



RAADGEVENDE INGENIEURS

Nieman

Bouwfysica, -techniek en -regelgeving

QUICK SCAN WINDHINDER

Markendaalseweg in Breda

In 't Hart van de Bouw

QUICK SCAN WINDHINDER

Markendaalseweg in Breda

VOF Residential I Breda
Vughterstraat 158
5211 GN 's-Hertogenbosch

Vertegenwoordigd door: De heer J. Havermans

Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.

Vestiging Utrecht
Postbus 40217
3504 AA Utrecht
T 030 - 241 34 27
utrecht@nieman.nl
www.nieman.nl

Uitgevoerd door: dr. ir. F.J.R. van Mook

Referentie:	20160430.001
Status:	definitief
Datum:	28 mei 2018

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1 Inleiding	2
------------------------------	----------

Hoofdstuk 2 Windhinder, windgevaar en NEN 8100	3
---	----------

Hoofdstuk 3 Uitgangspunten	4
-----------------------------------	----------

3.1	Documenten	4
3.2	Projectomschrijving	4
3.3	Omgeving	7
3.4	Plangebied	8
3.5	Toepasselijkheid van NEN 8100	8

Hoofdstuk 4 Beslisschema NEN 8100	9
--	----------

4.1	Norm	9
4.2	Evaluatie	9

Hoofdstuk 5 Buitengebieden en hun activiteitenklassen	11
--	-----------

5.1	Activiteitenklassen	11
5.2	Buitengebieden	11

Hoofdstuk 6 Kwalitatieve analyse	14
---	-----------

6.1	Omgeving en windstatistiek	14
6.2	In en rond het plangebied	14
6.3	Aandachtspunten	16

Hoofdstuk 7 Conclusie	19
------------------------------	-----------

Hoofdstuk 8 Literatuur	20
-------------------------------	-----------

Bijlage 1 Ruwheidskaart	
--------------------------------	--

Bijlage 2 Windroos	
---------------------------	--

Bijlage 3 De fenomenen wind en windhinder	
--	--

1. Wind over terreinen
2. Wind rondom een gebouw
3. Wind tussen gebouwen



4. Risicofactoren voor windhinder en windgevaar
5. Criteria voor windhinder en windgevaar
6. Maatregelen om windhinder en windgevaar te verminderen

Hoofdstuk 1 Inleiding

In opdracht van VOF Residential I Breda, vertegenwoordigd door de heer J. Havermans, doet Nieman Raadgevende Ingenieurs onderzoek naar windhinder en windgevaar in het project "Markendaalseweg" in Breda. In dit rapport beschrijven we de uitgangspunten en bevindingen van onze quick scan.

In onze quick scan wordt een antwoord gegeven of en waar mogelijke knelpunten met betrekking tot windhinder en windgevaar in de huidige fase van het project te verwachten zijn. De quick scan bevat een kwalitatieve beoordeling op basis van literatuur, kennis en ervaring die we op het gebied van wind in de gebouwde omgeving hebben. Ook geven we aan welke vervolgstappen in het ontwerpproces mogelijk zijn. In dit rapport komen daarom aan de orde:

- een analyse van de voor wind relevante eigenschappen van de nieuwbouw en de omgeving;
- een aanwijzing van relevante buitengebieden en een voorstel voor de daarin gewenste kwaliteit van het windklimaat;
- aandachtspunten en knelpunten in de buitengebieden aan de hand van een kwalitatieve, voorlopige beoordeling van de mogelijke windhinder en windgevaar.

Hoofdstuk 2 Windhinder, windgevaar 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 Hoofdstuk 4 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.

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

Hoofdstuk 3 Uitgangspunten

3.1 Documenten

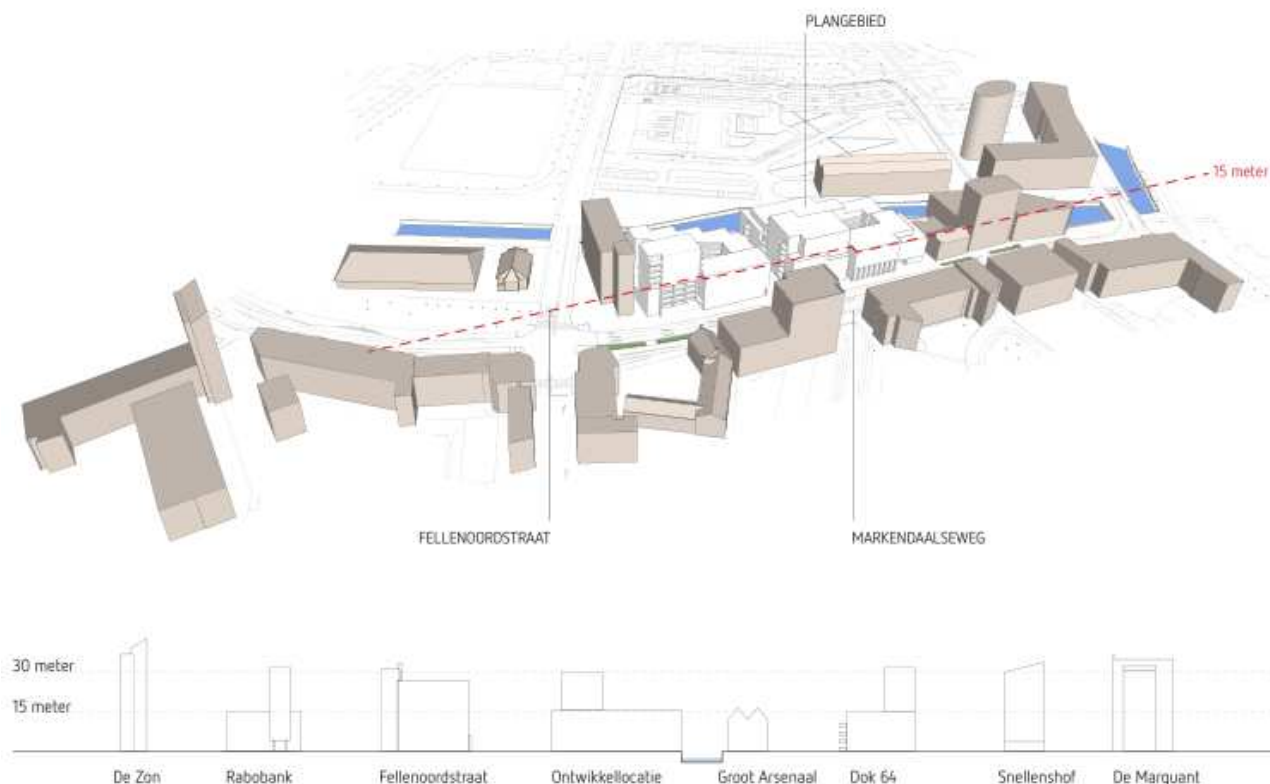
De quick scan is op de volgende relevante documenten gebaseerd:

- ontwikkelvisie van 7 maart 2018, door Havermans Hielkema Architecten te Breda;
- tekeningen in pdf en dwg van het ontwerp van 9 mei 2018, door Havermans Hielkema Architecten te Breda.

3.2 Projectomschrijving

Het project betreft de nieuwbouw van woongebouwen op de plek van het voormalige UWV-kantoor aan de Markendaalseweg in Breda. De hoogte van de gebouwen varieert tussen de vier- en tien bovengrondse bouwlagen, oftewel circa 13 à 33 m. Figuur 1, Figuur 2 en Figuur 3 geven een impressie van de nieuwbouw in de directe omgeving. In Figuur 4 is het beoogd gebruik van de gebouwen en buitengebieden geschetst.

Foto's van de bestaande situatie zijn in Figuur 5 opgenomen. Op de plek van de nieuwbouw bevindt zich het te slopen voormalig UWV-kantoor, een gebouw van drie à vier bouwlagen.



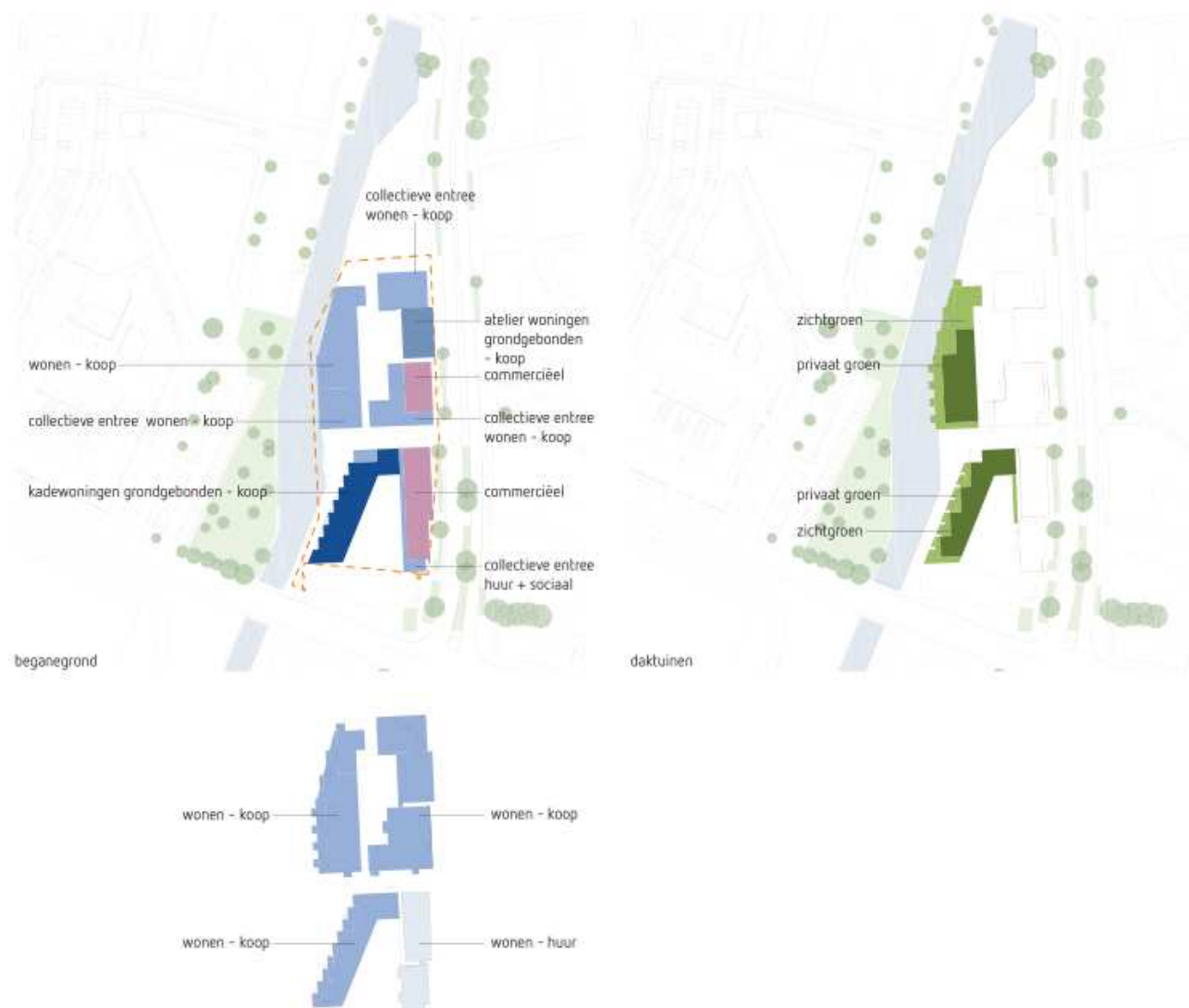
Figuur 1: Impressie met de nieuwbouw gezien vanuit het oosten (ontwikkelvisie 7 maart 2018).



Figuur 2: Impressie met de nieuwbouw gezien vanuit het westen (ontwikkelvisie 7 maart 2018)



Figuur 3: Impressie met de nieuwbouw gezien vanuit het zuidoosten (ontwikkelvisie 7 maart 2018).



Figuur 4: Schets van het beoogd gebruik op de begane grond (linksboven), verdiepingen (linksonder) en daktuinen (ontwikkelvisie 7 maart 2018).



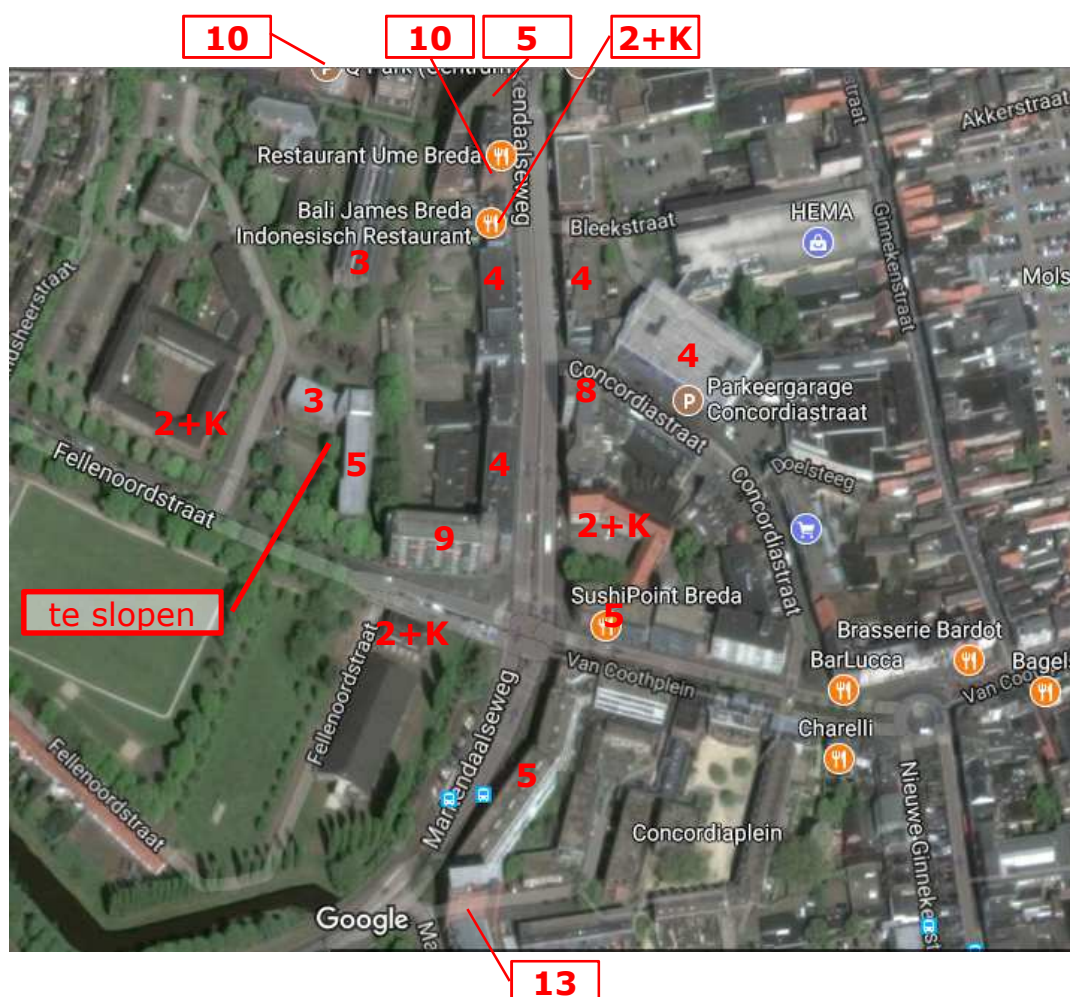
Figuur 5: Bestaande situatie aan de Markendaalseweg ter plaatse van de nieuwbouw (links vanuit het zuiden; rechts vanuit het noorden). (Google Maps, augustus 2017; datum van de opname(n) is onbekend.)

3.3 Omgeving

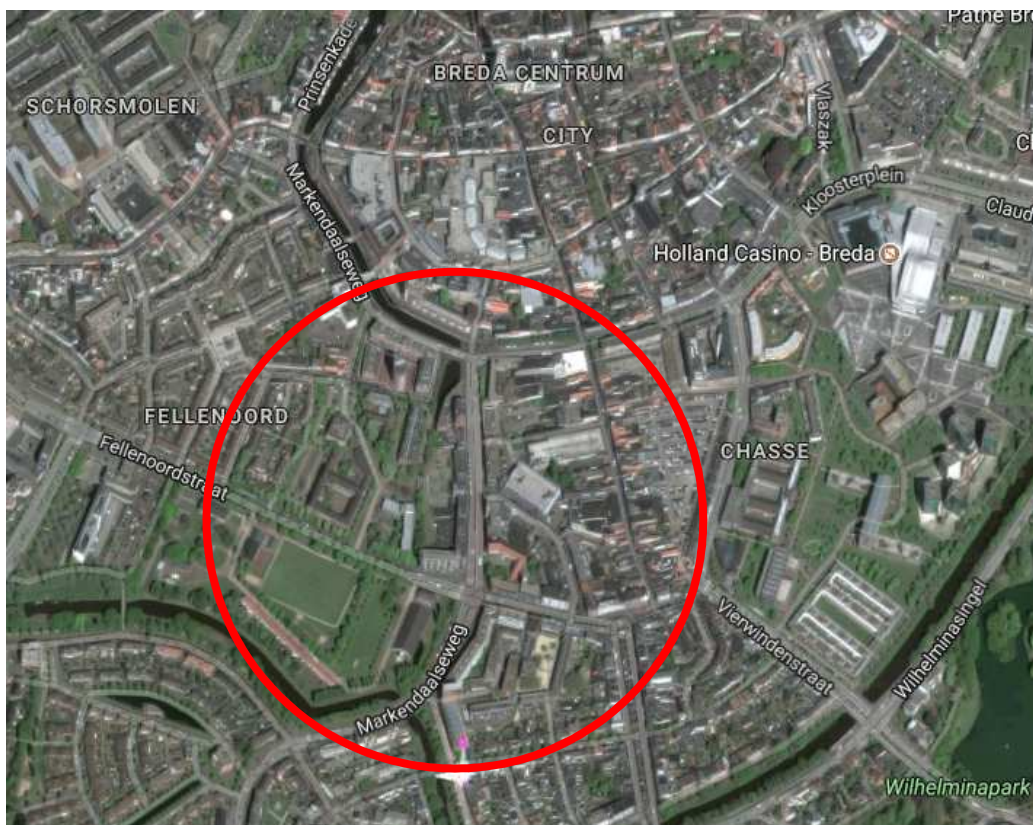
Satellietopnamen van de ruimere omgeving zijn in Figuur 6 en Figuur 7 weergegeven. In Figuur 6 zijn bovendien gebouwhoogten (geschat aan de hand van Google Maps Streetview) vermeld.

Het L-vormig gebouw direct ten westen van gebouwdeel A wordt gesloopt. Dit gebouw zal daarom in de analyse van de toekomstige situatie met de nieuwbouw niet meegenomen worden. Mogelijk komt in de toekomst op deze plek een ander gebouw, maar de omvang daarvan is nu geheel onbekend.

Het water dat nu alleen aan de noordwestzijde van het project ligt, zal langs de gehele westzijde van het project naar het zuiden doorgetrokken worden. Ter hoogte van het project zijn twee loopbruggen over het water voorzien, waardoor looproutes naar de Markendaalseweg ontstaan.



Figuur 6: Gebouwhoogten in de omgeving, gemeten in bouwlagen ("K" staat voor schuine kap). (Google Maps, augustus 2017; datum van de opname(n) is onbekend.)



Figuur 7: Satellietopname (Google Maps, augustus 2017; datum van de opname(n) is onbekend). De cirkel heeft een straal van 300 m.

3.4 Plangebied

Het plangebied is het gebied waarvoor we risico's op windhinder en windgevaar beoordelen. In de quick scan verstaan we onder het plangebied het gebied dat door de nieuwbouw wordt beslaan. Het plangebied is inclusief de begrenzendende straten, en inclusief de private buitenruimten in het project.

3.5 Toepasselijkheid van NEN 8100

NEN 8100 wordt niet door nationale wetgeving aangewezen. Wel kan de norm in private afspraken tussen bouwpartijen van toepassing worden verklaard, ook kan de gemeente de toepassing met gemeentelijke verordeningen verplicht stellen.

Voor zover we hebben kunnen nagaan, heeft de gemeente Breda geen beleid met betrekking tot windhinder en windgevaar en de toepassing NEN 8100.

We stellen voor NEN 8100 in het project toe te passen. De norm is de basis voor de quick scan.

Hoofdstuk 4 Beslisschema NEN 8100

4.1 Norm

Tabel 1 geeft het beslisschema volgens paragraaf 5.3 van NEN 8100 voor de vraag weer, of onderzoek met windtunnelsimulatie 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 windtunnelsimulatie of numerieke simulatie noodzakelijk is.

gebouwhoogte	beschutting	
	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.

4.2 Evaluatie

Omdat de gebouwhoogte in het project verloopt van circa 13 tot 33 m, verwijst het beslisschema naar een beoordeling van een windhinderdeskundige c.q. geeft het beslisschema aan dat een nader onderzoek nodig is.

De mate van beschutting in het plangebied volgt conform de norm uit het volgende:

- de bebouwing ten westen en ten oosten van de Markendaalseweg is verschillend. Alleen ten oosten wordt de minimale 20% wel gehaald;
- de nieuwbouw bestaat uit gedeelten met verschillende hoogten. De gedeelten van vier à vijf lagen hebben een hoogte die niet groter is dan 1,5 maal de gemiddelde obstakelhoogte; maar er zijn ook torenelementen die met 26 à 33 m hoogte duidelijk boven het gemiddelde uitsteken.

Voor het plangebied geven we de beoordeling “gedeeltelijk onbeschut”. Deze tweeslachtige karakterisatie komt voort uit de constatering, dat *in de basis* het plangebied gelegen is op een weinig winderige plek

midden in de stad (zie paragraaf 6.1), maar dat de voorgenomen nieuwbouw risicofactoren voor windhinder in zich draagt (zie paragraaf 6.2).

Gezien het bovenstaande en gezien onze (kwalitatieve) analyse uit Hoofdstuk 6 adviseren we windhinder en windgevaar kwantitatief in een onderzoek met een windtunnel of met numerieke simulatie volgens NEN 8100 te bepalen.

Hoofdstuk 5 Buitengebieden en hun activiteitenklassen

5.1 Activiteitenklassen

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

In Tabel 2 zijn de in NEN 8100 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.

Tabel 2: Activiteitenklassen volgens NEN 8100.

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

5.2 Buitengebieden

De in het project onderscheiden buitengebieden en de voorgestelde activiteitenklassen zijn in Figuur 8 geschetst.

Samengevat onderscheiden we de volgende buitengebieden en stellen we daar voor de volgende activiteitenklassen toe te kennen:

- trottoirs en parkeerplaatsen langs de straten, waar typisch activiteitenklasse I geldt;
- de openbare buitengebieden op straatniveau in het project, waar vooralsnog activiteitenklasse I gehanteerd wordt. We veronderstellen namelijk dat daar doorlopen de belangrijkste activiteit voor voetgangers zal zijn, al is op een deel daarvan misschien slenteren (dus activiteitenklasse II) denkbaar. Deze openbare buitengebieden bestaan uit:
 - de kade langs het water aan de westzijde van gebouwdeel A,
 - de "verlengde Concordiastraat" (tussen de twee gebouwdelen A en B), en
 - de "verlengde Bleekstraat" (ten noorden van gebouwdeel B).

De binnenplaats van gebouwdeel B zal hoogstwaarschijnlijk niet openbaar toegankelijk worden; vooralsnog wordt ook in de binnenplaats activiteitenklasse I gehanteerd;

- gebouwingangen, waar activiteitenklasse II volgens de norm geldt. Deze activiteitenklasse hanteren we in een gebiedje met een straal van enkele meters rond elke gebouwingang;

- tuinen, balkons, loggia's en dakterrassen, waar typisch activiteitenklasse III (langdurig zitten) gehanteerd wordt. Dit geldt ook voor balkons, loggia's en dakterrassen op de verdiepingen. Zij zijn niet allemaal in concreto in Figuur 8 afgebeeld; vergelijk ook met Figuur 4.

Verder wordt ervan uitgegaan dat de nieuwbouw niet voor bijzondere doelgroepen bestemd is.¹

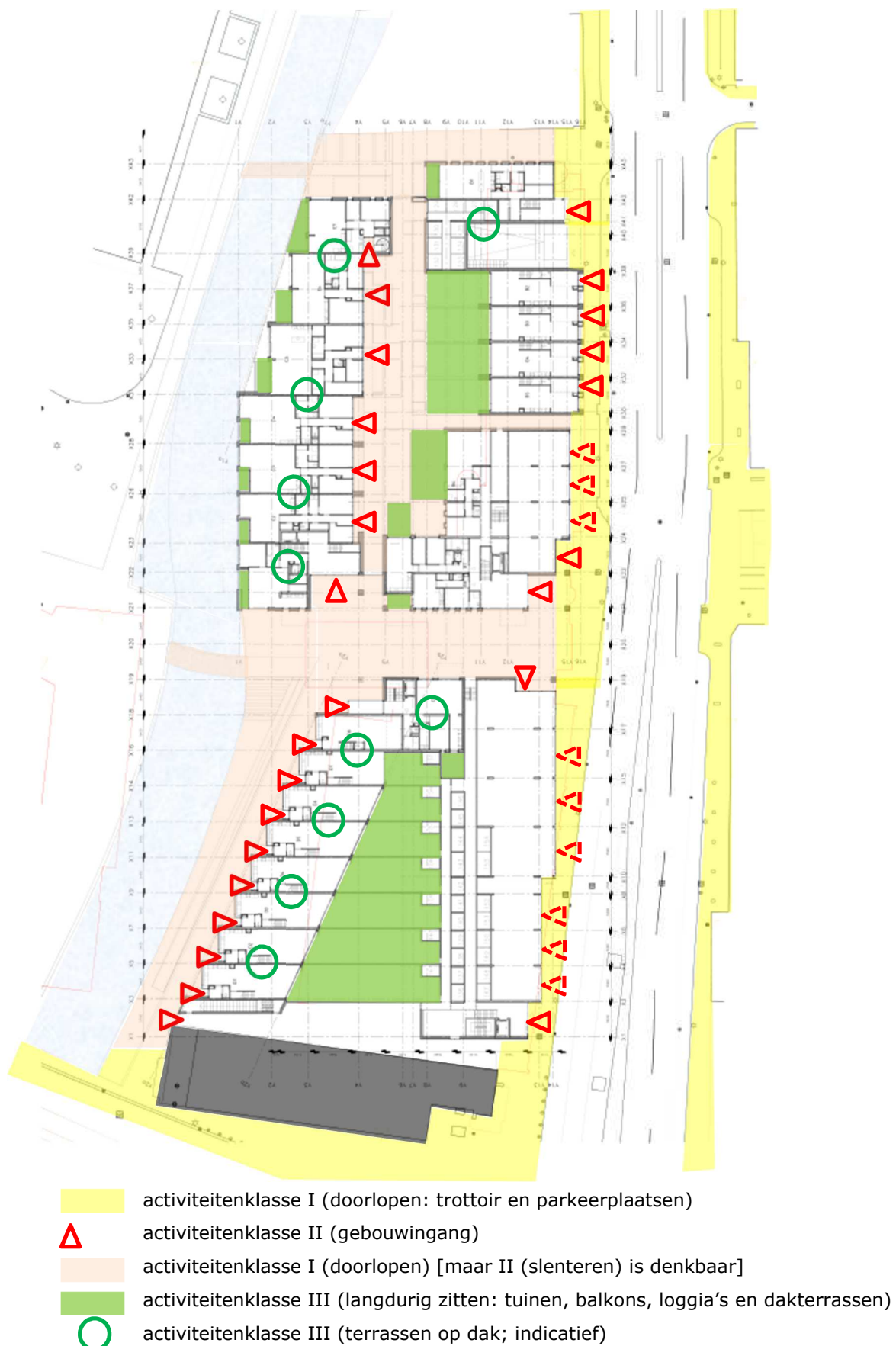
In het project stellen we voor te streven naar de beoordeling "goed" voor het windklimaat ten aanzien van windhinder.² De beoordeling "goed" bij de activiteitenklasse III (langdurig zitten) is een eis die al weinig marge voor windhinder toelaat.

In het project stellen we voor te streven naar de beoordeling "niet gevaarlijk" voor het windklimaat ten aanzien van windgevaar.³

¹ Toegangen van gebouwen waar vooral 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.

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.)

³ Zie ook voetnoot 2. De overschrijdingskans voor windgevaar per meetpunt wordt in "niet gevaarlijk", "beperkt risico" of "gevaarlijk" vertaald (volgens Tabel 5).



Figuur 8: Onderscheiden buitengebieden en hun activiteitenklasse. (Balkons, loggia's en dakterrassen op de verdiepingen zijn slechts deels in concreto in deze tekening opgenomen.)

Hoofdstuk 6 Kwalitatieve analyse

6.1 Omgeving en windstatistiek

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 kaart met de ruwheden 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. Deze is in Bijlage 2 opgenomen.

Figuur 7 toont een satellietopname van de omgeving tot circa 300 m van het plangebied. Figuur 5 en Figuur 6 geven verder een indruk van de bestaande bebouwing rond het plangebied.

Met al deze gegevens kunnen we de directe omgeving van het plangebied als volgt karakteriseren:

- het plangebied bevindt zich midden in een stedelijk gebied. De stadsrand bevindt zich minimaal 2 km van het plangebied af. Het terrein is over het algemeen dus redelijk ruw voor wind;
- de meeste gebouwen in de omgeving bestaan uit 3 à 5 lagen. Binnen een straal van 300 m vanaf het plangebied zijn er evenwel vier torens van 8 à 13 bouwlagen geteld (Figuur 6);
- ter hoogte van de nieuwbouw is de oostzijde van de Markendaalseweg is het stedelijk weefsel redelijk dicht. Aan de westzijde is er veel groen en is de bebouwing veel losser;
- binnen een straal van 300 m vanaf het plangebied wordt de gemiddelde obstakelhoogte (hoogte van gebouwen en bomen met name) op circa 15 m geschat.

De heersende windrichting is circa zuidwest, net zoals op de meeste plekken in Nederland (Bijlage 2).

Het windklimaat in het plangebied karakteriseren we als “gedeeltelijk onbeschermt” voor de wind. Deze tweeslachtige karakterisatie komt voort uit de constatering, dat *in de basis* het plangebied gelegen is op een weinig winderige plek midden in de stad, maar dat de voorgenomen nieuwbouw risicofactoren voor windhinder in zich draagt (zie paragraaf 6.2). (Vergelijk ook paragraaf 4.2.)

6.2 In en rond het plangebied

Wanneer de wind langs en tussen obstakels gaat, ontstaan versnellingen en wervelingen. In paragrafen 2 en 3 van Bijlage 3 wordt dit fenomeen toegelicht. In paragraaf 4 van Bijlage 3 worden in algemene termen de risicofactoren voor grote versnellingen en wervelingen van de wind rond en tussen gebouwen opgesomd.

In het plangebied zijn risicofactoren aanwezig:

- delen van de nieuwbouw met een gebouwhoogte die groter dan 1,5 keer de gemiddelde obstakelhoogte is;
- de verlengde Concordiastraat, die als een doorgang tussen de twee gebouwdelen A en B wordt beschouwd. Deze doorgang met een breedte van circa 10 m heeft een afmeting waardoor extra versterking van de windsnelheid in de doorgang zelf zeer mogelijk is. Ten noord(oost)en ervan bevindt zich bovendien nog de toren van gebouwdeel B, waardoor de wind bij (zuid)westen wind mogelijk deels door de doorgang naar beneden gestuwd wordt. Niet alleen op straatniveau is er daarom risico op windhinder, maar ook op de diverse uitkragende balkons aan de gevels van de verlengde Concordiastraat;
- drie doorgangen in gebouwdeel B. Het gaat om een doorgang van 3 à 5 m breedte aan de noordzijde, een doorgang van 2 m breedte aan de oostzijde en een doorgang van 3 m aan de zuidzijde van gebouwdeel B. We verwachten dat de windsnelheid in de genoemde doorgang van 2 m breedte door de wrijving langs de wanden beperkt blijft, maar dat de andere twee genoemde doorgangen een "tochtgat" zullen zijn;
- doorgangen tussen gebouwdeel A en de bestaande flat ten zuiden van gebouwdeel A.

Het ontwerp van de nieuwbouw bevat evenwel gunstige elementen die voor een plaatselijke beschutting zorgen. Dit geldt voor (de begane grond van) de binnenhoven van de beide gebouwdelen A en B. De verhouding van hoogte en diepte van beide binnenhoven is grosso modo zodanig, dat de wind voor een groot gedeelte over de gebouwen heen gaat en het windklimaat op de begane grond van de loopniveau nauwelijks beïnvloedt ("skimming flow" tot "wake interference flow", zie Figuur 12 in Bijlage 3). Wel kunnen de torens van gebouwdelen A en B en de doorgangen een enigszins nadelige invloed hebben (vergelijk Figuur 13 in Bijlage 3).

Ander gunstige elementen in het ontwerp zijn de terugleggingen en verspringingen van de gevellijn op de verschillende bouwlagen. Onder overkragingen kunnen er beschutte plekjes ontstaan die gunstig zijn voor bijvoorbeeld entrees (vergelijk punt E in Figuur 15 en in paragraaf 6 van Bijlage 3). Door het terugspringen van het gebouwvolume naar boven toe is er minder last van de windval op straatniveau (vergelijk punt C in Figuur 15 en in paragraaf 6 van Bijlage 3).

Gezien de overheersende windrichting, namelijk uit het (zuid-)westen, is de steeds hoger wordende gebouwmassa van west naar oost ook in principe gunstig voor het windklimaat op straatniveau.

Het uiteindelijke effect van de risicofactoren (en de gunstige factoren) is op grond van een kwalitatieve analyse zeer moeilijk in te schatten. De nieuwbouw heeft namelijk een zeer complexe geometrie.

We verwachten dat windhinder in zekere mate in het plangebied zal voorkomen. Vanwege de niet al te grote gebouwhoogten achten we de kans op windgevaar klein.

6.3 Aandachtspunten

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).

Gezien de onderscheiden buitengebieden met hun activiteitenklasse en aan de hand van onze analyse van het windklimaat komen we op de volgende aandachtspunten, knelpunten en eventuele oplossingsrichtingen:

- in het project zijn twee torenelementen aanwezig: met een hoogte van circa 33 m in gebouwdeel A en circa 26 m in gebouwdeel B. Bovendien bevindt zich direct ten zuiden van het project een flat van 9 bouwlagen (circa 28 m hoog).

In Figuur 9 zijn op een grove manier met enkele cirkels invloedsgebieden rond de torenelementen en de flat geschetst. Een invloedsgebied is het gebied rond een hogere gebouw waar windhinder op straatniveau te verwachten is (zie paragraaf 2 in Bijlage 3 en met name Figuur 11). Grofweg strekt het invloedsgebied op straatniveau rond een gebouwhoek zich tot een afstand ongeveer gelijk aan de gebouwhoogte uit. De gebruikte vuistregel geeft geen details over de omvang van invloedsgebieden bij specifieke windrichtingen, en ook niet bij specifieke gebouwvormen of gebouwcomplexen. De verhoogde windsnelheden in de invloedsgebieden worden verklaard met een typisch windpatroon zoals in Figuur 10 van Bijlage 3 verbeeld: de wind op straatniveau komt vooral "van boven" langs de gevel, en er ontstaan sterke en turbulente stromingen nabij de gebouwhoeken.

In het plangebied beslaan de invloedsgebieden delen van de trottoirs en de straat. Ondanks de weinig windhindergevoelige activiteit daar (doorlopen, Figuur 8) achten we het risico op plaatselijk windhinder reëel. De eventuele windhinder die in de bestaande situatie op de openbare weg te merken is rond de flat, zal in de nieuwe situatie niet veel anders zijn.

- de verlengde Concordiastraat (tussen de twee gebouwdelen A en B, Figuur 9). Zoals in paragraaf 6.2 is gezegd is dit een risicofactor, al heeft het ontwerp ook gunstige factoren door de terugleggingen en verspringingen van de gevellijn op de verschillende bouwlagen. Ook als de activiteit in de doorgang weinig windhindergevoelig is (doorlopen, Figuur 8), achten we windhinder plaatselijk niet ondenkbaar. Geadviseerd wordt om in elk geval entrees zorgvuldig te situeren, bijvoorbeeld door teruglegging. Dit is merendeels in het ontwerp al voorzien.
- de balkons aan de verlengde Concordiastraat. Vanwege de grote windhindergevoeligheid van de activiteiten op een balkon, en vanwege de verwachte verhoogde windsnelheden in de verlengde Concordiastraat, is hier een behoorlijk risico op windhinder denkbaar.
- twee doorgangen in gebouwdeel B (Figuur 9). Het gaat om de doorgang van 3 à 5 m breedte aan de noordzijde en de doorgang van 3 m aan de zuidzijde. Op straatniveau kan windhinder ontstaan, ondanks de weinig tot matige windhindergevoeligheid daar (activiteitenklasse I (doorlopen) of II (slenteren)). Een goed punt van het ontwerp is het ontbreken van gebouwtoegangen in de doorgangen.
- de doorgangen tussen gebouwdeel A en de bestaande flat ten zuiden van gebouwdeel A (Figuur 9). Bij bepaalde windrichtingen kunnen hier sterk verhoogde windsnelheden ontstaan. Het risico op windhinder is zeer denkbaar. Geadviseerd wordt eventuele entrees zorgvuldig te situeren.

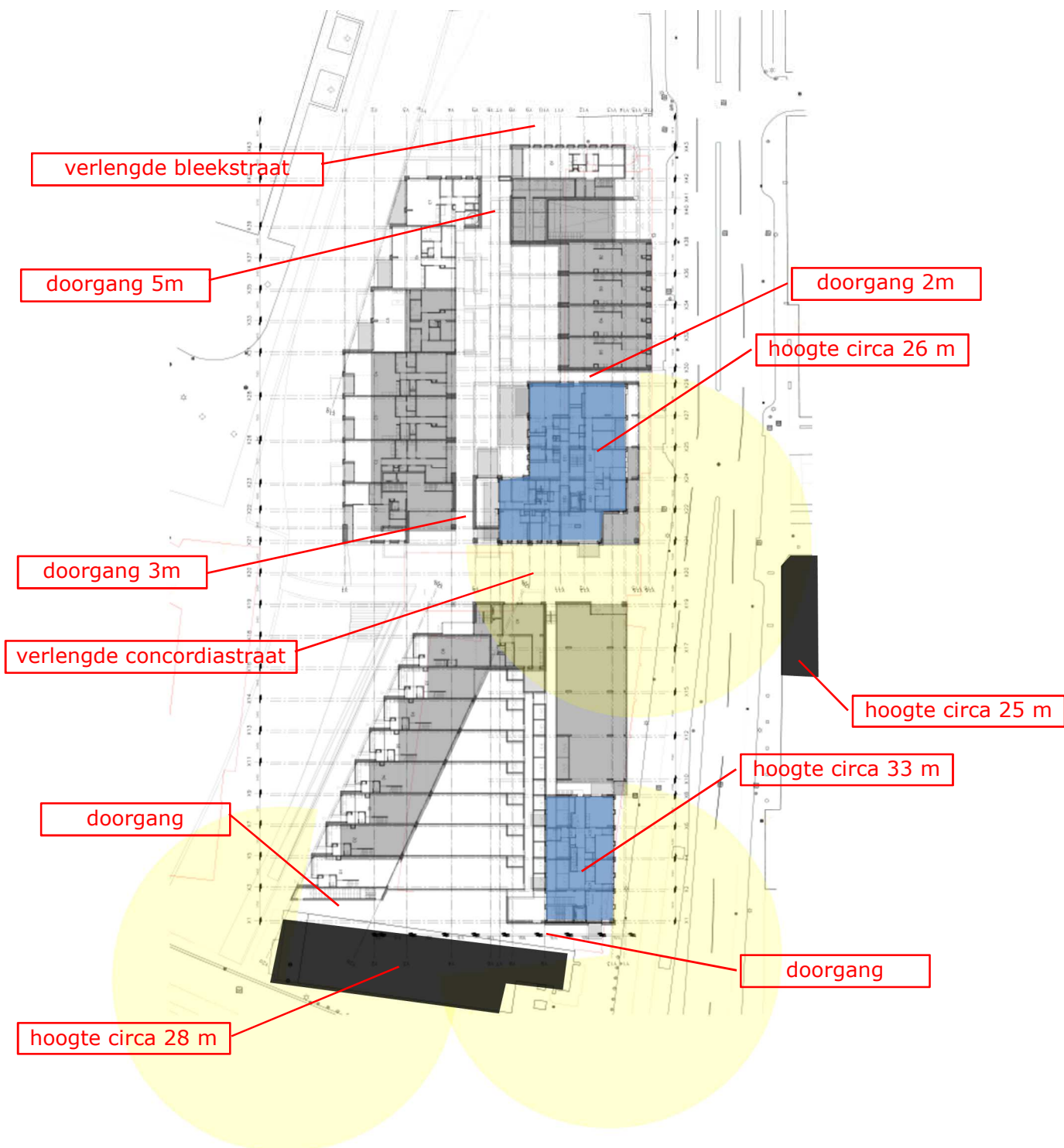
Geadviseerd wordt de toegangsdeur tot de kelder bij de westelijke doorgang (in het bijzonder voor fietsers) niet tussen gebouwdeel A en de flat open te laten gaan, maar rechtuit richting de straat/kade.

- balkons, loggia's en dakterrassen op verschillende plekken in het project. Hier geldt typisch activiteitenklasse III. Ondanks deze zeer windhindergevoelige activiteit verwachten we geen windhinder op balkons en loggia's die lager dan 20 m en niet aan een doorgang zijn gesitueerd. Dit geldt voor alle balkons en loggia's naarmate meer zijden van een balkon (en per definitie bij een loggia) voor de wind dicht zijn. In sommige gevallen is het verstandig een balkon van een of meerdere schermen te voorzien om een beschutte hoek te creëren en dus windhinder te voorkomen. Daarnaast kan het ook verstandig zijn elk uitkragend balkon van een overstek erboven te voorzien (om eventueel later een balkon (ook het bovenste balkon) op eenvoudige wijze van verticale schermen te kunnen voorzien).

Enkele bijzonderheden:

- Aan de noord- en zuidgevels van gebouwdeel A zijn uitkragende balkons op de vijfde tot en met negende verdieping. De balkons aan de zuidgevel bevinden zich bovendien in de doorgang met het flatgebouw ten zuiden van gebouwdeel A. Geadviseerd wordt de balkons deels dicht te zetten en elk balkon van een overstek te voorzien.
- Ook vanaf de vijfde verdieping van gebouwdeel B zijn balkons en dakterrassen voorzien. Hoe hoger, hoe groter het risico op windhinder. Echter, door middel van verticale schermen en hagen kan men makkelijk beschutte plekken creëren.
- Aan de westzijde van gebouwdelen A en B zijn diverse dakterrassen (voornamelijk) voorzien. Zie ook rechtsboven in Figuur 4. Ondanks dat de buitenruimten niet hoger dan 15 m zijn gelegen, dient wel de mogelijkheid aan de bewoners geboden te worden dat zij naar behoefte beschutte plekken door middel van verticale schermen en hagen kunnen creëren.

In het huidige ontwerp van het plangebied zijn er naar ons inzicht geen andere aandachtspunten of knelpunten met betrekking tot windhinder en windgevaar te verwachten.



Figuur 9: Schets bij de tekst van paragraaf 6.3.

Hoofdstuk 7 Conclusie

In opdracht van VOF Residential I Breda, vertegenwoordigd door de heer J. Havermans, heeft Nieman Raadgevende Ingenieurs een quick scan naar windhinder en windgevaar in het project "Markendaalseweg" in Breda opgesteld.

In de quick scan geven we onze beoordeling van risico's van windhinder en windgevaar in een plan, die gebaseerd is op een kwalitatieve analyse (en niet op een kwantitatieve analyse met harde cijfers). Dit doen we namelijk aan de hand van onze kennis over wind in de gebouwde omgeving uit literatuur, vuistregels en ervaring.

Hoofdstuk 3 bevat de relevante uitgangspunten. We stellen voor NEN 8100 in het project toe te passen. De norm is de basis voor de quick scan.

Het beslisschema van NEN 8100 geeft geen duidelijk antwoord op de vraag of een uitgebreid windhinderonderzoek met windtunnel- of numerieke simulatie in het project noodzakelijk is (Hoofdstuk 4).

Essentieel is dat de voorgestelde activiteitenklassen overeenkomen met het beoogde gebruik van de buitengebieden in het plangebied (Hoofdstuk 5).

Uit onze kwalitatieve analyse (Hoofdstuk 6) concluderen we dat er een reëel risico op windhinder in en direct rond het project zal zijn. Het risico op windgevaar schatten we veel lager in. Door de complexe geometrie van de nieuwbouw is het erg moeilijk het risico nader te kwalificeren.

Daarom adviseren we windhinder en windgevaar kwantitatief in een onderzoek met een windtunnel of met numerieke simulatie volgens NEN 8100 te bepalen.

Tenslotte adviseren we voor het verdere verloop van het project:

- aandachtspunten in het ontwerpteam te bespreken en buitengebieden, activiteitenklassen, kwaliteitsklassen en doelgroepen vast te stellen;
- oplossingsrichtingen en hun prioritering te bespreken. Afhankelijk van de beoogde oplossingsrichtingen kunnen we voor de methode van windtunnelmetingen danwel numerieke simulaties adviseren.

Voor zover we hebben kunnen nagaan, stelt de gemeente geen eisen aan windhinder en windgevaar. Daarmee is er geen wettelijke verplichting (via nationale wetgeving of gemeentelijke verordeningen) om windhinder en windgevaar met een windtunnel of met numerieke simulatie nader te onderzoeken.

Hoofdstuk 8 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.



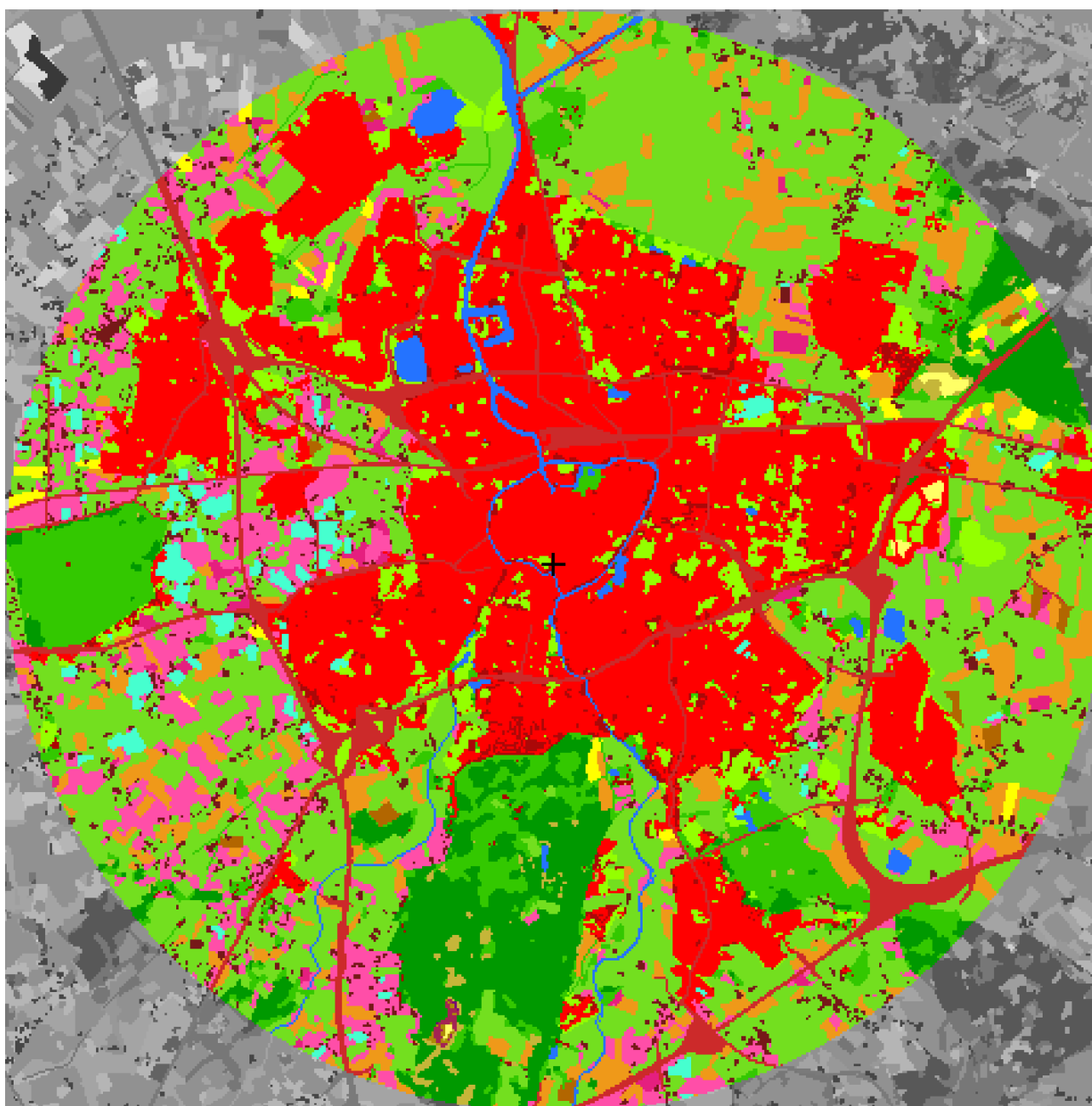
Bijlage 1

Ruwheidskaart

Breedte- en lengtegraden van het midden van het project zijn circa $51,584232^\circ$ en respectievelijk $4,773935^\circ$. De overeenkomstige Amersfoortse coördinaten zijn $X = 112471$, $Y = 399556$.

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

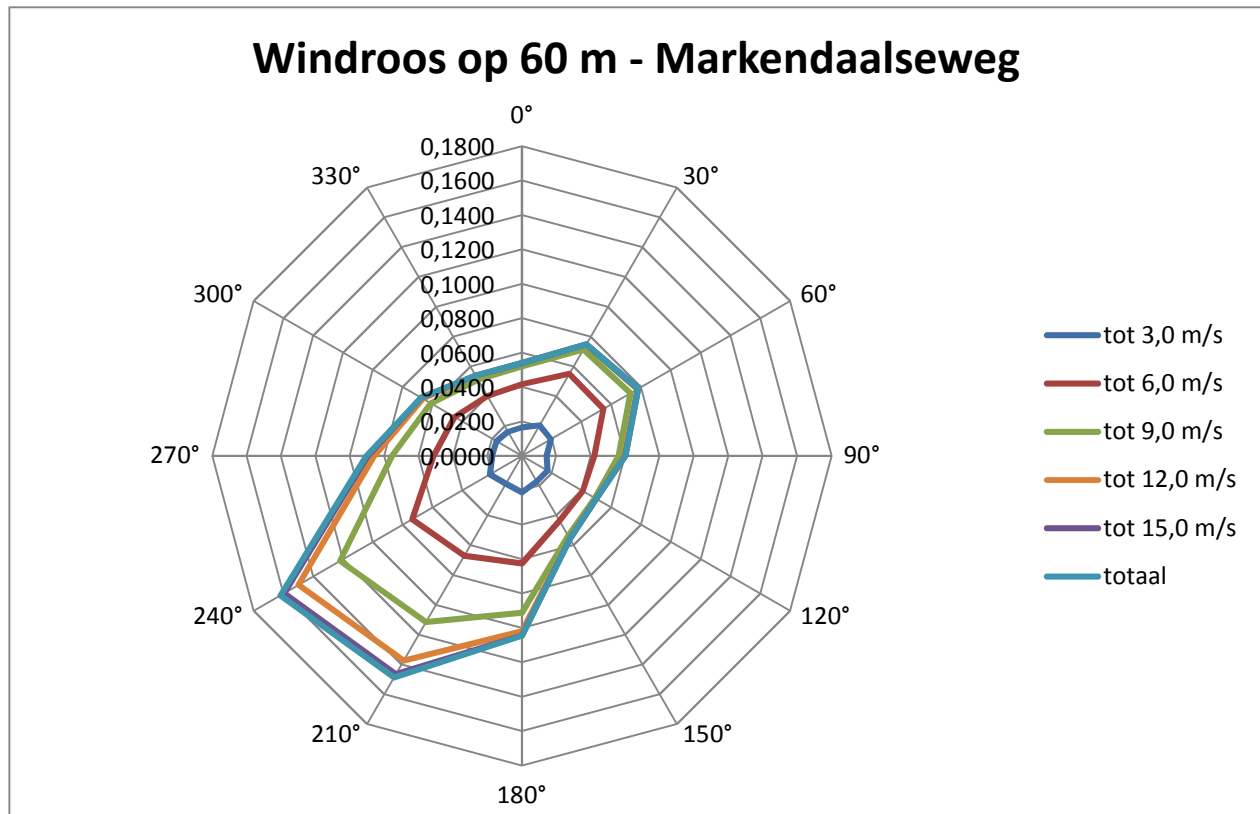


Bijlage 2

Windroos

De cumulatieve verdeling van uurlijkse windsnelheden op 60 meter hoogte in fractie 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.

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





Bijlage 3

De fenomenen wind en windhinder

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

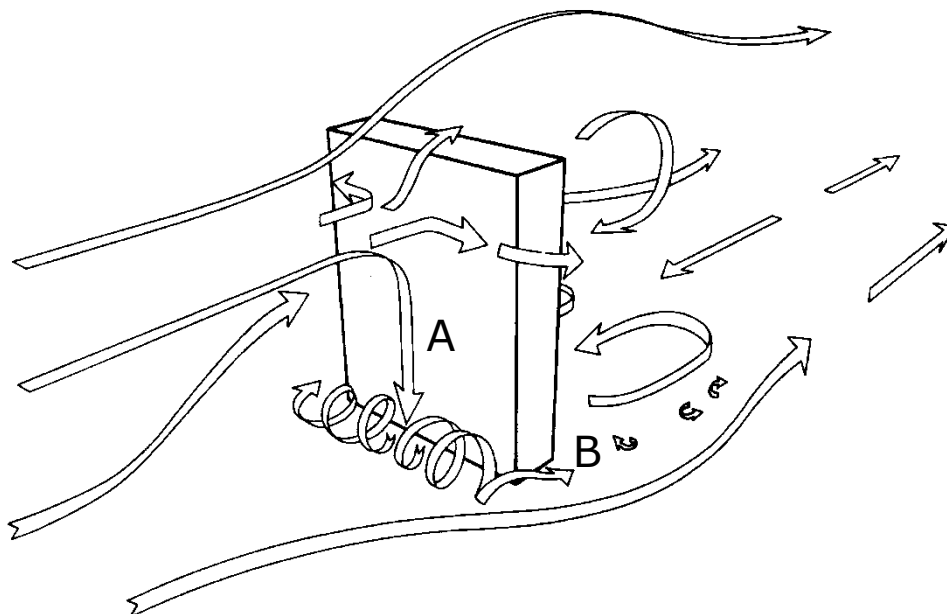
De uitgebreide omgeving wordt in de abstracte termen van ruwheden beschreven. Voor Nederland bestaat er NPR 6097:2006. Met het computerprogramma en de data van de NPR kan een kaart met de ruwheden in een straal van 6 km rond een plangebied worden gegenereerd. De kaart is op satellietfoto's van het landgebruik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

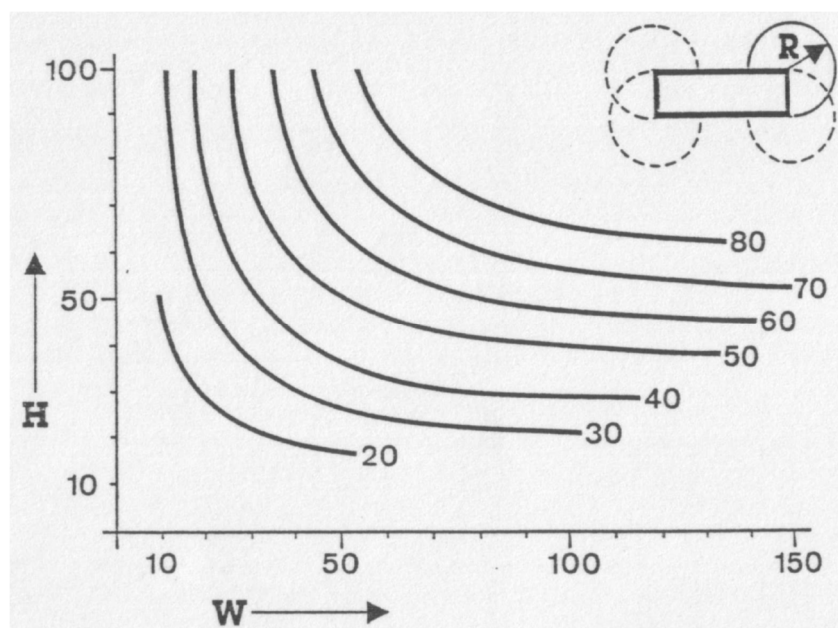
2. Wind rondom een gebouw

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 10 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 10: Gemiddeld windpatroon bij loodrechte aanstroming van een hoog gebouw (Beranek et al. 1979).

De pijlen in Figuur 10 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 10) 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 11 maken.



Figuur 11: 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.

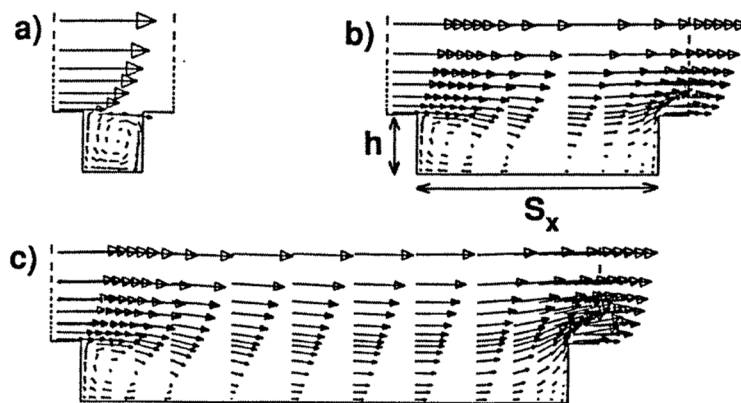
Uit Figuur 11 blijkt bijvoorbeeld dat een gebouw met een gevel van 20 m breed en 50 meter hoog (waarop de wind staat) een invloedsgebied van circa 30 m heeft.

Figuur 11 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 12 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.

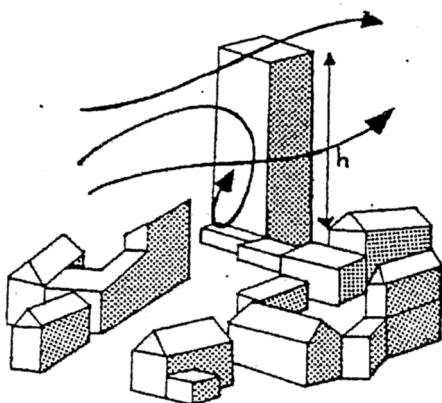
Voor de (on)beschutting in pleinen en binnenplaatsen gelden bij eerste benadering ongeveer dezelfde verhoudingen.



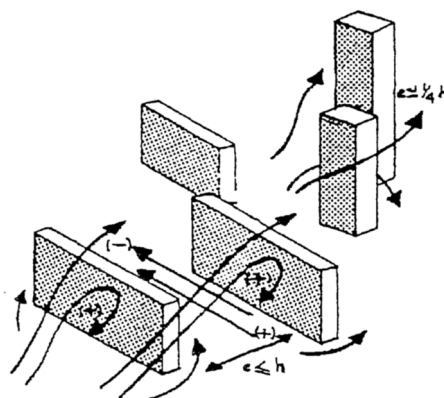
Figuur 12: Windpatronen over twee evenwijdige stroken: a) $S_x/h = 1$, "skimming flow"; b) $S_x/h = 4$, "wake interference flow" en c) $S_x/h = 8$, "isolated roughness flow" (Bottema 1993).

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 10 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 4 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 13: Het nadelige effect van een gebouw dat veel hoger is dan het gemiddelde gebouw (Gandemer 1975).



Figuur 14: 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 (zie ook paragraaf 4.1). 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 10) 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 14. 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 gebouwingangen.

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.

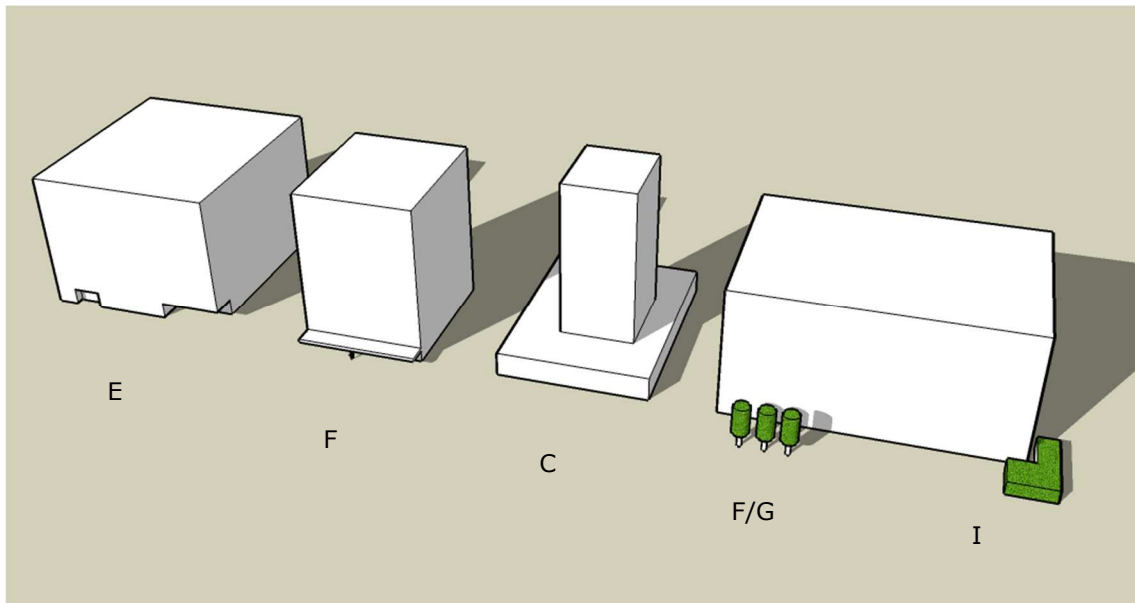
overschrijdingskans $p(U_{lok} > U_{grens;G})$ in % van het aantal uur per jaar	kwalificatie
0,05 – 0,30	beperkt risico: acceptabel bij activiteitenklasse I, maar onacceptabel bij II en III
$\geq 0,30$	gevaarlijk

6. Maatregelen om windhinder en windgevaar te verminderen

Windhinder en windgevaar voor voetgangers kunnen in het algemeen op de volgende manieren worden beperkt (Figuur 15):

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

- I. ontoegankelijk maken van winderige plekken voor voetgangers, bijvoorbeeld door middel van een vijver of struiken.



Figuur 15: 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.



RAADGEVENDE INGENIEURS

Nieman

Bouwfysica, -techniek en -regelgeving

Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.

Vestiging Utrecht

Atoomweg 400

Postbus 40217

3504 AA Utrecht

T 030-241 34 27

Vestiging Zwolle

Dr. Van Lookeren -

Campagneweg 16

Postbus 40147

8004 DC Zwolle

T 038-467 00 30



ML LID INGENIEURS

In 't Hart van de Bouw