

18 maart 2019

Eemfront te Amersfoort

Theoretisch onderzoek windhinder

www.deerns.nl



Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van de opdrachtgever. Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de DNR 2011, en naar de betreffende ter zake tussen partijen gesloten overeenkomst.

Eemfront te Amersfoort

Theoretisch onderzoek windhinder

Dr. ir. P.L. (Paul) van Gent
Specialist

Contact

Dr. ir. Paul van Gent
Specialist
paul.van.gent@deerns.com
088 3740216

Deerns Nederland B.V.

Rijswijk, 18 maart 2019

Projectnr. RNL.160.05058.00.0001
160-05058 Eemfront windhinder 20190318

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Uitgangspunten	6
2.1	Bouwplan	6
2.2	Omgeving plangebied	8
2.3	Windstatistiek	10
2.4	Snelheidsprofiel van aanstromende wind	11
3	NEN 8100: Beslismodel en beoordelingscriteria	12
3.1	Noodzakelijkheid van windonderzoek	12
3.2	Windhinder	13
3.3	Windgevaar	14
4	Ambitieniveau	15
5	Beoordeling windklimaat	17
5.1	Gebieden voor doorlopen	17
5.2	Gebieden voor slenteren	17
5.3	Gebieden voor langdurig zitten	17
6	Conclusies en aanbevelingen	19
7	Bronnen	20
	Bijlage 1 Achtergrond windstroming om gebouwen	21

1 Inleiding

Voor het project Eemfront Amersfoort is een theoretisch onderzoek uitgevoerd naar het windklimaat op loopniveau rondom het bouwplan. Het plan bestaat uit de herontwikkeling van een gebied door zowel nieuwbouw als renovatie. De hoogste nieuwbouw in het plan bevat 9 bouwlagen en heeft een hoogte van ongeveer 27 meter. Gebouwen van deze hoogte kunnen afhankelijk van de locatie en omgeving van het plangebied tot windhinder leiden. Om het risico hierop in te schatten is een theoretisch windhinderonderzoek uitgevoerd.

Op basis van binnen het bureau beschikbare expertise, beschikbare literatuur en kentallen wordt in deze rapportage een onderbouwde beoordeling van het windklimaat rondom het bouwplan gegeven. Hierbij is gebruik gemaakt van de in de NEN 8100 omschreven criteria inzake windhinder en windgevaar. Opgemerkt wordt dat het windklimaat afhankelijk is van veel factoren en een theoretisch onderzoek niet een even nauwkeurig beeld kan geven als een windtunnelonderzoek of computersimulatie conform de NEN 8100.

De opbouw van dit rapport is als volgt:

- Hoofdstuk 2 – Uitgangspunten
- Hoofdstuk 3 – Beoordelingsmethodiek en -criteria
- Hoofdstuk 4 – Ambitieniveau
- Hoofdstuk 5 – Beoordeling windklimaat
- Hoofdstuk 6 – Conclusies en aanbevelingen

In bijlage 1 is algemene achtergrondinformatie opgenomen over windklimaat in de gebouwde omgeving.

2 Uitgangspunten

2.1 Bouwplan

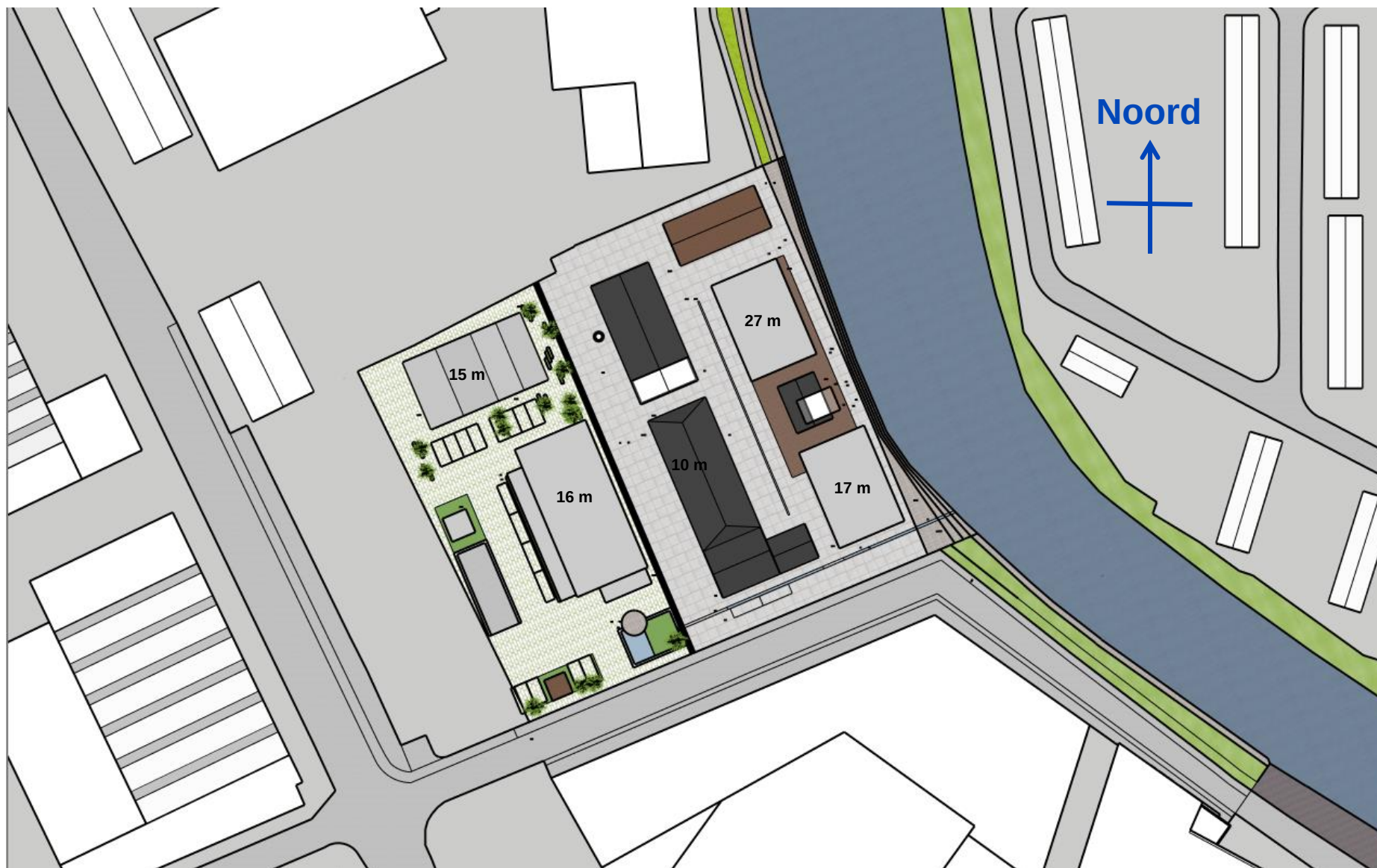
Figuur 2-1 en Figuur 2-3 laten aanzichten zien van een 3d model van het bouwplan zien met daarin de geschatte hoogtes van de gebouwen. Ter vergelijking geeft Figuur 2-2 de huidige bebouwing in het gebied weer.



Figuur 2-1. Isometrische projectie van 3d model van bouwplan Eemfront met geschatte bouwhoogtes



Figuur 2-2. Huidige situatie Eemfront (bron: Google Earth)



Figuur 2-3. 3d model van bouwplan Eemfront; bovenaanzicht

2.2 Omgeving plangebied

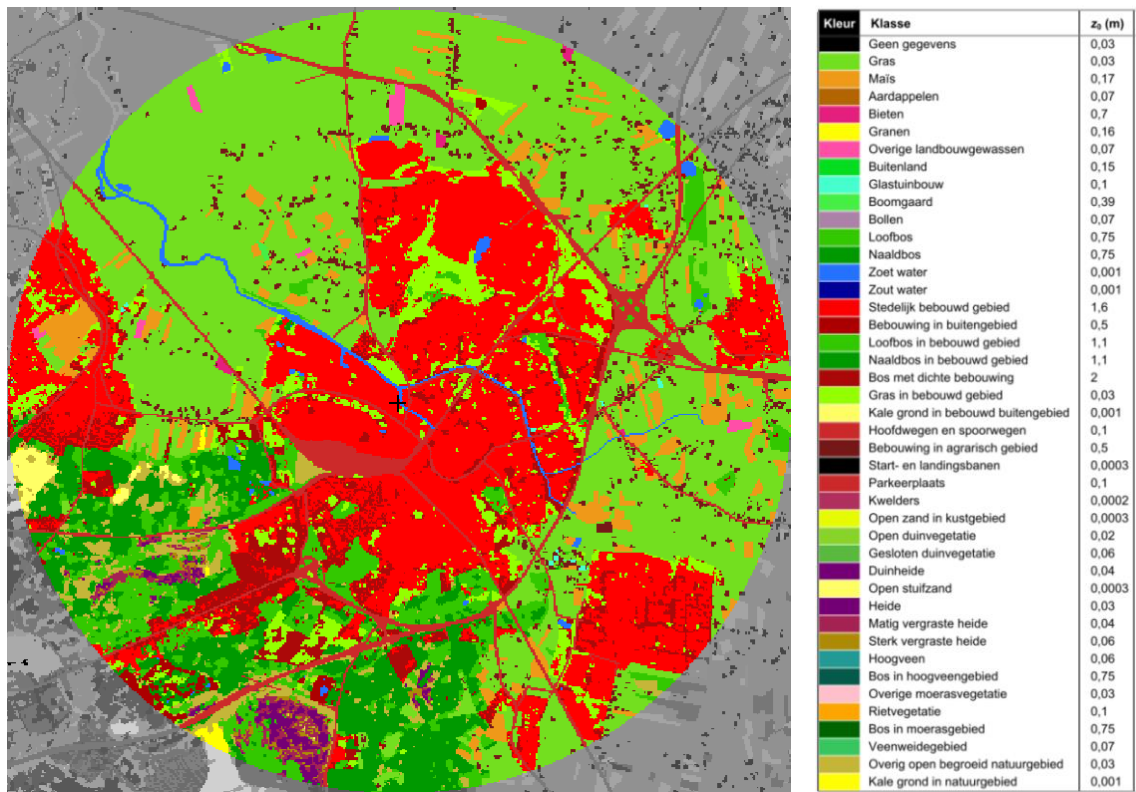
Gebouwen en bomen in de wijdere omgeving om het gebouw hebben invloed op het windklimaat: zij beïnvloeden het verticale snelheidsprofiel van de aanstromende wind. Zo waait het bij een gelijke windsnelheid aan de rand van de stad harder dan op gelijke hoogte in een stedelijke omgeving.

Het plangebied ligt ten noordwesten van het centrum van Amersfoort (De Amersfoortse coördinaten¹ voor het plangebied zijn: X = 154271, Y = 463868). Figuur 2-4 laat een satellietbeeld zien van de omgeving van het plangebied met twaalf windrichtingen. Figuur 2-5 geeft een grafisch overzicht van de ruwheid van het terrein. De figuren laten zien dat wind uit richting 330° aanstroomt over relatief open terrein. Wind uit overige richtingen stroomt aan over een grotendeels bebouwde omgeving.



Figuur 2-4. Satellietbeeld van de omgeving van het plangebied en 12 windrichtingen (bron: Google Earth).

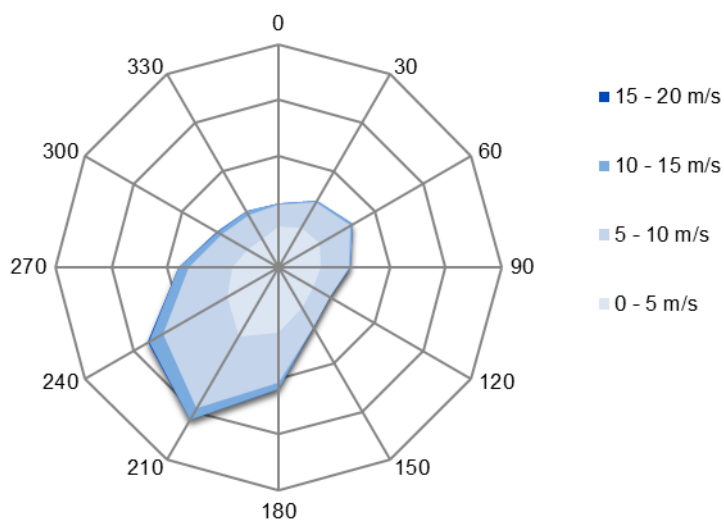
¹ De Amersfoortse coördinaten zijn identiek aan de coördinaten volgens het Rijksdriehoekstelsel.



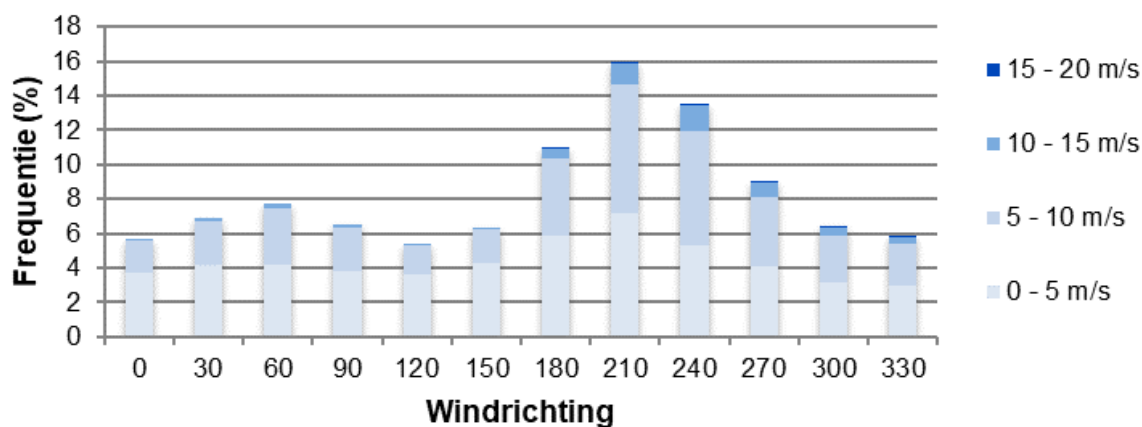
Figuur 2-5. De landgebruikskaat met ruwheidsinformatie in de omgeving van het plangebied.

2.3 Windstatistiek

Zoals voorgeschreven in de NEN 8100 is de lokale windstatistiek voor de locatie bepaald volgens de NPR 6097. Uit de windstatistiek (Figuur 2-6 en Figuur 2-7) blijkt dat de windrichtingen uit het zuidwesten overheersend zijn op de locatie. Ongeveer 50% van de tijd komt de wind uit de richtingen tussen zuid en west. Ook de hoogste windsnelheden komen bij deze windrichtingen voor. Derhalve zal de overheersende windrichtingen (tussen zuid en west) in grote mate het windklimaat op de locatie bepalen. Dit betekent niet dat wind uit een andere richtingen geeft effect heeft.



Figuur 2-6. Windroos van de windstatistiek op 60 m hoogte de locatie van het plangebied.



Figuur 2-7. Staafdiagram van de windstatistiek op 60 m hoogte de locatie van het plangebied.

2.4 Snelheidsprofiel van aanstromende wind

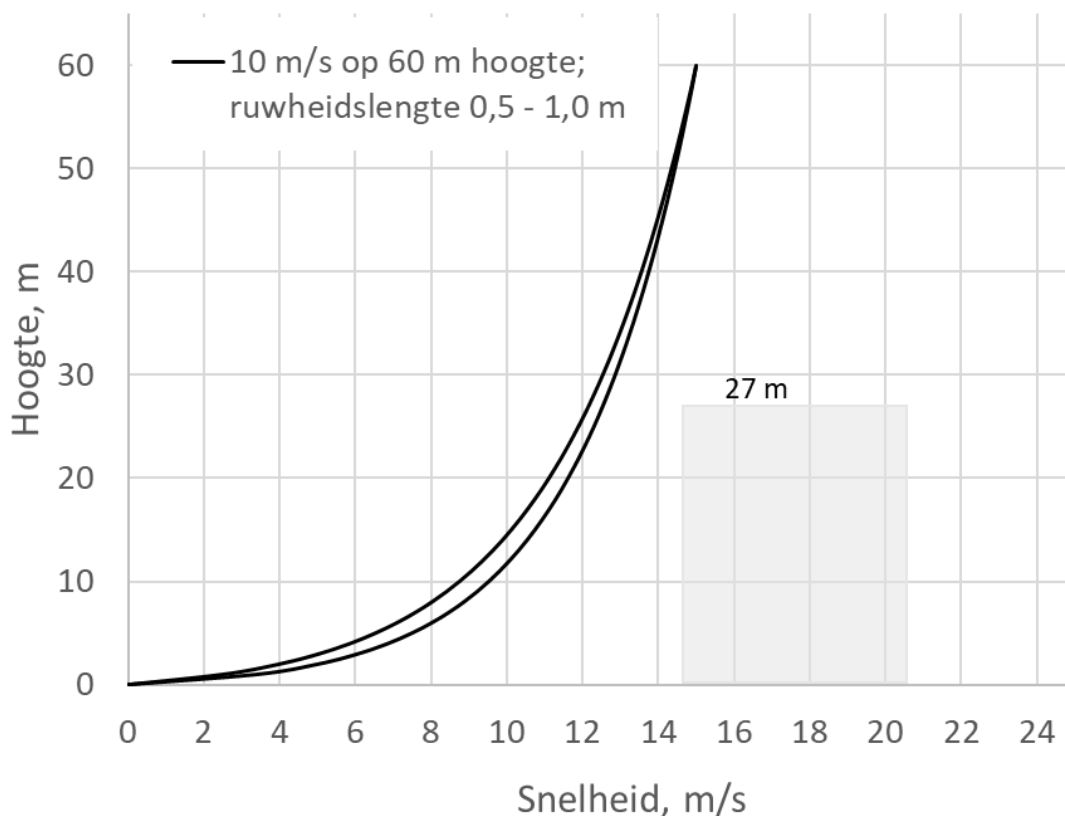
Het snelheidsprofiel van de aanstromende wind ($U(z)$), oftewel het verloop van de snelheid met hoogte, wordt in windhinderonderzoeken typisch beschreven door middel van een logaritmisch windprofiel (Richards & Hoxey, 1993).

$$U(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \left(\frac{z + z_0}{z_0} \right)$$

Hierbij is:

- z de afstand van de grond, in meters
- u_* de wrijvingssnelheid, in m/s
- κ constante van Von Karman: 0,41
- z_0 de ruwheidslengte, in m

Figuur 2-8 laat twee snelheidsprofielen zien samen met de maximale gebouwhoogte. De snelheidsprofielen in het figuur gelden als een inschatting van de maximale snelheden die voorkomen op basis van de windstatistieken en de ingeschatte terreinruwheid (Wieringa, 1992). Hierbij moet opgemerkt worden dat dit inschattingen zijn van de snelheid zijn in de vrije stroming zonder de invloed van bebouwing en begroeiing. Om de invloed van het gebouw kwantitatief in te schatten is een windtunnelonderzoek of computersimulatie nodig.



Figuur 2-8. Inschatting van (maximaal) snelheidsprofiel aanstromende wind.

3 NEN 8100: Beslismodel en beoordelingscriteria

De beoordeling van het windklimaat is uitgevoerd aan de hand van de norm NEN 8100 'Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving' ontwikkeld. In de norm wordt onder andere aangegeven in welke situaties windonderzoek noodzakelijk geacht wordt en worden criteria (richtlijnen) voor de beoordeling van het windklimaat gegeven.

De NEN 8100 is een privaatrechtelijke norm. De norm is formeel enkel van toepassing wanneer partijen dit zijn overeengekomen of wanneer toepassing van deze norm is vereist door het bevoegde gezag. Wanneer er feitelijk geen eisen aan het windklimaat gesteld worden, maar wel belang gehecht wordt aan een goed windklimaat wordt geadviseerd de richtlijnen uit de NEN 8100 te volgen.

3.1 Noodzakelijkheid van windonderzoek

Om snel en eenvoudig de noodzaak van toetsing van een bouwplan ten aanzien van windhinder in te schatten is in de NEN 8100 is een beslismodel opgezet. Het beslismodel is in onderstaande tabel samengevat.

Tabel 3-1. Beslismodel voor windonderzoek NEN 8100

Hoogte en ligging van het bouwplan	Noodzaak van toetsing (windtunnel of CFD)
- Beschut* liggende gebouwen tot een hoogte van 15 m	- geen nader onderzoek noodzakelijk
- Beschut* liggende gebouwen met een hoogte van 15 tot 30 meter	- de hulp van een windhinderdeskundige is noodzakelijk om te beoordelen of er wel of niet CFD- of windtunnelonderzoek noodzakelijk is
- onbeschut liggende gebouwen tot een hoogte van 30 m	
- Gebouwen met een hoogte vanaf 30 meter	- nader onderzoek met CFD of windtunnel noodzakelijk

* Om te beoordelen of een bouwwerk beschut ligt dienen alle obstakels (boomkruinen en gebouwen) in een straal van 300 m rondom het bouwwerk beschouwd te worden. Wanneer deze 20% van het totale oppervlak beslaan, het bouwwerk niet meer dan 50% boven de gemiddelde hoogte van de obstakels uitsteekt en de afstand tussen het bouwwerk en de obstakels niet groter is dan 10 x de gemiddelde hoogte van de obstakels is, ligt het bouwwerk 'beschut'.

Theoretisch onderzoek versus windtunnelonderzoek

Bij een theoretisch onderzoek wordt een voorspelling gegeven van het te verwachten windklimaat op grond van op ons bureau opgebouwde expertise, waarbij ook gebruik wordt gemaakt van de kentallen uit de literatuur. Een dergelijk onderzoek kan inzicht geven in het te verwachten windklimaat bij lage en middelhoge gebouwen, waarop beoordeeld kan worden of een nader onderzoek (windtunnel of CFD-simulatie) noodzakelijk of wenselijk is.

Een theoretisch onderzoek geeft inzicht in kritische plekken en mogelijk gewenste maatregelen. Omdat het windklimaat afhankelijk is van zeer veel factoren, kan een empirisch onderzoek niet een even nauwkeurig beeld geven als een windtunnelonderzoek of computersimulatie conform NEN 8100.

3.2 Windhinder

De beoordeling van windhinder is uit de volgende onderdelen opgebouwd:

1. *Een drempelsnelheid van 5 m/s*
Het blijkt dat bij windsnelheden boven circa 5 m/s mechanische effecten een rol gaan spelen: het haar verwaait, kleding en paraplu's worden door de wind bewogen.
2. *Een overschrijdingskans van de drempelsnelheid*
Hoe vaker de drempelsnelheid van 5 m/s overschreden wordt, hoe slechter het windklimaat ervaren zal worden. Aan de kans dat de drempelsnelheid overschreden wordt, zijn 5 kwaliteitsklassen (A tot en met E) gekoppeld (zie Tabel 3-3). Klasse A staat voor de hoogste comfortklasse en klasse E voor het laagste kwaliteitsniveau.
3. *Windhindergevoeligheid van de activiteit die men op een locatie onderneemt*
De gevoeligheid van personen voor windhinder is afhankelijk van de activiteit die men onderneemt. Sommige activiteiten zijn meer windhindergevoelig dan andere. Er worden bij de beoordeling van windhinder drie 'activiteiten' onderscheiden, zie Tabel 3-2. Afhankelijk van de activiteit en de kwaliteitsklasse wordt in Tabel 3-3 aangegeven of het lokale windklimaat als goed, matig of slecht beoordeeld moet worden.

De eisen voor 'langdurig zitten' zijn niet bedoeld voor horeca-terrassen. Voor dergelijke terrassen zijn vrijwel altijd windschermen en/of luifels nodig om een goed windklimaat te creëren.

Naast de voor een bepaald gebied kenmerkende activiteiten (doorlopen / slenteren) speelt bij de beoordeling van het windklimaat de fysieke gesteldheid van mensen een rol. Gezonde jonge mensen kunnen over het algemeen meer discomfort verdragen dan oudere of zieke mensen of jonge kinderen.

Tabel 3-2. Activiteiten voor de beoordeling van windhinder

Activiteit	Gevoeligheid voor windhinder	Voorbeelden
Doorlopen	Niet/nauwelijks gevoelig	Parkeerterrein, trottoir
Slenteren	Wel gevoelig	Entree, park, winkelstraat
Langdurig zitten	Meest gevoelig	Bankje, balkon

Tabel 3-3. Criteria voor windhinder conform NEN 8100

Kans dat de drempel-snelheid (5 m/s) overschreden wordt [% van aantal uren per jaar]	Kwaliteits-klasse	Activiteiten en beoordeling windklimaat		
		Doorlopen (niet windhinder-gevoelig)	Slenteren (wel windhinder-gevoelig)	Langdurig zitten (meest windhinder-gevoelig)
< 2,5 %	A	Goed	Goed	Goed
2,5 – 5 %	B	Goed	Goed	Matig
5 – 10 %	C	Goed	Matig	Slecht
10 – 20 %	D	Matig	Slecht	Slecht
> 20 %	E	Slecht	Slecht	Slecht

3.3 Windgevaar

Bij 'windgevaar' komen dusdanig hoge windsnelheden voor dat mensen ernstige problemen ondervinden tijdens het lopen en waarbij een windvlaag mensen kunnen doen vallen. Bij windvlagen neemt de snelheid in korte tijd toe tot ruim 1,5 maal de uurgemiddelde windsnelheid. De beoordeling van windgevaar wordt op een zelfde manier opgebouwd als de beoordeling van windhinder. Er wordt een drempelsnelheid van 15 m/s (uurgemiddelde windsnelheid) aangehouden en een indeling zoals aangegeven in Tabel 3-4.

Tabel 3-4. Criteria voor windgevaar conform NEN 8100

Kans dat de drempelsnelheid (15 m/s) overschreden wordt [% van aantal uren per jaar]	Kwalificatie
< 0,05 %	Geen gevaar, voldoet
0,05 - 0,3 %	Beperkt risico
> 0,3 %	Gevaarlijk

Alle situaties met een overschrijdingskans van groter dan 0,30 % van de tijd zijn gevaarlijk en moeten vermeden te worden. Een 'beperkt risico' is slechts acceptabel bij niet windhindergevoelig gebruik, dat wil zeggen in doorloopgebieden of voor plekken waar geen activiteit zal plaatsvinden (geen entrees, loop of fietsroutes). Voor de activiteiten slenteren en langdurig zitten is een beperkt risico op gevaar niet acceptabel.

4 Ambitieniveau

In hoofdstuk 3 is aangegeven worden verschillende eisen gesteld voor 'doorloopgebieden', 'slentergebieden' en gebieden voor 'langdurig zitten'. Binnen het plan zijn een aantal gebieden waarin een bepaalde kwaliteit van het windklimaat verlangd wordt. De onderverdeling wordt gegeven in Tabel 4-1. Deze onderverdeling is ingeschat op basis van algemene richtlijnen. Figuur 4-1 laat de locatie van de deelgebieden zien met daarin de locaties van de deelgebieden zoals gedefinieerd in de tabel.

Tabel 4-1. Ambitieniveaus op deelgebieden

Type gebied	Motivatie, ambitieniveau	
Doorlopen	Op looproutes rondom het plangebied en op parkeerterreinen worden geen bijzondere eisen ten aanzien van het windklimaat gesteld - Ambitieniveau: C (goed); - Minimaal niveau: D (matig).	
	Gebieden beoordeeld als doorloopgebied:	
	1.	Looproutes rondom plangebied
	2.	Gebied met parkeerplekken
Slenteren	Binnen het plangebied zullen mensen mogelijk rustiger lopen of even stil blijven staan. Hier zijn ook entrees van verschillende gebouwen aanwezig. Er wordt daarom gestreefd naar een goed windklimaat voor slenteren. - Ambitieniveau: B (goed); - Minimaal niveau: C (matig).	
	Gebieden beoordeeld als slentergebied:	
	3.	Open ruimtes binnen plangebied m.u.v. parkeerterrein
Langdurig zitten	Op terrassen en bankjes worden ten behoeve van een comfortabel, langduriger verblijf hoge eisen aan het windklimaat gesteld. - Ambitieniveau: A (goed); - Minimaal niveau: B (matig).	
	Gebieden beoordeeld als 'langdurig zitten':	
	4.	Terrassen/bankjes* Onbekend, mogelijk in open ruimtes in nabijheid van waterkant

*De eisen voor 'langdurig zitten' zijn niet bedoeld voor horeca-terrassen. Voor dergelijke terrassen zijn vrijwel altijd windschermen en/of luifels nodig om een goed windklimaat te creëren.



Figuur 4-1. 3d model van bouwplan Eemfront; bovenaanzicht; met indicatie van deelgebieden.

5 Beoordeling windklimaat

In dit hoofdstuk wordt een beoordeling van het windklimaat gegeven. Nummers achter de verschillende gebieden corresponderen met de nummers in Figuur 4-1.

5.1 Gebieden voor doorlopen

Looproutes rondom plangebied (1)

Op het de looproute wordt een goed windklimaat voor doorlopen verwacht. Dit vanwege het relatief weinig voorkomen van hoge windsnelheden volgens de windstatistiek, de ruwheid van het omliggende terrein en de afwezigheid van hoogbouw.

Gebied met parkeerplekken (2)

In dit gebied wordt een goed windklimaat verwacht (zie motivatie 'looproutes rondom plangebied' hierboven).

5.2 Gebieden voor slenteren

Open ruimte binnen plangebied (3)

In het plangebied wordt een goed klimaat voor slenteren verwacht.

5.3 Gebieden voor langdurig zitten

Mogelijke terrassen/bankjes (4)

In het plangebied wordt grotendeels een goed klimaat voor zitten verwacht. In de omgeving van drie hoeken van de nieuwbouw van 27 meter hoogte zou het klimaat voor zitten mogelijk matig kunnen zijn (zie Figuur 5-1). De relatief krachtige zuidwestenwind zal van de gebouwgevel naar beneden stromen en een weg vinden langs deze hoeken. Doordat er lagere bebouwing dicht op de hogere nieuwbouw staat zal de lucht bovendien door kleine doorgangen worden geperst en daardoor versnellen. Toch wordt geen slecht windklimaat verwacht, gezien de beperkte hoogte van de nieuwbouw en het weinig voorkomen van krachtige wind.



Figuur 5-1. 3d model van bouwplan Eemfront; bovenaanzicht; met indicatie van gebieden met mogelijk matig windklimaat voor langdurig zitten (geel)

6 Conclusies en aanbevelingen

Er is een theoretisch onderzoek uitgevoerd naar het windklimaat op loopniveau in en rond het bouwplan Eemfront te Amersfoort.

Bij een theoretisch onderzoek wordt een inschatting gegeven van het te verwachten windklimaat op grond van de bij het bureau opgebouwde expertise, waarbij ook gebruik wordt gemaakt van de kentallen uit de literatuur. Doel van dit theoretische onderzoek is globaal vast te stellen of naar verwachting aan de volgens de NEN 8100 omschreven criteria inzake windhinder en windgevaar in het plangebied zal worden voldaan en in te schatten welke aanpassingen eventueel gewenst zijn om een qua windklimaat goede situatie te creëren.

De theoretische beoordeling leidt tot de volgende beoordeling:

- Op het de looproutes rondom het plangebied en in het gebied met parkeerplekken wordt een goed windklimaat voor doorlopen verwacht.
- In de open ruimte van het plangebied wordt een goed windklimaat voor slenteren en langdurig zitten verwacht.
- In de directe omgeving van drie gebouwhoeken van de hoogste nieuwbouw (de hoek op het westen, zuiden en oosten) en de doorgangen ten zuiden en noorden van de hoogste nieuwbouw zou het windklimaat voor langdurig zitten plaatselijk matig kunnen zijn.
- Er wordt geen windgevaar verwacht.

Waar nodig kan het windklimaat lokaal verbeterd worden door het plaatsen van verticale schermen en/of luifels. Voor horeca terrassen zijn dergelijk voorzieningen vrijwel altijd nodig om een geschikt windklimaat te creëren.

7 Bronnen

NEN 8100:2006 Nederlandse norm. Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving, Nederlands Normalisatie-instituut

NPR 6097:2006 Nederlandse praktijkrichtlijn. Toepassing van de statistiek van de uurgemiddelde windsnelheden voor Nederland, Nederlands Normalisatie-instituut.

Richards PJ & Hoxey RP (1993) Appropriate boundary conditions for computational wind engineering models using the $k-\epsilon$ turbulence model. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 46, 47 pp. 145-153.

Wieringa J (1992) Updating the Davenport roughness classification. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 41(1-3) pp. 357-368.

Bijlage 1 Achtergrond

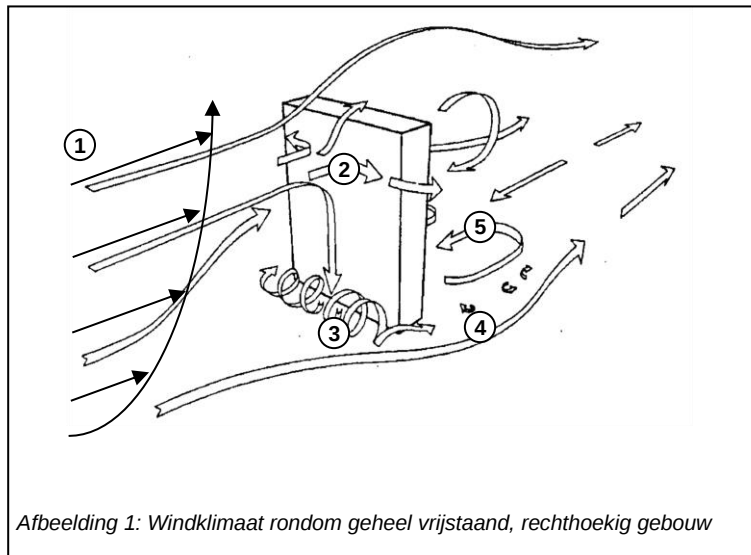
windstroming om gebouwen

In deze bijlage worden een aantal 'algemene effecten' die optreden in de gebouwde omgeving toegelicht, aan de hand van simpele voorbeelden met één gebouwen. In de praktijk zal het windklimaat nooit bepaald worden door één enkel gebouw. In de werkelijkheid zal de stedenbouwkundige situatie complexer zijn en zal de stroming rondom de gebouwen daarmee ook. De hoogtes en volumes van de gebouwen, de positionering van de gebouwen ten opzichte van elkaar en de oriëntatie ten opzichte van de overheersende windrichting bepalen gezamenlijk het windklimaat op looppniveau.

Windklimaat rondom geheel vrijstaand, rechthoekig gebouw

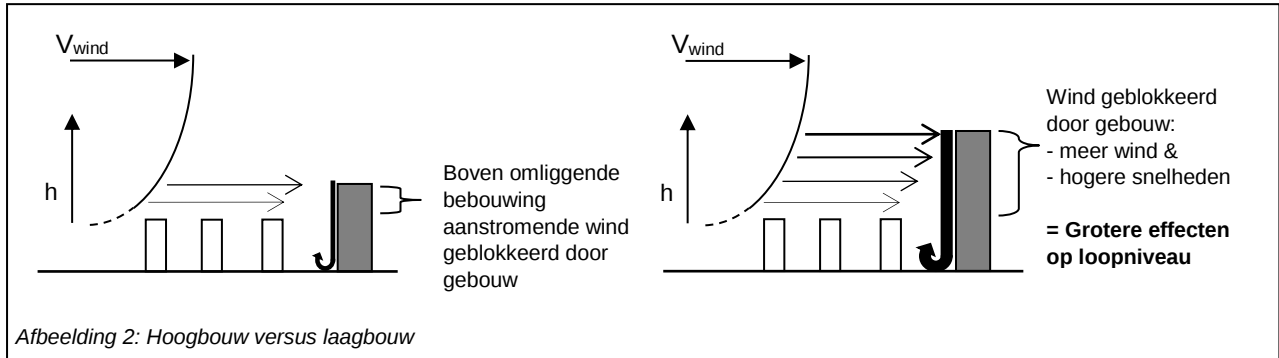
Afbeelding 1 laat zien hoe een vrijstaand, rechthoekig gebouw de windsnelheden beïnvloedt.

1. Op enige hoogte boven de bebouwde omgeving is de "ongestoorde" windsnelheid groter dan op loophoogte.
2. De aanstromende lucht wordt door het gebouw geblokkeerd. Langs en over het gebouw ontstaan hogere luchtsnelheden, aangezien de totale hoeveelheid aanstromende lucht moet worden afgevoerd. Voor het gebouw ontstaat een stuwpunt.
3. Een deel van de aanstromende lucht zal langs de gevel naar beneden stromen en zal juist boven de grond worden afgebogen. Aan de voet van het gebouw zullen wervels met een horizontale as ontstaan.
4. Deze wervels zullen naar de gebouwhoeken bewegen, waar wervels met een verticale as (staande wervels) ontstaan, die regelmatig van het gebouw loslaten, en zich dan van het gebouw af bewegen. In de gebieden met deze 'cornersteams' zullen verhoogde windsnelheden, met een sterk variërende windrichting optreden. Dit verschijnsel wordt als 'windhinder' ervaren.
5. Achter het gebouw ontstaat een gebied waar onderdruk heerst. Ook in dit gebied komen wervels voor, maar de windsnelheden zijn over het algemeen laag. Het is een relatief luw gebied.



Hoog versus laag

Naast de gebouwgeometrie en de stedenbouwkundige situatie is de windsnelheid op de hoogte van de dakrand bepalend voor de windhinder op loopniveau. Hoe hoger het gebouw is (ten opzichte van zijn omgeving), hoe groter de beïnvloeding van het windklimaat zal zijn. Dit wordt weergegeven in afbeelding 2.



Drukverschillen rondom doorgangen

Wanneer de wind geblokkeerd wordt door een gebouw of een aantal gebouwen, zal aan de voorzijde van de gebouwen een gebied met een hogere druk ontstaan. Aan de achterzijde van het gebouw (de beschutte, luwe zijde) ontstaat een gebied met een lagere druk.

Waar deze twee gebieden met elkaar verbonden worden, bijvoorbeeld door een onderdoorgang onder een gebouw door, zal een luchtstroom van het gebied met overdruk naar het gebied met onderdruk ontstaan: in de onderdoorgang zal het windklimaat door de verhoogde windsnelheden en turbulentie verslechteren.

Deerns Nederland B.V.

Bouwfysica & Energie

Fleminglaan 10

2289 CP Rijswijk

Postbus 1211

2280 CE Rijswijk

bouwfysica@deerns.com

www.deerns.nl