

NOTITIE

QUICK SCAN WINDHINDER

Aan : Sprangers Vastgoedontwikkeling BV
T.a.v. : De heer G. Loevendie
Referentie : 2018.1111
Behandeld door : Vestiging Utrecht / dr. ir. F.J.R. van Mook
Datum : 9 juli 2018
Betreft : Beurtvaartkade in Terneuzen
Bijlagen : 4

Inleiding

In opdracht van Sprangers Vastgoedontwikkeling BV voert Nieman Raadgevende Ingenieurs een onderzoek naar windhinder en windgevaar in en rond het project "Beurtvaartkade" in Terneuzen uit. In deze notitie rapporteren we eerste bevindingen aan de hand van een quick scan.

In onze quick scan windhinder wordt een antwoord gegeven hoe in het huidige stadium van het ontwerp windhinder verminderd of voorkomen kan worden. De quick scan bevat een *kwalitatieve* beoordeling op basis van literatuur, vuistregels, kennis en ervaring die we op het gebied van wind in de gebouwde omgeving hebben. We komen ook op de vraag of een *kwantitatief* windhinderonderzoek met een windtunnel of met numerieke simulatie, waarmee windhinder- en windgevaarkansen kwantitatief bepaald worden, in het project nodig is.

Bijlage 3 geeft algemene achtergronden over de fenomenen wind en windhinder.

Uitgangspunten

De quick scan is gebaseerd op de volgende informatie:

- concept-schetsontwerptekeningen van 19 juni 2018;
- dwg-bestand "TER_3D_SO_concept stand 29062018.dwg", ontvangen op 30 juni 2018;
- een 14-tal renderings van 26 juni 2018 van het SO-ontwerp.

Het ontwerp is in handen van Grassodenridder Architecten in Bergen op Zoom.

Figuur 1 en Figuur 2 tonen 3d-impressies van het huidige ontwerp van de toren. De toren heeft een hoogte van circa 83 m en een horizontale doorsnede van circa 22,5 bij 25 m. De toren kraagt aan voor- en achterzijde 2,5 m van de onderbouw uit. De onderbouw heeft een hoogte van circa 6,5 m en een footprint van circa 54 bij 20 m. Het maaiveld aan de noord- en oostzijde van het gebouw is plaatselijk met 1,5 m verhoogd in verband met een half verdiepte garage en bergingen.

Figuur 3 toont een satellietopname van de ruime omgeving rond het project.



Ingenieurs B.V.
info@nieman.nl
www.nieman.nl

Atoomweg 400
Postbus 40217
3504 AA Utrecht
T 030-241 34 27

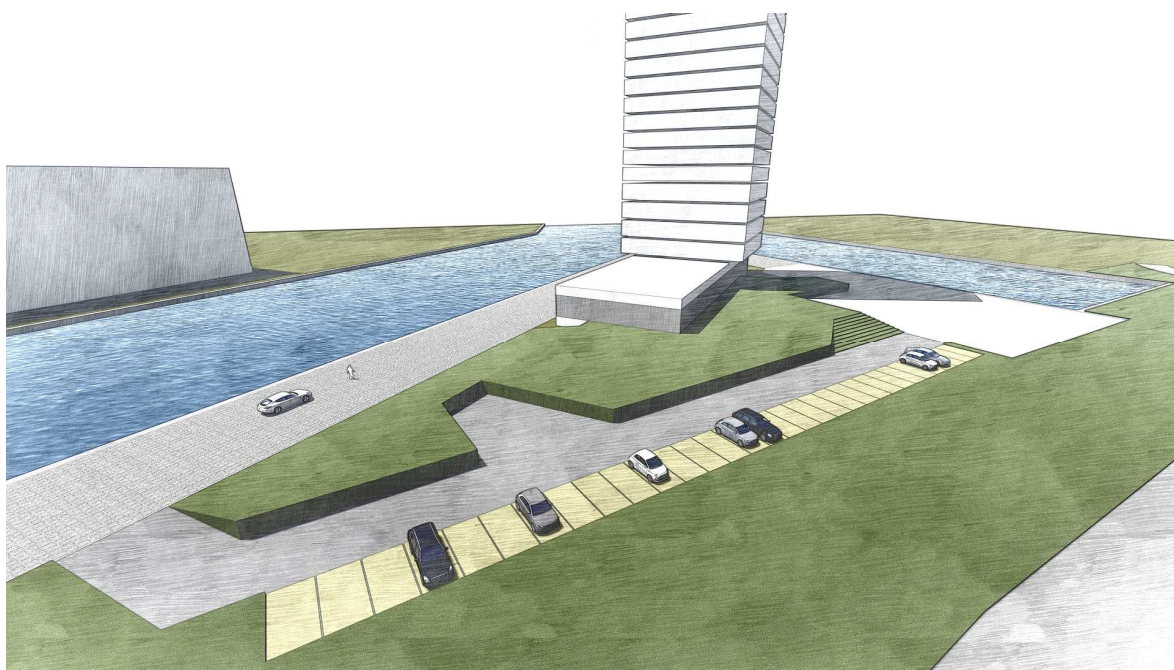
Dr. Van Lookeren -
Campagneweg 16
Postbus 40147
8004 DC Zwolle
T 038-467 00 30

Algemene gegevens
KvK Utrecht 30086383
BTW-nr. NL008969541.B01
IBAN NL94INGB0004257792
BIC INGBNL2A

Het project heeft 25 bouwlagen: een halfverdiepte kelder met parkeergarage, bergingen en utiliteitsvoorzieningen; de begane grond met entrees en horecafuncties; 4 lagen met hotelkamers; 5 lagen met studio's/startersappartementen; 12 lagen appartementen; en 2 lagen met loftwoningen.



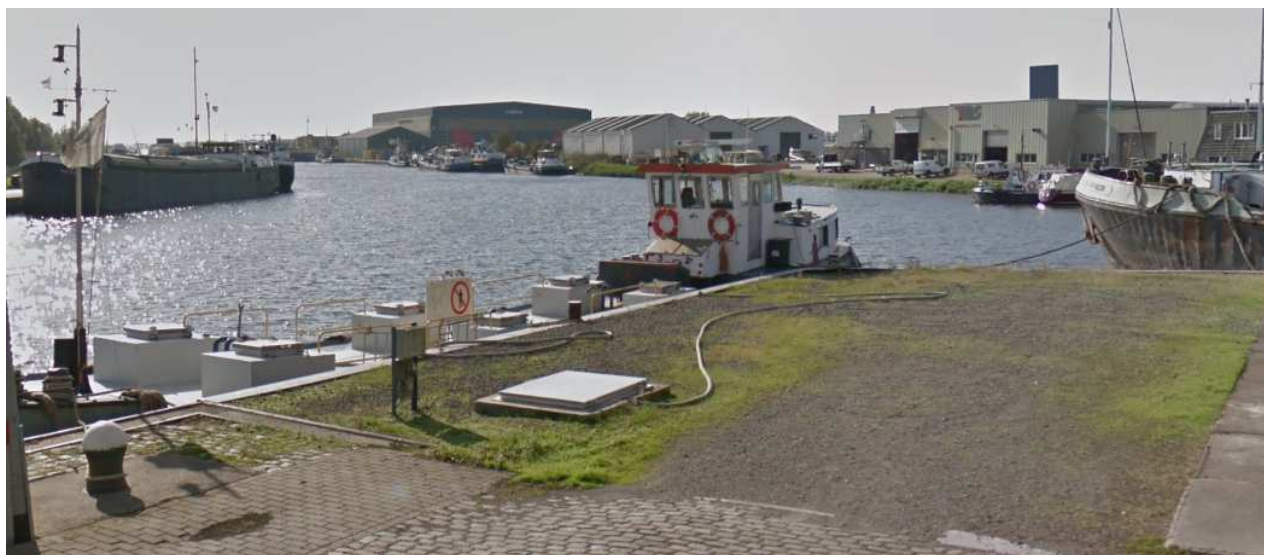
Figuur 1: Impressie vanuit zuid.



Figuur 2: Impressie vanuit noordoost.



Figuur 3: Satellietopname (Google Maps, juli 2018; datum van de opname(n) is onbekend). De cirkel heeft een straal van 300 m.



Figuur 4: Bestaande situatie gezien in de zuidwestelijke richting vanaf de zuidwesthoek op de kade (Google Maps, juli 2018; datum van de opname(n) is onbekend).

Windhinder en NEN 8100

Windhinder ontstaat vanaf een lokale windsnelheid van 5 m/s waarbij voetgangers last krijgen van hinder, zoals het verwaaien van haar, het wapperen van kleding, het opwaaien van stof en papier en het onregelmatige lopen. Dit geldt zowel voor mensen die lopen (weinig windgevoelige activiteit) als zitten (erg windgevoelige activiteit). Windgevaar is het fenomeen dat mensen door de lokale windsnelheid slecht kunnen blijven staan. Dit ontstaat bij windsnelheden vanaf 15 m/s.

Sinds maart 2006 bestaat er in Nederland NEN 8100, die eisen voor de overschrijdingskans van windhinder en windgevaar voor voetgangers en eisen aan het onderzoek naar windhinder en windgevaar stelt. De norm beschrijft twee (kwantitatieve) bepalingsmethoden: namelijk met een windtunnel of met numerieke simulatie.

De norm geeft ook een beslisschema om op eenvoudige wijze een indicatie te krijgen of onderzoek met een windtunnel of met numerieke simulatie noodzakelijk is. Het beslisschema wordt in de volgende paragraaf uitgelegd en op het project toegepast.

NEN 8100 wordt niet door nationale wetgeving aangestuurd, maar kan via gemeentelijke verordeningen of door private contracten van toepassing worden verklaard.

Beslisschema NEN 8100

Tabel 1 geeft het beslisschema volgens paragraaf 5.3 van NEN 8100 voor de vraag weer, of onderzoek met een windtunnel of met numerieke simulatie noodzakelijk is. In bepaalde gevallen moet volgens de norm een windhinderdeskundige de vraag beantwoorden.

Tabel 1: Beslisschema volgens NEN 8100 voor de vraag of onderzoek met een windtunnel of met numerieke simulatie noodzakelijk is.

gebouwhoogte	beschutting qua wind	
	beschut	onbeschut
< 15 m	nee	vraag een deskundige
15 – 30 m	vraag een deskundige	vraag een deskundige
> 30 m	ja	ja

De norm geeft aan wat "beschut" en "onbeschut" hier precies betekenen (paragraaf 5.2 van NEN 8100). Deze is afhankelijk van de dichtheid, de gemiddelde hoogte en de onderlinge afstanden tussen gebouwen en obstakels in een straal van 300 m tot het project. Een gebouw is namelijk beschut gelegen als aan de volgende drie voorwaarden voldaan wordt:

- de oppervlakte die obstakels als boomkruinen en gebouwen beslaan, bedraagt minimaal 20% van de totale oppervlakte binnen een straal van 300 m,
- het gebouw is niet hoger dan 1,5 maal de gemiddelde obstakelhoogte binnen een straal van 300 m,

- de afstand van het gebouw tot de obstakels bedraagt niet meer dan 10 maal de gemiddelde obstakelhoogte.

Uit het beslisschema volgt rechtstreeks dat voor het project een nader (kwantitatief) onderzoek met een windtunnel of met numerieke simulatie noodzakelijk wordt geacht. De gebouwhoogte in het project is namelijk groter dan 30 m. Bovendien is er sprake van een onbeschutte situatie (vergelijk de satellietbeelden in Figuur 3 en Bijlage 1).

Gemeentelijk beleid

Het perceel waarop het project zich bevindt, valt onder het bestemmingsplan/beheersverordening "Oostelijke Kanaaloever" (door de gemeenteraad in juni 2013 vastgesteld) en de "Structuurvisie gemeente Terneuzen 2025" (door de gemeenteraad in december 2010 vastgesteld), is onderdeel van het "Masterplan Axelsedam" uit 2003¹ en komt zijdelings aan de orde in de "Structuurvisie Binnenstad Terneuzen" (door de gemeenteraad in januari 2012 vastgesteld). In geen van de genoemde documenten komt het gewenste windklimaat of een normering ten aanzien van windhinder en windgevaar aan de orde.

De gemeente heeft dus geen regulier beleid over windklimaat, windhinder en windgevaar voor voetgangers. Wel wordt bij sommige plannen NEN 8100 toegepast, zoals in het plangebied "Pattistpark", waar drie woontorens van 60 m hoog op de dijk tussen de Westerschelde en de Churchilllaan in Terneuzen waren geprojecteerd, en waarvoor het bestemmingsplan moest worden herzien (2013).

Het ligt voor de hand om in het onderhavige project NEN 8100 toe te passen.

Buitengebieden, activiteitenklassen en kwaliteitsklassen

Essentieel bij de beoordeling van windhinder en windgevaar is de vaststelling van de buitengebieden in een plangebied en de vaststelling van de activiteit per buitengebied.

In Tabel 2 zijn de onderscheiden activiteitenklassen genoemd. Ze worden in verband gebracht met de gevoeligheid voor windhinder. Een voetganger die bijvoorbeeld in een gewone straat of over een parkeerterrein loopt en met redelijke snelheid en rechtstreeks van een plek naar een andere plek loopt, ondervindt veel minder hinder van de wind, dan iemand die bijvoorbeeld op een terrasje zit. Tussen deze activiteiten "doorlopen" respectievelijk "langdurig zitten" wordt een activiteitenklasse onderscheiden die qua windgevoeligheid er midden in zit: deze wordt "slenteren" genoemd en heeft betrekking op bijvoorbeeld een winkelstraat, een onoverdekt winkelcentrum, een park en gebouwingangen.

¹ https://www.terneuzen.nl/Inwoners_Terneuzen/Wonen/Projecten/Masterplan_Axelsedam

Tabel 2: Activiteitenklassen volgens NEN 8100:2006.

klasse	voorbeelden	
I.	doorlopen, gericht lopen	parkeerterrein, trottoir
II.	slenteren, zitten en staan	winkelstraat, onoverdekt winkelcentrum, park, gebouwingang
III.	langdurig zitten	terras, bankje in park



activiteitenklasse I (doorlopen: trottoir en parkeerterrein)



activiteitenklasse II (gebouwingangen)



activiteitenklasse II (slenteren)



activiteitenklasse III (langdurig zitten: terras)

Figuur 5: Onderscheiden buitengebieden en hun activiteitenklasse op straatniveau.

In Figuur 5 is een voorstel voor de te onderscheiden buitengebieden met hun activiteitenklassen weergegeven. Hierbij maken we de volgende opmerkingen:

- de toegangsweg voor auto's en de parkeerplaatsen bij het project markeren we met activiteitenklasse I (doorlopen), de gebruikelijke activiteit voor voetgangers op dergelijke plekken;
- de toegang voor voetgangers over het dek van de parkeergarage naar de hoofdentrees van het hotel en de appartementen wordt met activiteitenklasse II (slenteren) gemarkeerd. Hoewel dergelijke plekken vaak met activiteitenklasse I (doorlopen) worden gekarakteriseerd, speelt in

het project de overweging een rol, dat hotelgasten vaak zoekende zijn, en dat een hoger comfortniveau met een hogere activiteitenklasse tot uitdrukking wordt gebracht;

- (belangrijke) gebouwingangen, waar activiteitenklasse II volgens de norm geldt. Deze activiteitenklasse hanteren we in een gebiedje in een straal van enkele meters rond elke gebouwingang. In Figuur 5 zijn de belangrijke ingangen aangegeven;
- de kade markeren we met activiteitenklasse II, omdat dit slentergebied is voor voetgangers;
- het terras ten zuidwesten en zuidoosten van het project markeren we met activiteitenklasse III (langdurig zitten) de gebruikelijke activiteit voor voetgangers op dergelijke plekken. Omdat de terrasfunctie een grotere windgevoeligheid heeft dan een slenterfunctie, is hiermee de mogelijkheid van slenteren ook gewaarborgd;
- op het dek van de parkeergarage is geen gebied waar voetgangers normaliter komen.

Verder wordt ervan uitgegaan dat de nieuwbouw niet voor bijzondere doelgroepen bestemd is. ²

Bij een windtunnelmeting of een numerieke simulatie volgens NEN 8100 wordt per meetpunt een overschrijdingskans voor windhinder en een overschrijdingskans voor windgevaar bepaald. Met betrekking tot windhinder wordt dit (kwantitatieve) gegeven per meetpunt tenslotte afhankelijk van de activiteitenklasse in de eenvoudige, woordelijke beoordeling "goed", "matig" of "slecht" vertaald (volgens Tabel 4). Bijvoorbeeld, een beoordeling "slecht" bij een meetpunt in een gebied waar activiteitenklasse III geldt, betekent dat het windklimaat er slecht (zoals "slecht" in normaal taalgebruik gehanteerd wordt) voor de activiteit langdurig zitten is. De beoordelingen "goed", "matig" en "slecht" geven uiting aan een kwaliteitsklasse voor windhinder, en men kan op voorhand een gewenste kwaliteitsklasse per buitengebied afspreken. (Wanneer uit de windtunnelmeting of een numerieke simulatie blijkt dat de kwaliteitsklasse niet wordt gehaald, zijn dus maatregelen tegen windhinder nodig.)

In het project stellen we voor te streven naar de beoordeling "goed". De beoordeling "goed" bij de activiteitenklasse III (langdurig zitten) is een eis die weinig marge voor windhinder toelaat.

De overschrijdingskans voor windgevaar per meetpunt wordt in "niet gevaarlijk", "beperkt risico" of "gevaarlijk" vertaald (volgens Tabel 5).

In het project stellen we voor te streven naar de beoordeling "niet gevaarlijk".

² Toegangen van gebouwen waar mensen met een beperkte mobiliteit (zoals kinderen, gehandicapten en ouderen) komen, dienen extra zorgvuldig ontworpen te worden, omdat de windhinder- en windgevaarcriteria op vitale volwassenen zijn gebaseerd. Concrete kwantitatieve criteria voor ouderen en kinderen worden overigens door NEN 8100 niet gegeven, omdat er in de wetenschappelijke literatuur nauwelijks gegevens over voorhanden zijn.

Windklimaat

De snelheid van de wind die een plangebied inkomt, is afhankelijk van de afremming of versnelling die bovenwinds door grote waters, terreinhoogteverschillen, begroeiing, gebouwen en obstakels ontstaat. De aard van het aardoppervlak die de afremming of versnelling van de wind veroorzaakt, wordt ruwheid genoemd. Hoe groter de ruwheid, hoe meer afremming.

Voor de beschrijving van de uitgebreide omgeving wordt NPR 6097:2006 gebruikt. Met het computerprogramma en de data van de NPR kan een ruwheidskaart in een straal van 6 km rond een plangebied worden gegenereerd. Het resultaat is in Bijlage 1 opgenomen.

Met dezelfde NPR kan een windroos op 60 m hoogte boven het plangebied gegenereerd worden. De windroos boven het project is in Bijlage 2 opgenomen.

Uit de windroos boven het plangebied blijkt dat de overheersende windrichting zuidwest is. De secundaire overheersende wind komt uit sector 60° (ongeveer oostnoordoost). In vergelijking met het windklimaat boven de weerstations Schiphol en De Bilt is het windklimaat in het desbetreffende deel van Terneuzen duidelijk winderiger.

De wind die in zuidwestelijke richting het plangebied binnenkomt, zal weinig afgeremd zijn door bebouwing en andere obstakels: de wind heeft eerst een lange weg over agrarisch gebied (weinig ruw) afgelegd en komt vervolgens over bebouwd gebied grootschalige waterwerken en grootschalige en onregelmatige bebouwing tegen (Bijlage 1 en Figuur 4).

Risicofactoren in en bij het project

Het risico op windhinder en windgevaar op een zekere plek (op loopniveau) is enerzijds afhankelijk van het windklimaat (een meer winderig klimaat levert een groter risico op) en is anderzijds afhankelijk van de windgevoeligheid van de activiteit in de beschouwde buitenruimte (een meer windgevoelige activiteit levert een groter risico op). Situaties die in het algemeen een risico op windhinder en windgevaar leveren, zijn in paragraaf 4 van Bijlage 3 vermeld.

Bij het huidige ontwerp van het project maken we de volgende opmerkingen:

- De hoogte van de toren (circa 83 m) is op zich een risicofactor. In Figuur 6 is het invloedsgebied op straatniveau vanwege de toren geschetst. Met deze schets van het invloedsgebied wordt het gebied op straatniveau rond een gebouw aangegeven waar windsnelheden verhoogd zijn, voor alle windrichtingen en zonder rekening te houden met de omgeving of andere bijzonderheden. In het invloedsgebied kan windhinder ontstaan. De omvang van het invloedsgebied kan met behulp van Figuur 10 in Bijlage 3 worden geschat. In het project strekt het invloedsgebied zich tot ongeveer 45 m vanaf elke torengewel uit. Voor een

illustratie van de verdeling van windsnelheden op straatniveau rond een toren bij twee concrete windrichtingen wordt naar Figuur 15 in Bijlage 4 verwezen.

- Alle buitengebieden met matig tot zeer windhindergevoelige activiteiten, namelijk activiteitenklasse II (slenteren, entrees) en activiteitenklasse III (langdurig zitten), bevinden zich in het geschetste invloedsgebied van de toren. Het plangebied is bovendien onbeschut gelegen en bevindt zich in een winderig deel van de stad. We verwachten daarom serieuze windhinder in de onderscheiden buitengebieden; mogelijk zal er ook windgevaar zijn!
- Het overstek (2,5 m diep en op circa 6,5 m hoogte) van de noordwest- en zuidoostgevels zal overigens nauwelijks effect hebben op straatniveau.



Figuur 6: Indicatieve schets van het invloedsgebied op straatniveau rond de toren, voor alle windrichtingen en zonder rekening met bijzonderheden en de omgeving te houden.

Oplossingsrichtingen

Veel toegepaste oplossingsrichtingen om windhinder en windgevaar te verminderen of te voorkomen zijn in paragraaf 6 van Bijlage 3 vermeld.

In deze notitie richten we ons op het verminderen van windhinder bij het terras en de belangrijkste gebouwentrees. We geven hiervoor de volgende suggesties:

- podiumbouw. Met podiumbouw wordt een toren op een bredere laagbouw gezet. Zo wordt voorkomen dat de "valwinden" en "hoekstromen" vanwege de toren (zie paragraaf 2 en Figuur

9 in Bijlage 3) direct op straatniveau terecht komen. Bovendien maakt men gebruik van het feit dat de laagbouw op zichzelf een veel kleinere invloedsgebied heeft. In Figuur 16 in Bijlage 4 zijn ter illustratie enkele resultaten van windtunnelexperimenten uit de literatuur opgenomen, van een situatie die qua maatvoering met het project enigszins overeenkomen. Daaruit schatten we de vuistregel dat de laagbouw minimaal ongeveer 2 à 3 keer de breedte van de toren moet hebben om de invloed van de toren op straatniveau klein te laten zijn.

- **luifel (horizontaal scherm).** Een luifel heeft effect tegen wind die (voornamelijk) verticaal van boven naar beneden stroomt. De beschutting op de vloer strekt zich niet verder uit dan de verticale projectie van de luifel op de vloer. Voor een overstek geldt ongeveer hetzelfde: in het huidige ontwerp is de diepte/hoogte-verhouding van het overstek veel te klein en bovendien bevinden de overstekken zich onder de toren, waar zeker bij zuidwesten wind veel wind horizontaal onder het overstek zal gaan. Een luifel in de configuratie van toren en laagbouw uit het huidige ontwerp heeft waarschijnlijk pas effect als deze niet te hoog geplaatst is, behoorlijk diep is (voor een groot deel de terrassen overdekken), en rondom de toren geplaatst is (vergelijk Figuur 8).
- **verticaal scherm.** Een verticaal scherm geeft beschutting achter het scherm (benedenwinds). De beschutting strekt zich uit tot een afstand gelijk aan ongeveer 2 à 3 keer de hoogte van het scherm. De hoogte van het scherm wordt door de hoogte van het hoofd bepaald: Als men beschut achter een scherm wil kunnen staan, moet deze dus ten minste manshoog zijn; bij zitten is een scherm van 1,2 à 1,5 m hoog voldoende. Door verticale schermen in L-vorm, U-vorm en etc. te plaatsen, kunnen beschutte plekken voor verschillende windrichtingen gecreëerd worden. Dit gebeurt traditioneel al op veel horeca-terrassen. In combinatie met een luifel vinden we in Figuur 8 een voorbeeld aan de voet van een zeer hoge toren.
- **entrees uit de buurt van gebouwhoeken.** In verband met hoekstromen en eventuele valwinden wordt in het algemeen afgeraden belangrijke entrees op gebouwhoeken te situeren.

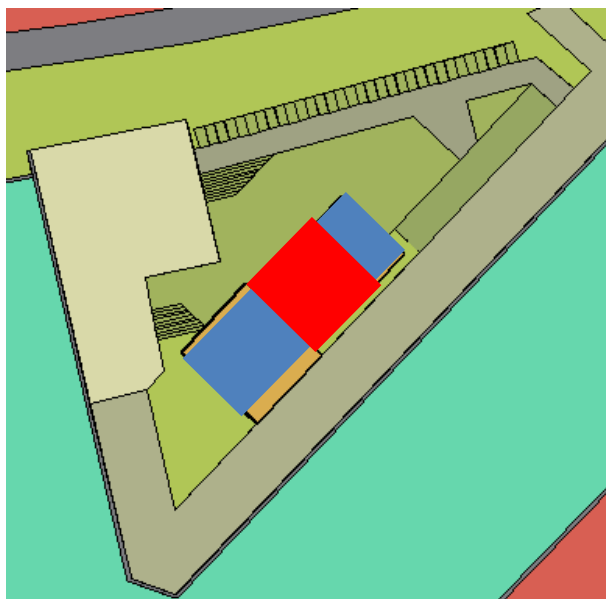
Figuur 7 toont hoe bovenstaande principes in verschillende varianten op het project toegepast kunnen worden.

De oplossingen van Figuur 7a en b zijn nauwelijks vormen van podiumbouw meer. Ze kunnen toch effectief genoeg zijn voor het windklimaat op het terras aan de zuidwestzijde van het project, waardoor maar in beperkte mate verticale schermen op dit terras nodig zullen zijn (wellicht hoogstens op de omtrek). In het geval van Figuur 7b is er een natuurlijke plek voor een entree in een "oksel" van de gebouwmassa aan de noordoostzijde, waar een luifel extra beschutting biedt.

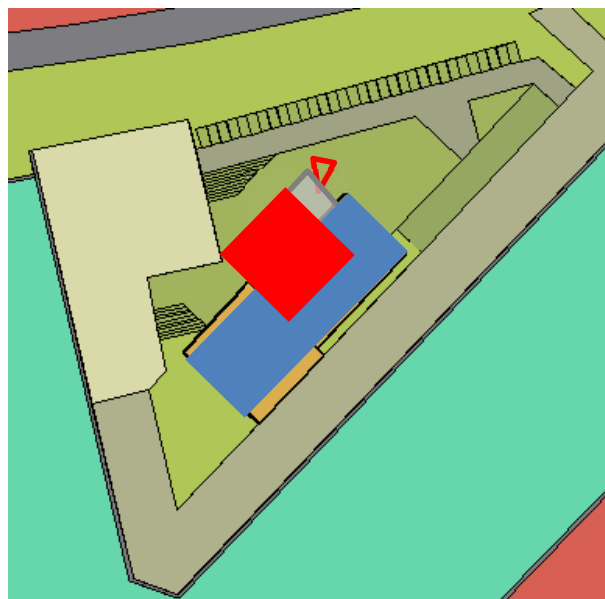
Figuur 7c geeft een vorm van podiumbouw weer dat vooral effectief zal zijn voor wind uit zuidwest, zuid en zuidoost. Net als bij Figuur 7b is er een natuurlijke plek voor een beschutte entree op noordoost.

Figuur 7d is een oplossing vergelijkbaar met die in Figuur 8 weergegeven.

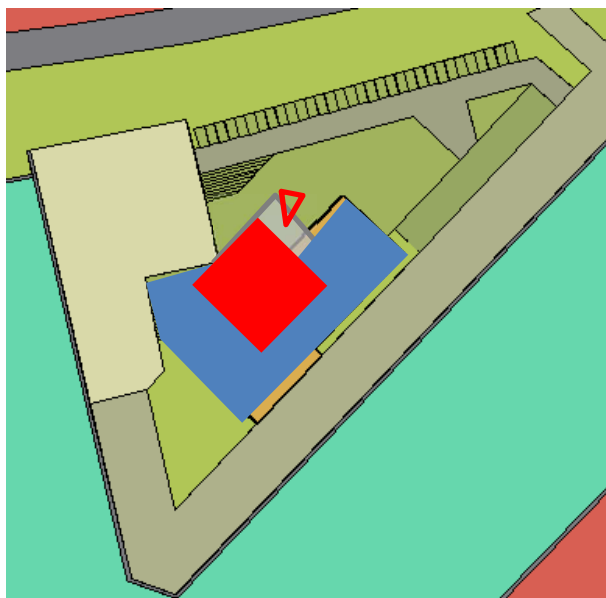
In de oplossingsrichtingen van Figuur 7 zal windhinder op de parkeerplaatsen ten noorden van het project nauwelijks tot weinig verminderd worden. Door de toren te verschuiven verschuift het invloedsgebied van de toren in principe mee (vergelijk met Figuur 6).



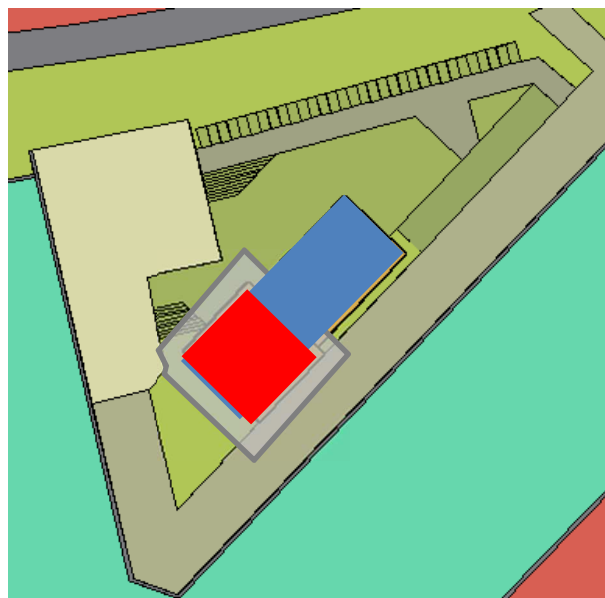
a)



b)



c)



d)

Figuur 7: Geschetste oplossingsrichtingen (toren: rood; laagbouw: blauw; verticaal scherm/luifel: grijs).



Figuur 8: World Port Center (124 m hoog) in Rotterdam (bron: Google Maps, juli 2018).

Conclusie

Naar ons inzicht leidt het huidige ontwerp van het project tot een behoorlijk risico op windhinder (en misschien windgevaar) voor voetgangers op straatniveau direct rond het project.

Volgens het beslisschema van paragraaf 5.3 van NEN 8100 is in het project een kwantitatief windhinderonderzoek noodzakelijk.

Gezien het risico en de uitkomst van het beslisschema adviseren we een kwantitatief windhinderonderzoek (met een windtunnel of met numerieke simulatie) uit te voeren.

In de notitie bespreken we ook oplossingsrichtingen om windhinder en windgevaar te verminderen. Het ontwerp kan met deze suggesties aangepast worden. In een kwantitatief windhinderonderzoek kunnen het huidige of aangepaste ontwerp en diverse verbetervarianten getoetst worden.

Voor zover we hebben kunnen nagaan, stelt de gemeente geen concrete eisen aan windhinder en windgevaar.

Tenslotte adviseren we voor het verdere verloop van het project:

- buitengebieden, activiteitenklassen, kwaliteitsklassen en doelgroepen vast te stellen;
- eventueel het ontwerp aan te passen;
- aan de gemeente de toepassing van NEN 8100 en eventueel de in het project onderscheiden buitengebieden, activiteitenklassen en kwaliteitsklassen voor goedkeuring voor te stellen. Met de goedkeuring worden de criteria en bepalingsmethoden vastgelegd;
- een kwantitatief windhinderonderzoek uit te voeren. Afhankelijk van de beoogde oplossingsrichtingen kunnen we voor de methode van windtunnelmetingen danwel numerieke

simulaties adviseren. Twee praktische voordelen van windtunnelmetingen boven numerieke simulaties zijn (a) dat tijdens een meetdag in de windtunnel een aantal varianten op interactieve wijze kunnen worden getest, en (b) dat groen en halfdoorlatende schermen, als deze interessante oplossingsrichtingen zijn, in windtunnels op eenduidige wijze worden gemodelleerd.

Literatuur

Beranek, W.J. (rapporteur) (1979). *SBR 65 : Beperken van windhinder om gebouwen (deel 1)*. Deventer [etc.]: Kluwer Technische Boeken [etc.]. Inclusief afzonderlijke fotobijlage.

Beranek, W.J. (rapporteur) (1982). *SBR 90 : Beperken van windhinder om gebouwen (deel 2)*. Deventer [etc.]: Kluwer Technische Boeken [etc.]. Inclusief afzonderlijke fotobijlage.

Bottema, M. (1993). *Wind climate and urban geometry*. Proefschrift, Technische Universiteit Eindhoven.

Gandemer, J. (1975). Wind environment around buildings: aerodynamic concepts. In: *Proceedings 4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*, Heathrow, 8-12 september 1975.

NEN 8100 (februari 2006). *Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving*. Delft: Nederlands Normalisatie-Instituut.

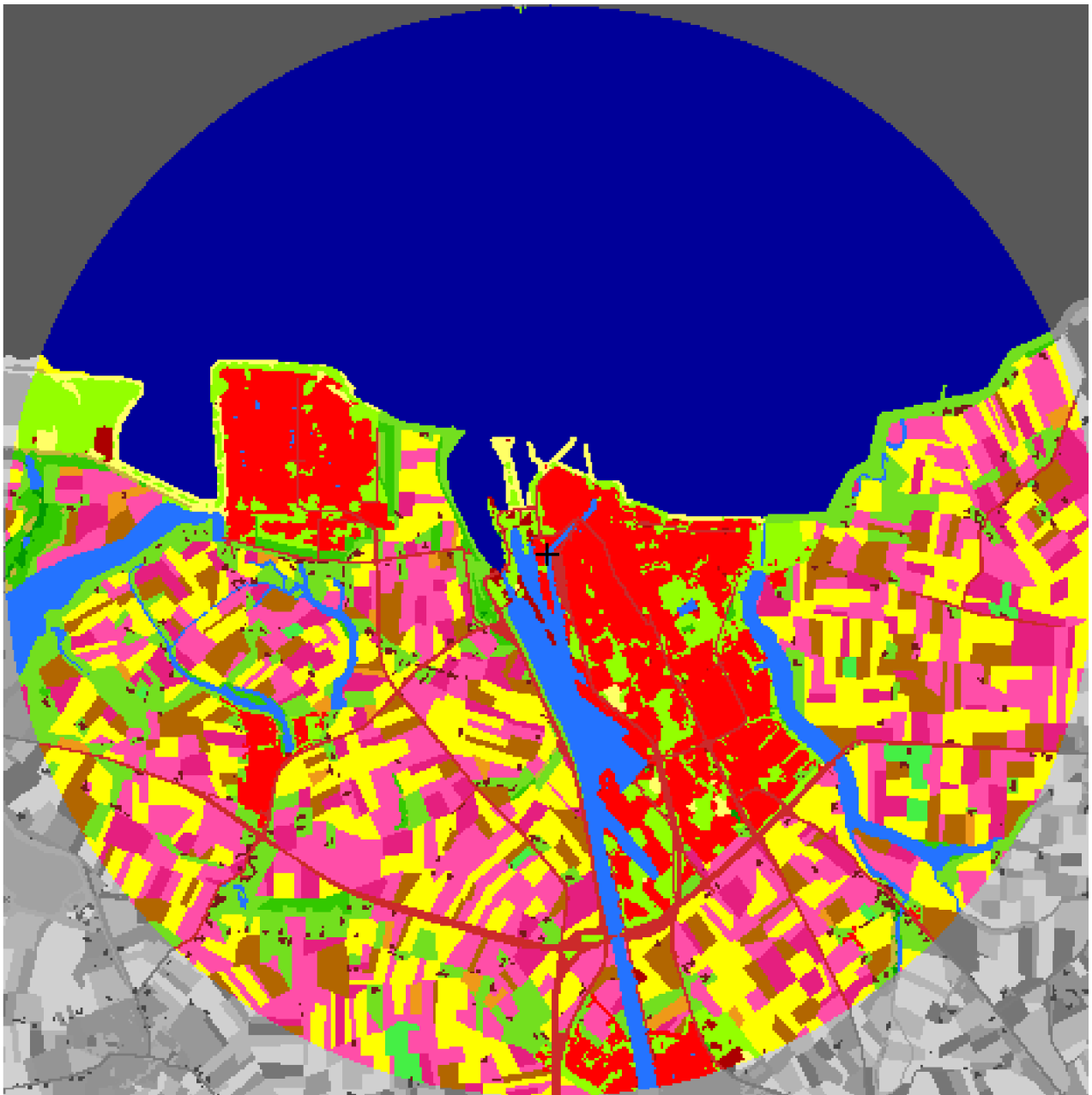
NPR 6097 (januari 2006). *Toepassing van de statistiek van de uurgemiddelde windsnelheden voor Nederland*. Delft: Nederlands Normalisatie-Instituut. Inclusief dvd met software en data.

Bijlage 1
Ruwheidskaart

Breedte- en lengtegraden van het midden van het project zijn circa $51,332571^\circ$ en respectievelijk $3,823681^\circ$. De overeenkomstige Amersfoortse coördinaten zijn $X = 46024$, $Y = 372550$.

De kaart toont het landgebruik tot een straal van 6 km rond het plan. De kaart is op satellietfoto's van het landgebruik in 1995 en 1997 gebaseerd.

De in de legenda vermelde ruwheidslengten z_0 is een maat voor de ruwheid.





Kleur	Klasse	z_0 (m)
	Geen gegevens	0,03
	Gras	0,03
	Maïs	0,17
	Aardappelen	0,07
	Bieten	0,7
	Granen	0,16
	Overige landbouwgewassen	0,07
	Buitenland	0,15
	Glastuinbouw	0,1
	Boomgaard	0,39
	Bollen	0,07
	Loofbos	0,75
	Naaldbos	0,75
	Zoet water	0,001
	Zout water	0,001
	Stedelijk bebouwd gebied	1,6
	Bebouwing in buitengebied	0,5
	Loofbos in bebouwd gebied	1,1
	Naaldbos in bebouwd gebied	1,1
	Bos met dichte bebouwing	2
	Gras in bebouwd gebied	0,03
	Kale grond in bebouwd buitengebied	0,001
	Hoofdwegen en spoorwegen	0,1
	Bebouwing in agrarisch gebied	0,5
	Start- en landingsbanen	0,0003
	Parkeerplaats	0,1
	Kwelders	0,0002
	Open zand in kustgebied	0,0003
	Open duinvegetatie	0,02
	Gesloten duinvegetatie	0,06
	Duinheide	0,04
	Open stuifzand	0,0003
	Heide	0,03
	Matig vergraste heide	0,04
	Sterk vergraste heide	0,06
	Hoogveen	0,06
	Bos in hoogveengebied	0,75
	Overige moerasvegetatie	0,03
	Rietvegetatie	0,1
	Bos in moerasgebied	0,75
	Veenweidegebied	0,07
	Overig open begroeid natuurgebied	0,03
	Kale grond in natuurgebied	0,001

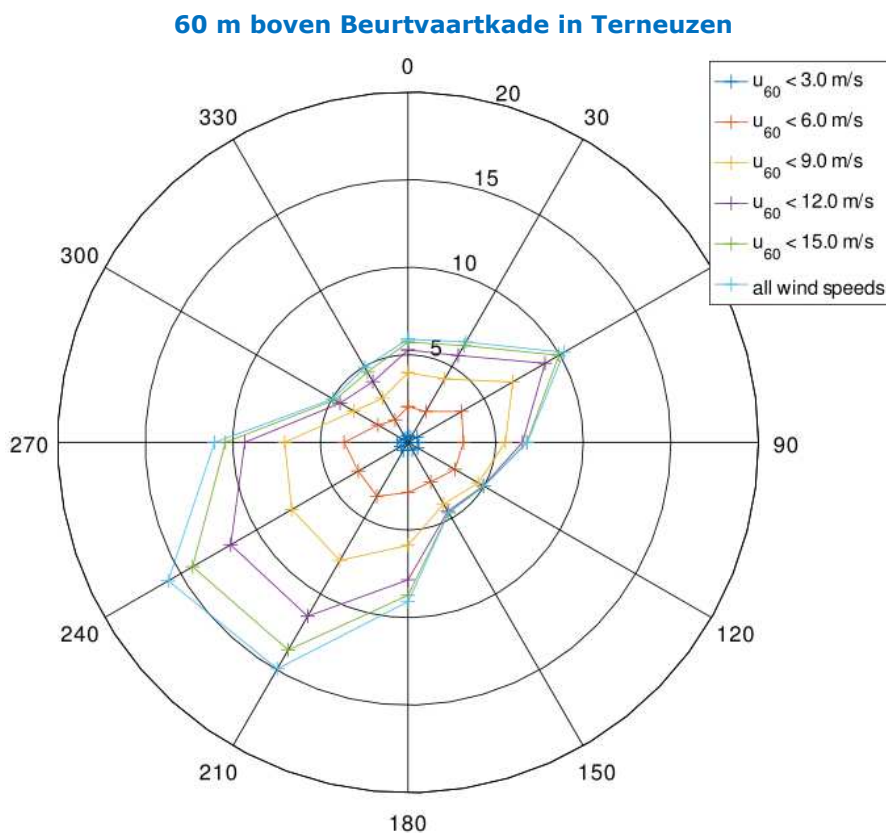
Bijlage 2

Windroos

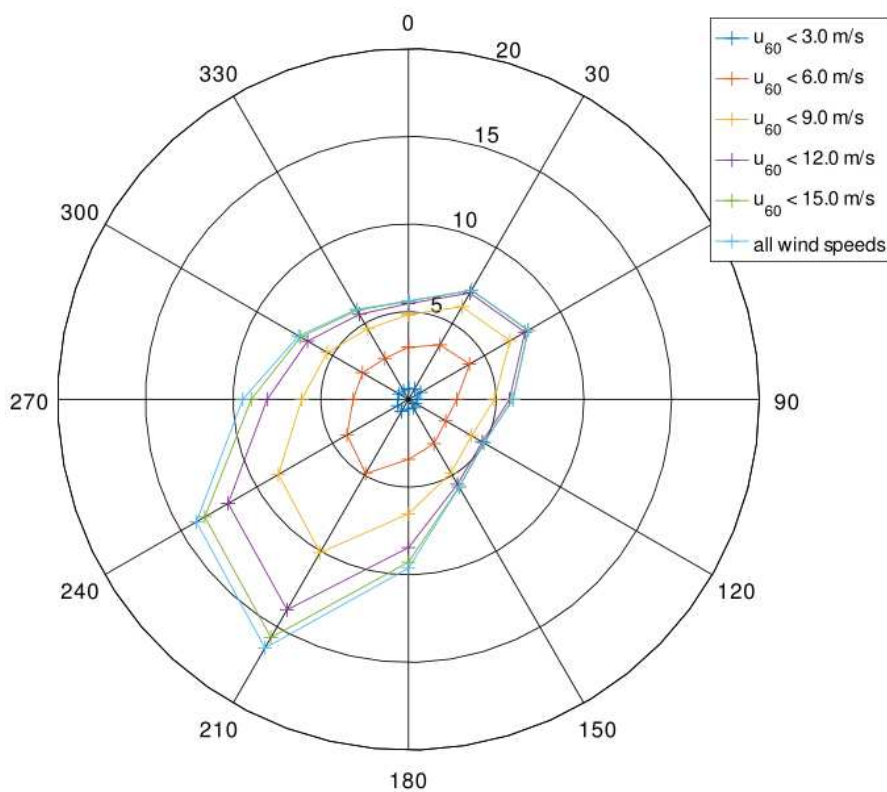
De onderstaande windroos geeft de cumulatieve verdeling van uurlijkse windsnelheden op 60 meter hoogte in een percentage van de totale tijd per windrichting. De gegevens uit NPR 6097:2006 zijn gebaseerd op de gemeten windsnelheden van de KNMI-weerstations in het tijdvak 1963-2002 en op een ruwheidskaart die aan de hand van satellietfoto's van het landgebruik in 1995 en 1997 is gemaakt.

De onderstaande windroos geldt voor het project (Amersfoortse coördinaten $X = 46024$, $Y = 372550$). Ter vergelijking zijn de windrozen boven de weerstations Schiphol en De Bilt daaronder weergegeven.

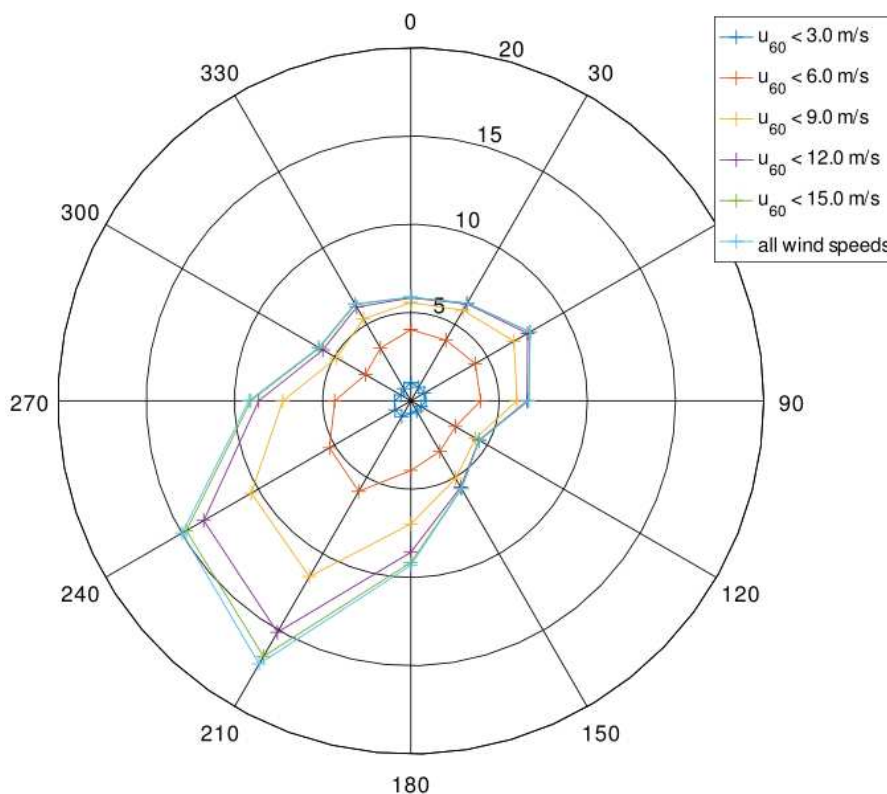
Windrichtingen: noord = 0° , oost = 90° , zuid = 180° , west = 270° .



60 m boven weerstation Schiphol



60 m boven weerstation De Bilt



Bijlage 3

Achtergronden over wind en windhinder

In deze bijlage is ter verduidelijking van de rapportage aanvullende informatie opgenomen over het fenomeen wind en windhinder.

1. Wind over terreinen

De snelheid van de wind die een plangebied inkomt, is afhankelijk van de afremming of versnelling die bovenwinds door grote waters, terreinhoogteverschillen, begroeiing, gebouwen en obstakels ontstaat. De aard van het aardoppervlak die de afremming of versnelling van de wind veroorzaakt, wordt ruwheid genoemd. Hoe groter de ruwheid, hoe meer afremming.

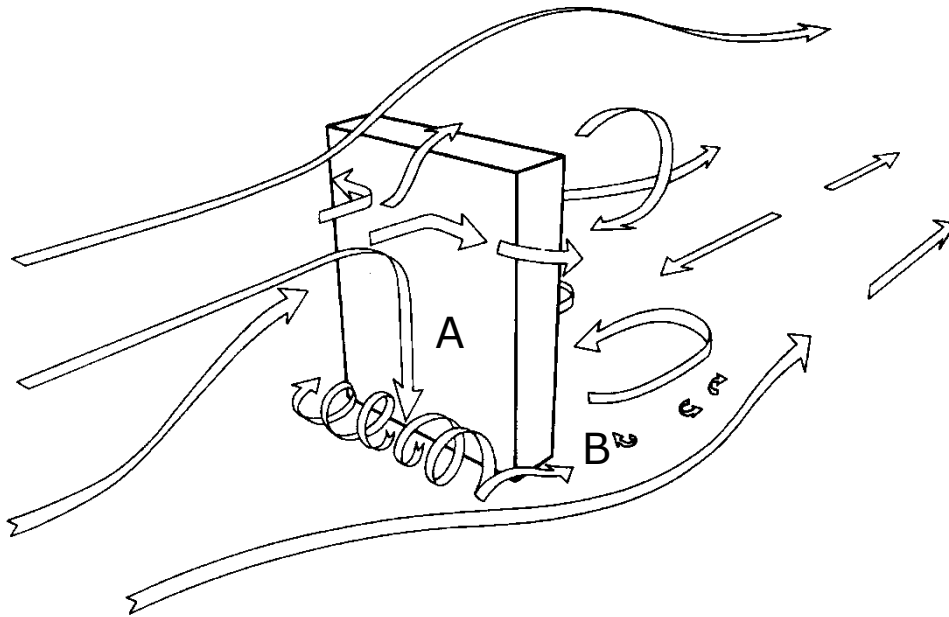
De uitgebreide omgeving wordt in de abstracte termen van ruwheden beschreven. Voor Nederland bestaat er NPR 6097:2006. Met het computerprogramma en de data van de NPR kan een kaart met de ruwheden in een straal van 6 km rond een plangebied worden gegenereerd. De kaart is op satellietfoto's van het landgebruik in 1995 en 1997 gebaseerd.

Binnen een straal van 300 m van het plangebied wordt daarentegen de aard van het terrein in veel meer detail beschreven. De beschrijving van deze directe omgeving bestaat dan uit de posities, hoogten, breedten, lengten en oriëntaties van gebouwvolumen, bomen, andere (grote) obstakels en de ruwheden van de straten en andere oppervlakten. Voor het plangebied zelf geldt hetzelfde, maar dan in nog meer detail.

Alzo is het stromingspatroon van de wind die een plangebied inkomt, complex. Men kan dit inzien door zich eerst voor te stellen dat de windsnelheid door de afstanden waarover de wind over een terrein met een zekere ruwheid blaast, en door veranderingen van de ruwheden van de terreinen verandert. Vervolgens komt de wind aan/in het plangebied en moet de wind over en om de verschillende obstakels gaan.

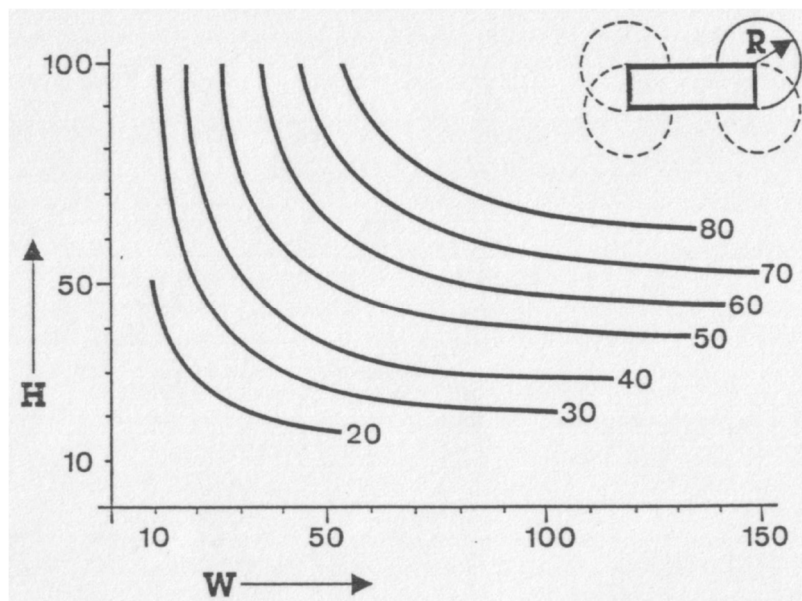
2. Wind rondom een gebouw

Wanneer de wind langs een obstakel gaat, ontstaan versnellingen en wervelingen. Om het simpel en kort te houden beschouwen we het algemene windpatroon rond een hoog gebouw in een verder onbebouwde omgeving. Figuur 9 toont dit voor een eenvoudige rechthoekige toren wanneer de wind loodrecht op de breedste gevel blaast. Het windklimaat aan de voet van het gebouw wordt bepaald door een grote neerwaartse beweging (aangeduid met "A" in de figuur), door zijwaartse stromingen aan de voorzijde aan de voet, en vervolgens door de hoekstromingen ("B"). Zo ontstaan verhoogde snelheden op loophoogte voor- en zijlangs het gebouw. Veel van de wind die op loopniveau ervaren wordt, "komt van boven".



Figuur 9: Gemiddeld windpatroon bij loodrechte aanstroming van een hoog gebouw (Beranek et al. 1979).

De pijlen in Figuur 9 geven slechts de globale richtingen van de luchtstromingen aan. De grootte van de windsnelheden rondom het gebouw hangt van de vorm en de hoogte/breedte/diepte-verhoudingen van het gebouw. Het gebied rond het gebouw op straatniveau waar de windsnelheden vanwege het gebouw (zoals bij hoekstromingen "B" in Figuur 9) met minimaal 20% zijn vergroot, wordt invloedsgebied genoemd. De omvang van het invloedsgebied hangt af van de vormverhoudingen van het gebouw, maar een grove schatting kan men met Figuur 10 maken.



Figuur 10: Invloedsgebied van een enkel hoog gebouw met breedte W en hoogte H meter (Bottema 1993). De straal R geeft ongeveer het gebied rond de hoeken aan waarbinnen de windsnelheden op looppniveau minimaal 20% groter zijn dan in het open veld op looppniveau.

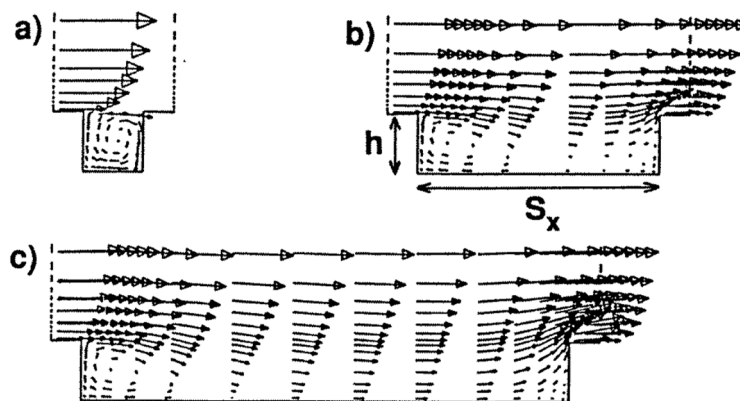
Uit Figuur 10 blijkt bijvoorbeeld dat een gebouw met een gevel van 20 m breed en 50 meter hoog (waarop de wind staat) een invloedsgebied van circa 30 m heeft.

Figuur 10 wordt pas bij gebouwen vanaf 20 m hoogte gebruikt. Hoewel het figuur gebaseerd is op onderzoek naar gebouwen in het vrije veld, kunnen we deze schatting bij eerste benadering ook voor gebouwen in de gebouwde omgeving gebruiken. Daarbij moet wel bedacht worden dat het windpatroon tussen gebouwen meestal erg lastig in te schatten is, en dat het invloedsgebied in werkelijkheid dus groter of kleiner kan zijn.

3. Wind tussen gebouwen

Tussen twee evenwijdige stroken gebouwen —ofwel in een rechte straat— is de mate van beschutting afhankelijk van de afstand tussen de stroken S_x en de hoogte van de stroken h , in het geval dat de wind loodrecht op de as van de straat waait. In Figuur 11 zijn windpatronen in het verticale vlak afgebeeld. Hoe kleiner de verhouding S_x/h is, hoe meer beschutting. Bij $S_x/h < 3$ à 4 gaat de wind grotendeels over de stroken en de straat heen. Dan is er dus beschutting in de straat. Als de wind evenwijdig of bijna evenwijdig aan de straatas waait, is er geen beschutting.

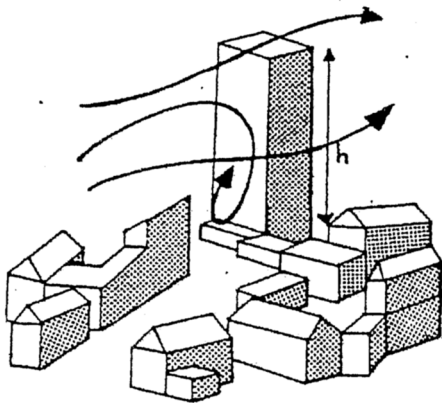
Voor de (on)beschutting in pleinen en binnenplaatsen gelden bij eerste benadering ongeveer dezelfde verhoudingen.



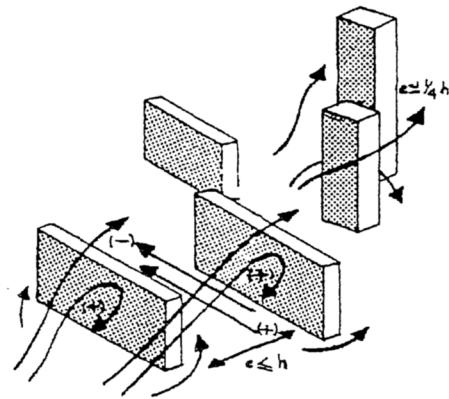
Figuur 11: Windpatronen over twee evenwijdige stroken: a) $S_x/h = 1$, "skimming flow"; b) $S_x/h = 4$, "wake interference flow" en c) $S_x/h = 8$, "isolated roughness flow" (Bottema 1993).

Langs straten en pleinen wordt het windklimaat ook sterk door doorgangen tussen gebouwen en onregelmatigheden in gebouwhoogten bepaald. Als vuistregel wordt bijvoorbeeld vaak genomen, dat een gebouw aan een plein of straat dat minimaal 1,5 maal hoger is dan het gemiddelde, de beschutting teniet kan doen. Zoals boven met Figuur 9 geïllustreerd zorgt zo'n duidelijk hoger gebouw ervoor dat

een belangrijk deel van de wind naar beneden en langs de hoeken van het gebouw moet gaan, waardoor het windklimaat op straatniveau nadelig beïnvloed wordt. Figuur 12 is een voorbeeld van een configuratie waar na de bouw van het hoge gebouw de beschutting die oorspronkelijk door de gebouwen van ongeveer gelijke hoogte langs straten en pleinen was ontstaan, voor een belangrijk deel teniet is gedaan.



Figuur 12: Het nadelige effect van een gebouw dat veel hoger is dan het gemiddelde gebouw (Gandemer 1975).



Figuur 13: Sterke stroming tussen verschoven gebouwen (Gandemer 1975).

4. Risicofactoren voor windhinder en windgevaar

De belangrijkste situaties met grote kans op windhinder en windgevaar zijn:

- hoge gebouwen. Deze situatie is al boven duidelijk gemaakt. NEN 8100 beveelt sowieso bij gebouwen hoger dan 30 m een nader windhinderonderzoek aan (het beslisschema uit de norm, zie Tabel 1 uit de rapportage). In Nederland worden dus dergelijke situaties als een risico beschouwd;
- gebouwen die minimaal 1,5 keer hoger zijn dan de gemiddelde gebouw- of obstakelhoogte. Niet alleen gebouwen maar ook obstakels zoals heuveltjes, dijken, schermen, bomen en boomgroepen worden uiteraard in de beschouwing meegenomen;
- entrees op gebouwhoeken van hogere gebouwen. Deze hebben een grotere kans op windhinder dan entrees ver van gebouwhoeken, waar de hoekstromingen ("B" in Figuur 9) minder effect hebben;
- doorgangen tussen gebouwen. Afhankelijk van de geometrische verhoudingen (als de tussenafstand ongeveer 0,5 à 2 keer de gebouwhoogte is) kunnen de hoekstromingen tussen twee gebouwen elkaar versterken;
- onderdoorgangen. Zeker onder hogere gebouwen leiden onderdoorgangen vaak voor een sterke trek. Dit levert niet alleen windhinder voor het lopen op maar ook kan men deuren in de onderdoorgang met moeite openen of sluiten;

- evenwijdige gebouwen die verschoven ten opzichte van elkaar staan, zoals in Figuur 13. Bij wind op de lange zijde ontstaat er een sterke stroming tussen de gebouwen en evenwijdig aan de gebouwen.

De windeffecten in een zekere geometrie zijn afhankelijk van de windrichting. Alleen voor hele simpele geometrieën zijn gegevens uit de literatuur beschikbaar. In de praktijk zijn de geometrieën meestal zo complex dat vuistregels, zoals boven genoemd, slechts een hele grove kwalitatieve inschatting met ruime onzekerheidsmarges kunnen leveren.

5. Criteria voor windhinder en windgevaar

De norm NEN 8100 geeft eisen aan het lokale windklimaat afhankelijk van de activiteit. In Tabel 3 zijn de onderscheiden activiteitenklassen genoemd. Ze worden in verband gebracht met de gevoeligheid voor windhinder. Een voetganger die bijvoorbeeld in een gewone straat of over een parkeerterrein loopt en met redelijke snelheid en rechtstreeks van een plek naar een andere plek loopt, ondervindt veel minder hinder van de wind, dan iemand die bijvoorbeeld op een terrasje zit. Tussen deze activiteiten "doorlopen" respectievelijk "langdurig zitten" wordt een activiteitenklasse onderscheiden die qua windgevoeligheid er midden in zit: deze wordt "slenteren" genoemd en heeft betrekking op bijvoorbeeld een winkelstraat, een onoverdekt winkelcentrum, een park en gebouwingen.

Tabel 3: Activiteitenklassen volgens NEN 8100:2006.

klasse	voorbeelden
I.	doorlopen, gericht lopen parkeerterrein, trottoir
II.	slenteren, zitten en staan winkelstraat, onoverdekt winkelcentrum, park, gebouwingang
III.	langdurig zitten terras, bankje in park

In Tabel 4 zijn de (kwantitatieve) beoordelingen van het lokale windklimaat voor windhinder opgesomd. Afhankelijk van het aantal uur per jaar dat de windsnelheid op een plek op loop- of verblijfshoogte groter is dan 5 m/s, valt het windklimaat op die plek in een kwaliteitsklasse A tot en met E. Uit Tabel 4 kan men aflezen hoe dat windklimaat beoordeeld moet worden afhankelijk van de activiteit op dat gebied. Men kan afspreken de beoordeling "matig" en "slecht" niet te accepteren, waardoor in dergelijke gevallen maatregelen ter vermindering van windhinder genomen moeten worden. Een "goed" windklimaat op een zekere plek met activiteitenklasse III (langdurig zitten) betekent dat maximaal 2,5% van de tijd de windsnelheid daar groter is dan 5 m/s. Omdat activiteitenklasse I (doorlopen) veel minder gevoelig voor windhinder is, mag de overschrijdingskans uiteraard groter zijn: volgens de norm geldt er een "goed" windklimaat voor "doorlopen" als maximaal 10% van de tijd de windsnelheid groter is dan 5 m/s.

De norm hanteert een drempelwaarde van 5 m/s voor de beoordeling van windhinder, omdat vanaf deze snelheid (vergelijkbaar met Beaufort 3 tot 4) haren, kleding, paraplu's beginnen te wapperen, en stof en papieren weggeblazen worden.

De drempelwaarde voor windgevaar is 15 m/s. Bij deze snelheid (ongeveer Beaufort 7 tot 8) worden mensen uit hun evenwicht gehaald, kunnen ze niet recht lopen en kunnen ze zelfs gaan vallen. In Tabel 5 zijn de criteria voor windgevaar opgesomd.

Toetsing van een plan aan de criteria voor windhinder en windgevaar kan alleen aan de hand van een kwantitatieve schatting. Daarvoor beschrijft de norm twee methoden: een windtunnelsimulatie en een numerieke simulatie.

Tabel 4: Beoordeling van het lokale windklimaat voor windhinder op loop- of verblijfsniveau (NEN 8100:2006). De drempelsnelheid is $U_{grens;H} = 5,0$ m/s.

overschrijdingskans $p(U_{lok} > U_{grens;H})$ in % van het aantal uur per jaar	activiteitenklasse			kwaliteits klasse
	I. doorlopen	II. slenteren	III. langdurig zitten	
< 2,5	goed	goed	goed	A
2,5 – 5	goed	goed	matig	B
5 – 10	goed	matig	slecht	C
10 – 20	matig	slecht	slecht	D
> 20	slecht	slecht	slecht	E

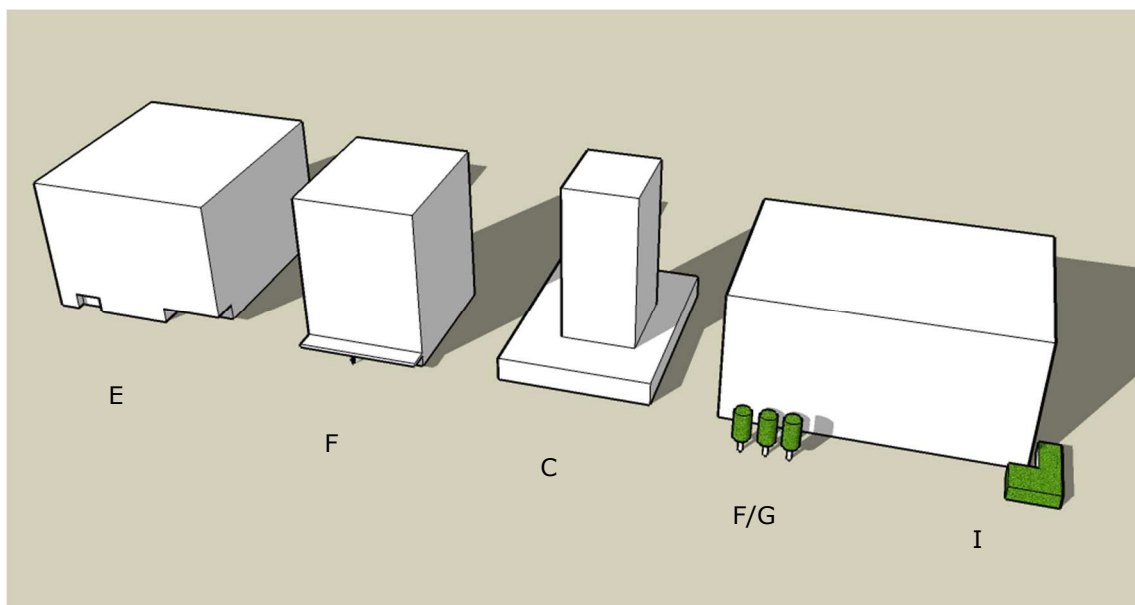
Tabel 5: Beoordeling van het lokale windklimaat voor windgevaar op loop- of verblijfsniveau (NEN 8100:2006). De drempelsnelheid is $U_{grens;G} = 15$ m/s.

overschrijdingskans $p(U_{lok} > U_{grens;G})$ in % van het aantal uur per jaar	kwalificatie
0,05 – 0,30	beperkt risico: acceptabel bij activiteitenklasse I, maar onacceptabel bij II en III
$\geq 0,30$	gevaarlijk

6. Maatregelen om windhinder en windgevaar te verminderen

Windhinder en windgevaar voor voetgangers kunnen in het algemeen op de volgende manieren worden beperkt (Figuur 14):

- A. de hoogte van een nieuw gebouw aanpassen aan de gemiddelde hoogte van de bestaande omringende gebouwen;
- B. in plaats van open verkavelingen: binnenhoven, omsloten pleinen en straten met een breedte gelijk aan de (gemiddelde) gebouwhoogte;
- C. podiumbouw, dat wil zeggen een breed blok van één of enkele lagen onder een smaller hoogbouw;
- D. vermijden van onderdoorgangen, of deze voorzien van schermen of luifels;
- E. ten opzichte van de gevel terugleggen van begane-grondgevels of entrees;
- F. luifels en overstekken op straatniveau. Bomen kunnen soms dezelfde functie vervullen;
- G. verticale schermen, al dan niet permeabel, hagen;
- H. verplaatsing van windgevoelige activiteiten (zoals gebouwingen en speeltuinen) naar minder winderige plekken;
- I. ontoegankelijk maken van winderige plekken voor voetgangers, bijvoorbeeld door middel van een vijver of struiken.



Figuur 14: Voorbeelden van maatregelen om windhinder en windgevaar te beperken. De letters verwijzen naar de in de tekst genoemde maatregelen.

Een goede keuze en afstemming van gebouwvolumes (bijvoorbeeld volgens punten A-D) leveren het grootste effect op. Maar niet altijd zijn dergelijke voordelige configuraties toepasbaar en zullen maatregelen op detailniveau (D-G) een verbetering moeten leveren of zijn oplossingen als H en I echt

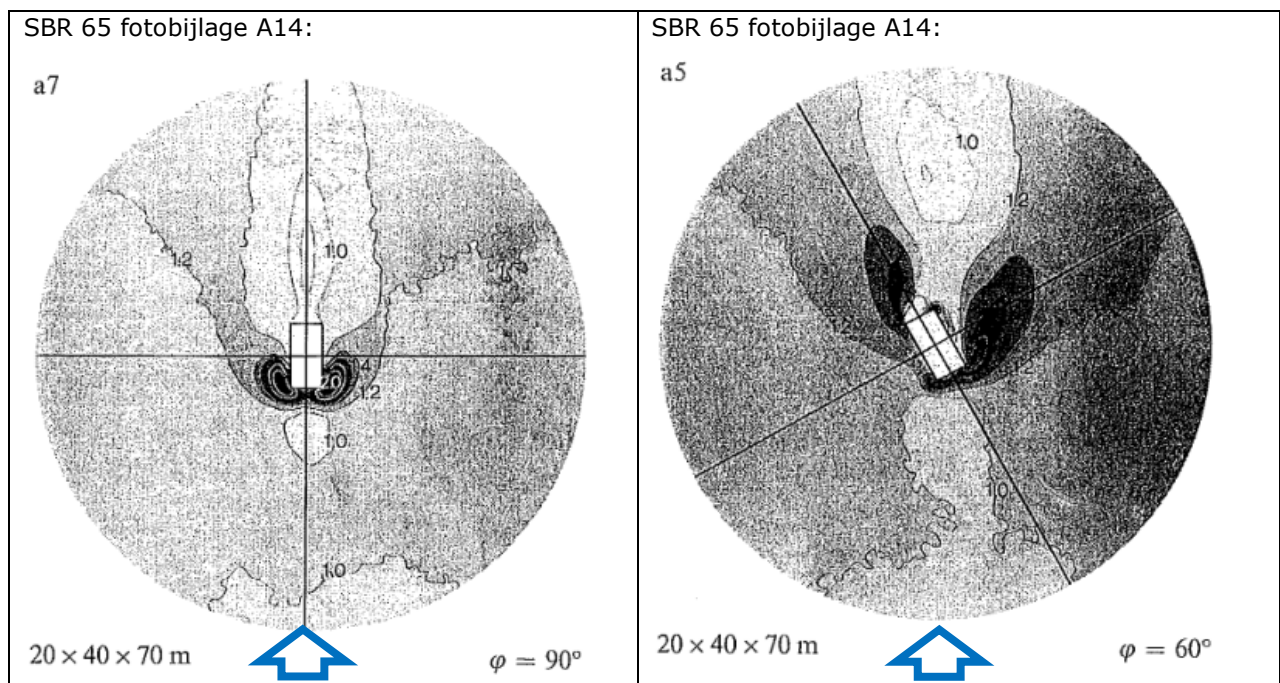
noodzakelijk. Of een maatregel het gewenste effect heeft, wordt met een windtunnelmeting of numerieke simulatie vast gesteld.

Bijlage 4

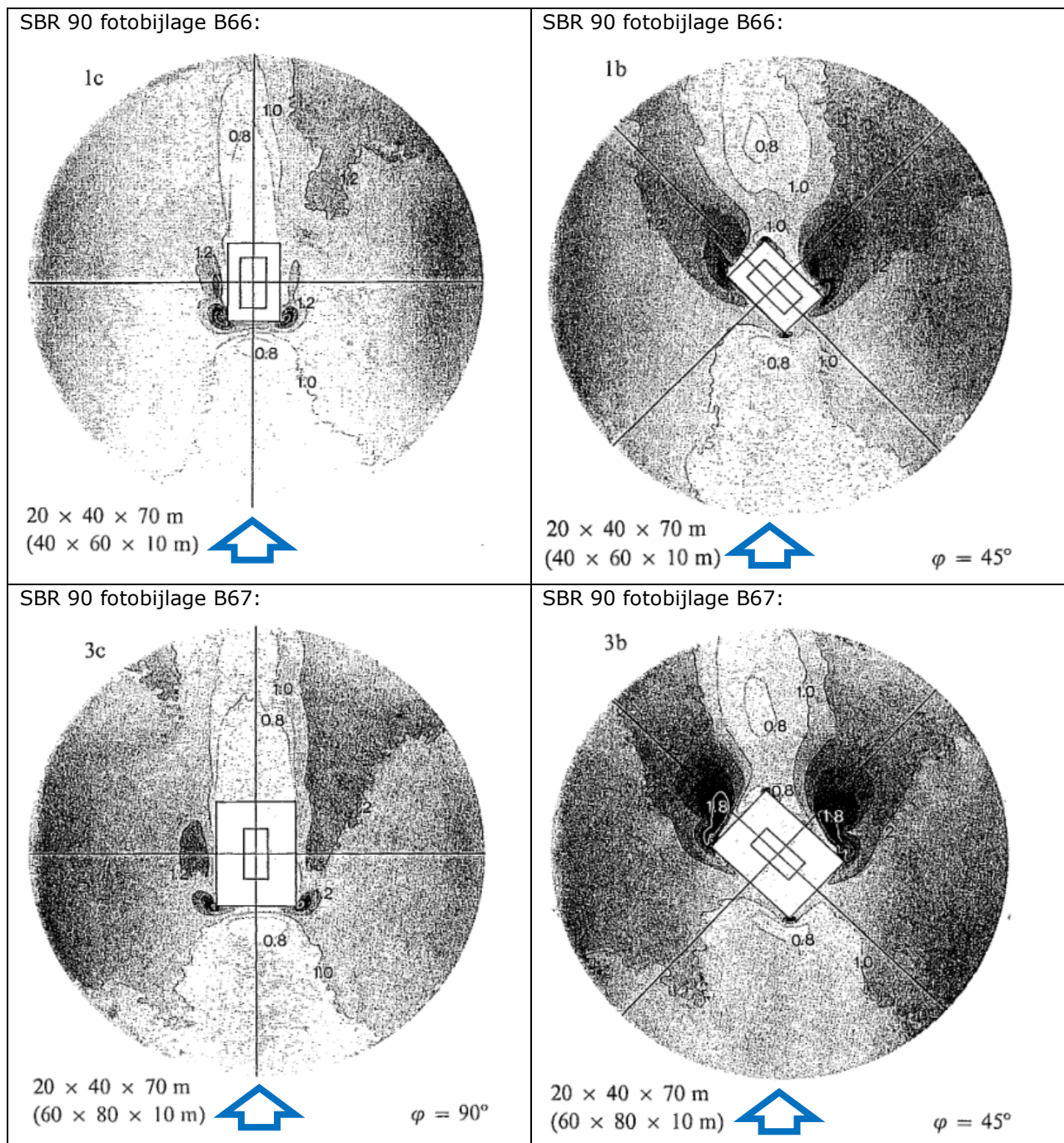
Windhindercontouren volgens SBR 65 en SBR 90

De onderstaande figuren zijn uit SBR 65 en 90 overgenomen. Zij dienen om het invloedsgebied rond een toren en een toren op een laagbouw te illustreren. We hebben uit al de gepubliceerde configuraties de configuraties gekozen die qua afmetingen het meest op die van het project lijken.

De figuren zijn door middel van de korrelerosiemethode aan de hand van een schaalmodel in een windtunnel verkregen. De figuren geven contouren van de windvergrotingsfactor (op maaiveldniveau), kort gezegd windhindercontouren, bij een gegeven windrichting weer. De windvergrotingsfactor op een punt geeft aan hoeveel keer de windsnelheid groter is dan in het geval het gebouw er niet zou staan. Voor doorlopen wordt een windvergrotingsfactor kleiner dan 1,6 à 1,8 aangehouden, voor slenteren kleiner dan 1,2 à 1,4, en voor langdurig zitten kleiner dan 0,8 à 1,0.



Figuur 15: Loodrechte (links) en schuine (rechts) aanstroming (blauwe pijl) op een blok van 20 x 40 x 70 m (breedte x lengte x hoogte).



Figuur 16: Loodrechte (links) en schuine (rechts) aanstroming (blauwe pijl) op een blok van 20 × 40 × 70 m bovenop een smalle onderbouw van 40 × 60 × 10 m (boven) respectievelijk een brede onderbouw van 60 × 80 × 10 m (onder).