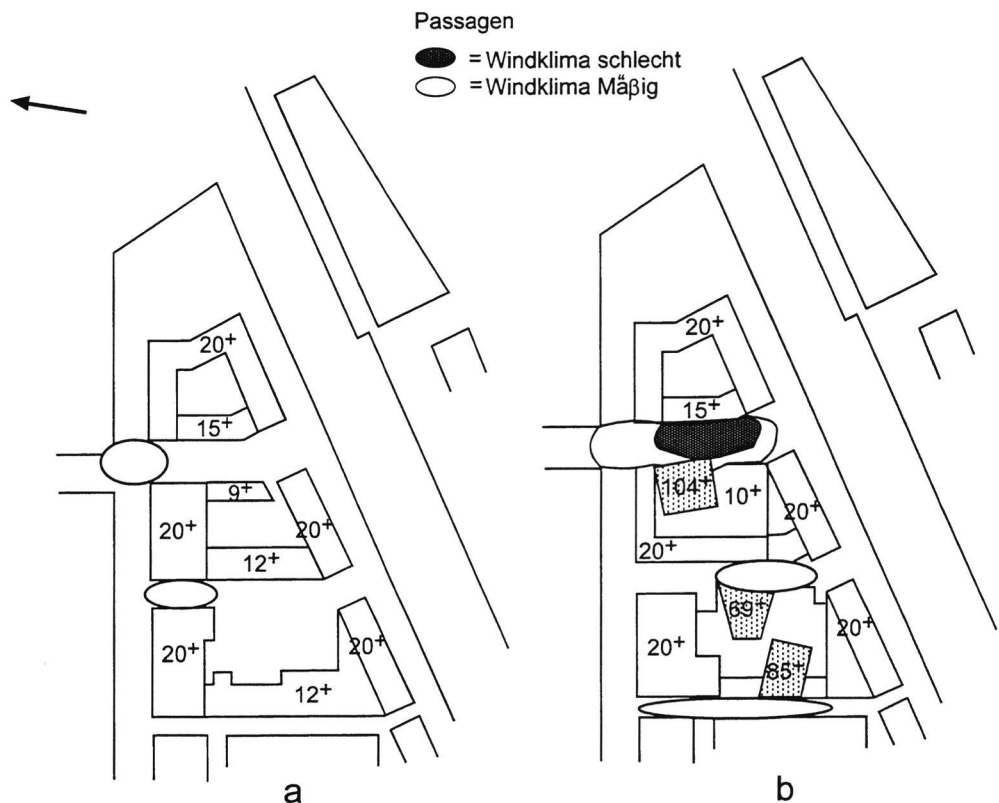
Die Kommunalverwaltung wollte dies nicht akzeptieren. Darum wurden eine Vielzahl von Messungen durchgeführt, um herauszufinden, mit welchen Maßnahmen das Windklima auf dem Platz in akzeptabler Weise verbessert werden könnte. Es zeigte sich, dass die Beeinträchtigung des Windklimas auf dem Platze durch den Bau des Wohnturmes mit Hilfe von Baumreihen und einem halbdurchlässigen Schirmdach völlig aufgehoben werden kann.



Figur 9 Das Windklima beim Emmasingelkomplex in Eindhoven
 a) bestehende Situation
 b) geplante Situation.

Beispiel 2

Im Wijnhavengebiet in Rotterdam (Westen des Landes) wird ein Teil der derzeitigen Bebauung abgerissen und durch einen Komplex ersetzt, der aus drei Wohntürmen (85, 69 und 104 m hoch) mit anliegenden Flachbauten besteht. Aus Figur 10a ergibt sich, dass die drei Straßen dieses Gebietes zur Zeit generell ein gutes Windklima aufweisen. Nach dem Bau der Wohntürme wird sich das Windklima, besonders in der Straße mit dem 104 m hohen Turm, jedoch drastisch verschlechtern. So zeigt Figur 10b, dass das Windklima in einem Großteil der Straße dann schlecht sein wird. Auch wird der Richtwert für Windgefahr in der Straße dann an mehreren Stellen überschritten werden, so dass das Windklima nicht mehr den Richtlinien für Windprobleme und Windgefahr entsprechen wird. Es wurden viele mögliche Maßnahmen erprobt, von Anpassungen des Entwurfs der Südmauer, über eine Erhöhung der anliegenden Flachbauten, bis hin zu Windschirmen und Schirmdächern, um herauszufinden, wie man das Windklima wirksam und in einer für alle Parteien akzeptablen Weise verbessern könnte. Die Windkanalmessungen ergaben, dass das Windklima in der Straße ausreichend verbessert werden kann, und zwar indem man den Entwurf der Südmauer ändert und am Turm ein halbdurchlässiges Schirmdach anbringt. Maßnahmen, die die Windprobleme vollständig aufheben, wären zu tiefgreifend gewesen.



Figur 10 Das Windklima beim Rotterdamer Wijnhavenkomplex
a) bestehende Situation
b) geplante Situation.

In der Straße zwischen dem geplanten 104 m hohen Turm und dem 69 m hohen Turm sowie in der Straße entlang des 85 m hohen Turms wird das Windklima zwar ungünstiger, doch werden die Richtlinienwerte für Windprobleme und Windgefahr (gerade) noch nicht überschritten. In beiden Fällen stehen die Türme an schmalen Straßen, wodurch die herabstürzenden Winde größtenteils darüber hinweg wehen.

Die Beispiele zeigen, dass es für die von Hochhäusern verursachten Windprobleme grundsätzlich immer Lösungsmöglichkeiten gibt. Es ist die Aufgabe der Bauherren, Architekten und Behörden, anzugeben, wie weit man diese verwirklichen will. Oftmals wird man dabei zwischen architektonischen, ästhetischen, städtebaulichen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten Kompromisse suchen müssen.

7. Schlussbemerkungen

Das Windklima in unseren Städten unterliegt einem dauernden Wandel. In manchen Städten werden Straßen und Plätze, auf denen man sich früher angenehm aufhalten konnte, zu zugigen Stellen, wobei Straßenpassanten von Böen zu Boden geweht werden können. Wie beim Gewächshauseffekt liegt auch dieser Klimaänderung ein menschliches Handeln zugrunde, nämlich die Tatsache, dass in unseren Städten immer höher gebaut wird.

Noch ist es nicht zu spät, dieser Tendenz Einhalt zu gebieten. Dabei ginge es nicht so sehr darum, den Bau von Hochhäusern zu verbieten, sondern vielmehr darum, dass Bauherren, Architekten und Behörden sich immer der Konsequenzen ihrer Pläne auf das lokale Windklima bewusst sind. Wenn die Planung und Errichtung von Hochhäusern von Windkanaluntersuchungen begleitet werden, können bereits ab dem Entwurfsstadium die Folgen auf das örtliche Windklima abgeschätzt und Maßnahmen getroffen werden, um solche nachteiligen Effekte möglichst wirksam auszuschalten.

Wie für die Niederlande ist auch für den deutschen Raum die Untersuchung im Windkanal eine hervorragende Technik zur Vermeidung ungünstiger Windeffekte.

8. **Literatur**

- [1] *Visser, G.Th, 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, Cleijne, J.W:* Wind comfort predictions by wind tunnel tests: comparisons with full-scale data, J. of Wind Eng. And Ind. Aerod., 52, 385-402, 1994.
- [3] *Visser, G.Th:* Criteria windhinder bij hoge gebouwen. De Bouwadviseur, März 1990 (16-20), (in niederländischer Sprache).
- [4] *Murakami, S; Uehara, K; Komine, H:* Amplification of wind speed at ground level due to construction of high-rise building in urban area. 3rd Colloquiem on Industrial Aerodynamics, Aachen, 14.-16. Juni, 1978.
- [5] *Wu, H:* Pedestrian-level wind environment around buildings, Thesis Centre of Building studies, Concordia University, Montreal, Quebec, Kanada, April 1994.

9. Authentication

Name and address of the principal:

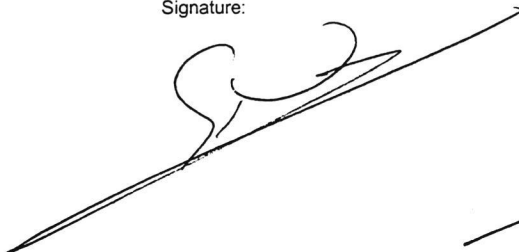
Names and functions of the cooperators:

Ing. G.Th. Visser

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

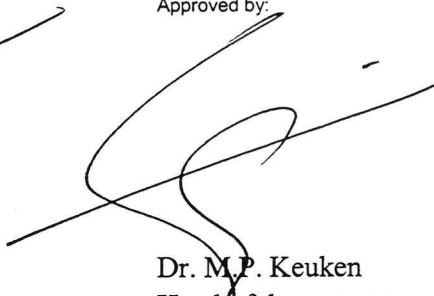
Date upon which, or period in which, the research took place:

Signature:



Ing. G.Th. Visser
Project Leader

Approved by:



Dr. M.P. Keuken
Head of department