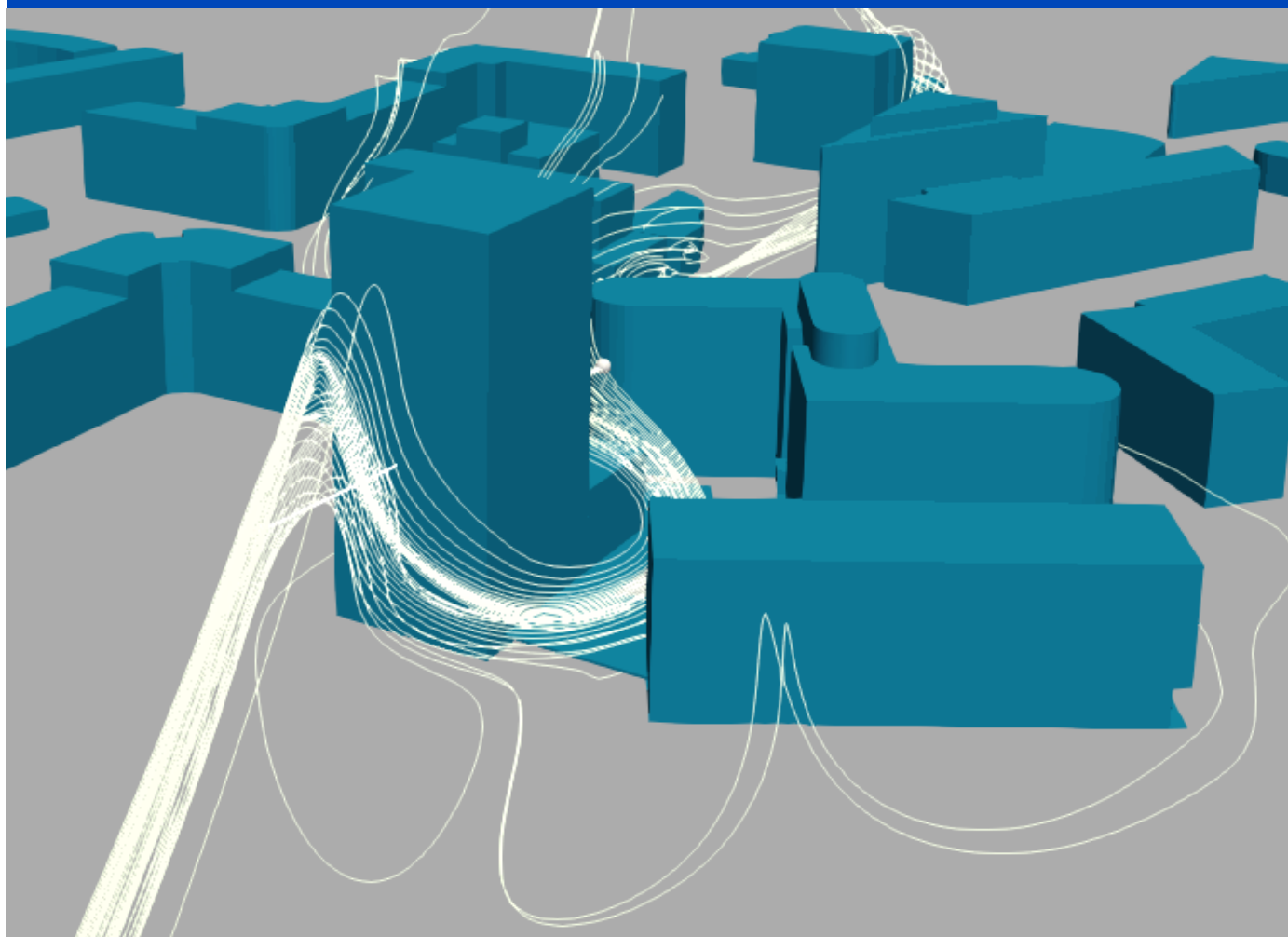


7 maart 2019

Lichtpenweg te Amersfoort

CFD onderzoek windklimaat



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.

Lichtpenweg te Amersfoort

CFD onderzoek windklimaat

Dr. ir. Paul van Gent
Specialist

Ing. Gwendolyn Alkemade
Technicus

Contact

Ir. Yvonne Thijs-van Langen
Projectleider
yvonne.thijs@deerns.com
06 11 78 53 43

Deerns Nederland B.V.
Rijswijk, 7 maart 2019

Projectnr. RNL160.05016.00.0001
160-05016 Lichtpenweg CFD onderzoek windklimaat 20190304

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Uitgangspunten	6
2.1	Algemene uitgangspunten	6
2.2	Het bouwplan	6
2.3	Omgeving plangebied	7
2.4	Windstatistiek	8
3	Beoordelingsmethodiek en -criteria	10
3.1	Windhinder	10
3.2	Windgevaar	11
4	Rekenmodel	12
4.1	Software en algemene methodiek	12
4.2	Modellering van het gebied en de bebouwing	12
4.3	Windsnelheidsprofiel	15
4.4	Rekenrooster	15
5	Beoordeling windklimaat	17
5.1	Windhinder	17
5.2	Windgevaar	17
6	Conclusies en aanbevelingen	21
7	Bronnen	22
	Bijlage 1 Windstroming om gebouwen	23
	Bijlage 2 Technisch inlegvel voor numerieke simulatie	25

1 Inleiding

In opdracht van Bouwfonds Property Development B.V. (BPD) is onderzoek uitgevoerd naar het windklimaat rondom de te realiseren 'De Lichtpen' aan de Lichtpenweg 6 te Amersfoort. De Lichtpen wordt ontworpen door ZEEP architects and urban designers. De hogere bouwdelen (tot 37,5 m) kunnen het windklimaat in en rondom het bouwplan negatief beïnvloeden. Dit kan consequenties hebben voor de geschiktheid van specifieke gebieden voor hun beoogde functie.

Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van de NEN 8100 normering ('Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving'). Volgens deze normering, kan een windhinderonderzoek worden uitgevoerd met een schaalmodel in een windtunnel of met behulp van computersimulaties (CFD, Computational Fluid Dynamics). Dit onderzoek maakt gebruik van deze laatste methode. Het onderzoek richt zich op het windklimaat op looppniveau tot een afstand van 300 meter van de geprojecteerde nieuwbouw. Bij de beoordeling is gebruik gemaakt van het Voorlopig Ontwerp (8 februari 2019) en het 3D model, door ZEEP architects and urban designers.

De opbouw van deze rapportage is als volgt:

- Hoofdstuk 2 –Uitgangspunten
- Hoofdstuk 3 – Beoordelingsmethodiek en -criteria
- Hoofdstuk 4 – CFD-rekenmodel
- Hoofdstuk 5 – Berekeningsresultaten
- Hoofdstuk 6 – Conclusie

In bijlage 1 is algemene achtergrondinformatie opgenomen over windklimaat in de gebouwde omgeving. Met bijlage 2 is een technisch inlegvel toegevoegd met de voornaamste uitgangspunten voor de CFD-modellering.

2 Uitgangspunten

In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten gegeven die zijn gehanteerd bij dit onderzoek.

2.1 Algemene uitgangspunten

- De beoordeling is uitgevoerd aan de hand van de normering: NEN 8100 'Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving'. Deze normering en de bijbehorende toetsingscriteria worden in hoofdstuk 3 toegelicht.
- Conform de NEN 8100 wordt de NPR 6097:2006 gebruikt om de windstatistiek ter plaatse van het onderzoeksgebied te bepalen (zie paragraaf 2.4).
- Het gebouw en de omgeving van het gebouw zijn gemodelleerd op basis van een aangeleverde 3D-model van de geprojecteerde nieuwbouw, d.d. 17 januari 2019.

Specifieke uitgangspunten aangaande de CFD-modellering en -simulaties worden in hoofdstuk 4 toegelicht. In bijlage 2 is een technisch inlegvel opgenomen met een overzicht van de uitgangspunten.



Figuur 2-1. Schematische weergave situering plan 'De Lichtpen'

2.2 Het bouwplan

De Lichtpen zal gerealiseerd worden aan de lichtpenweg 6 te Amersfoort en is gelegen nabij het station Amersfoort Schothorst. Figuur 2-1 laat een schematische weergave van het plan zien. Het bouwplan omvat 3 gebouwen, een bestaand gebouw (gebouw 1) en twee nieuwe gebouwen (gebouwen 2 en 3). Het bestaande pand wordt aangepast en heringericht. Het huidige pand heeft een

kantoorbestemming. Na transformatie is het pand bestemd als woongebouw met kamers en appartementen. In de twee nieuw te bouwen volumes worden ook woningen gerealiseerd. In één van de gebouwen wordt op de begane grond een gedeelte ingericht voor een horecabestemming met aan de zuidzijde een terras. Tussen de gebouwen bevindt zich een opgetild maaiveld (een dek) waaronder auto's staan. Dit dek is een verblijfsruimte die aansluit op het maaiveld.

De drie gebouwen hebben verschillende hoogtes. Het bestaande pand (gebouw 1) telt 6 bouwlagen en heeft een hoogte van circa 22 m. Eén van de nieuwe gebouwen (gebouw 2) telt 12 bouwlagen en heeft een hoogte van circa 37,5 m. Het andere nieuwe gebouw (gebouw 3) telt 5 bouwlagen en heeft een hoogte van circa 16,5 m.

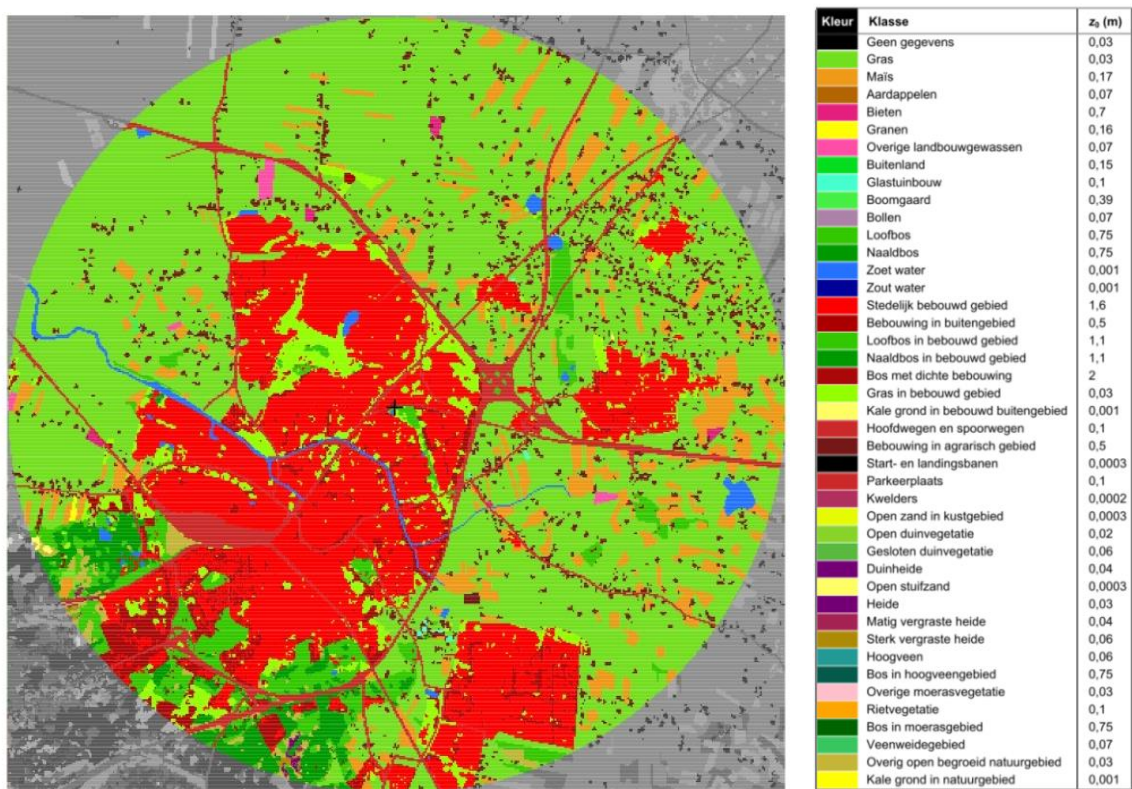


Figuur 2-2. Situatie Lichtpenweg te Amersfoort (bron: Google Earth)

2.3 Omgeving plangebied

Gebouwen en bomen in de wijdere omgeving om het gebouw hebben invloed op het windklimaat. Ze 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.

Figuur 2-2 laat een satellietbeeld zien van de omgeving van het plangebied. Een oranje cirkel geeft het gebied weer binnen een straal van 300 meter van 'Lichtpen'. Gebouwen in dit gebied zijn expliciet opgenomen in het rekenmodel. Figuur 2-3 geeft een overzicht van het landgebruik binnen een straal van 6 km met informatie over de ruwheid van het terrein. Wind uit westelijke richtingen stroomt aan over relatief open terrein. Wind uit overige richtingen stroomt aan over een omgeving met bebouwing.

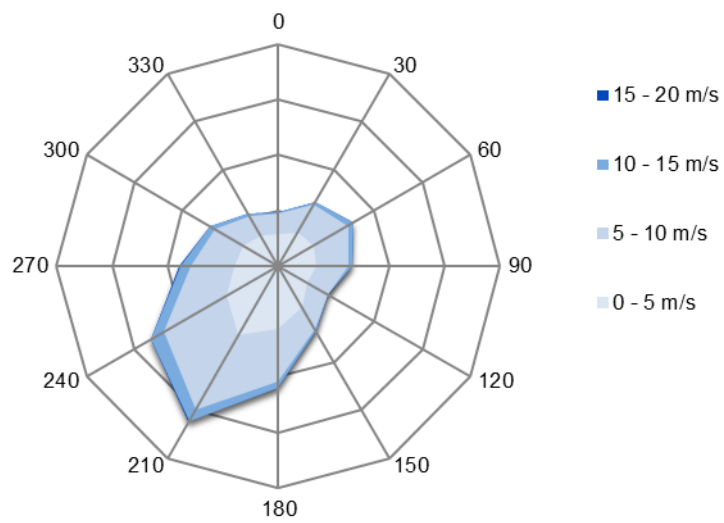


Figuur 2-3. Landgebruikkaart met ruwheidsinformatie binnen een straal van 6 km van het plangebied.

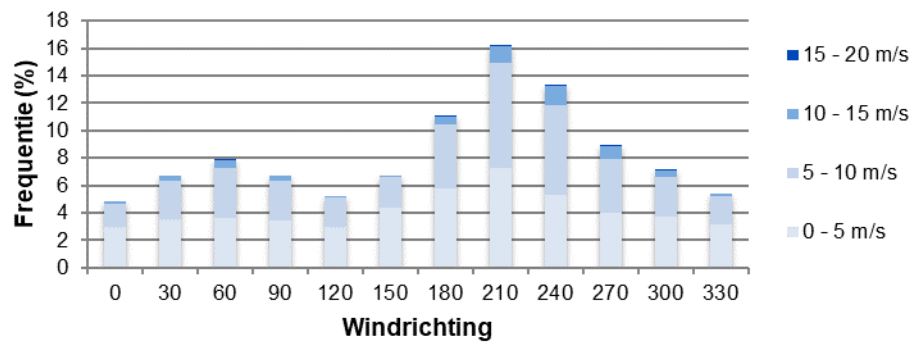
2.4 Windstatistiek

De aanstromende wind naar een gebouw is van grote invloed op het windklimaat op loopniveau. Zo waait het aan de kust harder dan in het binnenland, waardoor de windsnelheid op loophoogte bij gebouwen aan de kust groter zullen zijn dan bij vergelijkbare gebouwen in het binnenland.

Zoals voorgeschreven in de NEN 8100 is de lokale windstatistiek voor de locatie bepaald volgens de NPR 6097. De NPR 6097 geeft de windstatistiek op 60 meter hoogte voor twaalf windrichtingen (in stappen van 30°). Uit de windstatistiek (Figuur 2-4 en Figuur 2-5) blijkt dat de windrichtingen uit het zuidwesten overheersend. Ongeveer 50% van de tijd komt de wind uit de richtingen tussen zuid en west. Ook de hoogste windsnelheden komen bij deze windrichtingen voor. Deze overheersende windrichtingen zullen daarom in grote mate het windklimaat op de locatie bepalen. Dit betekent niet dat wind uit een andere richtingen geeft effect heeft.



Figuur 2-4. Windroos van de windstatistiek op 60 m hoogte de locatie van het plangebied.



Figuur 2-5. Staafdiagram van de windstatistiek op 60 m hoogte de locatie van het plangebied.

3 Beoordelingsmethodiek en -criteria

De beoordeling van het windklimaat is uitgevoerd aan de hand van de norm NEN 8100 'Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving'. 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.

3.1 Windhinder

Het criterium voor de beoordeling van windhinder is uit de volgende onderdelen opgebouwd:

- 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.
- 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 3-2). Klasse A staat voor de hoogste comfortklasse en klasse E voor het laagste kwaliteitsniveau.
- 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 3-1. Afhankelijk van de activiteit en de kwaliteitsklasse wordt in Tabel 3-2 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 3-1. 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 3-2. 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

3.2 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 eenzelfde 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 3-3.

Tabel 3-3. 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

Een 'beperkt risico' is slechts acceptabel bij niet windhindergevoelig gebruik, te weten de activiteit 'doorlopen' 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. Alle situaties met een overschrijdingskans van groter dan 0,30 % van de tijd zijn evident gevaarlijk en behoren vermeden te worden.

4 Rekenmodel

Computational fluid dynamics (CFD), of numerieke stromingsleer in het Nederlands, refereert naar een groep rekenmethodieken voor het oplossen van stromingsvergelijkingen. Kenmerkend aan deze methodieken is dat de stroming wordt opgedeeld in kleine cellen die samen het rekenrooster ('mesh' of 'grid') vormen. Voor elke cel worden vergelijkingen opgesteld voor het behoud van massa, momentum, en, afhankelijk van het model, energie. Voor alle cellen samen ontstaat zo een groot stelsel van vergelijkingen dat iteratief wordt opgelost.

In dit hoofdstuk worden de specifieke uitgangspunten en rekenmethodes van de gebruikte CFD-methodiek geschreven. Een overzicht wordt ook gegeven in het ingevulde inlegvel uit de NEN 8100:2006 in bijlage 2.

4.1 Software en algemene methodiek

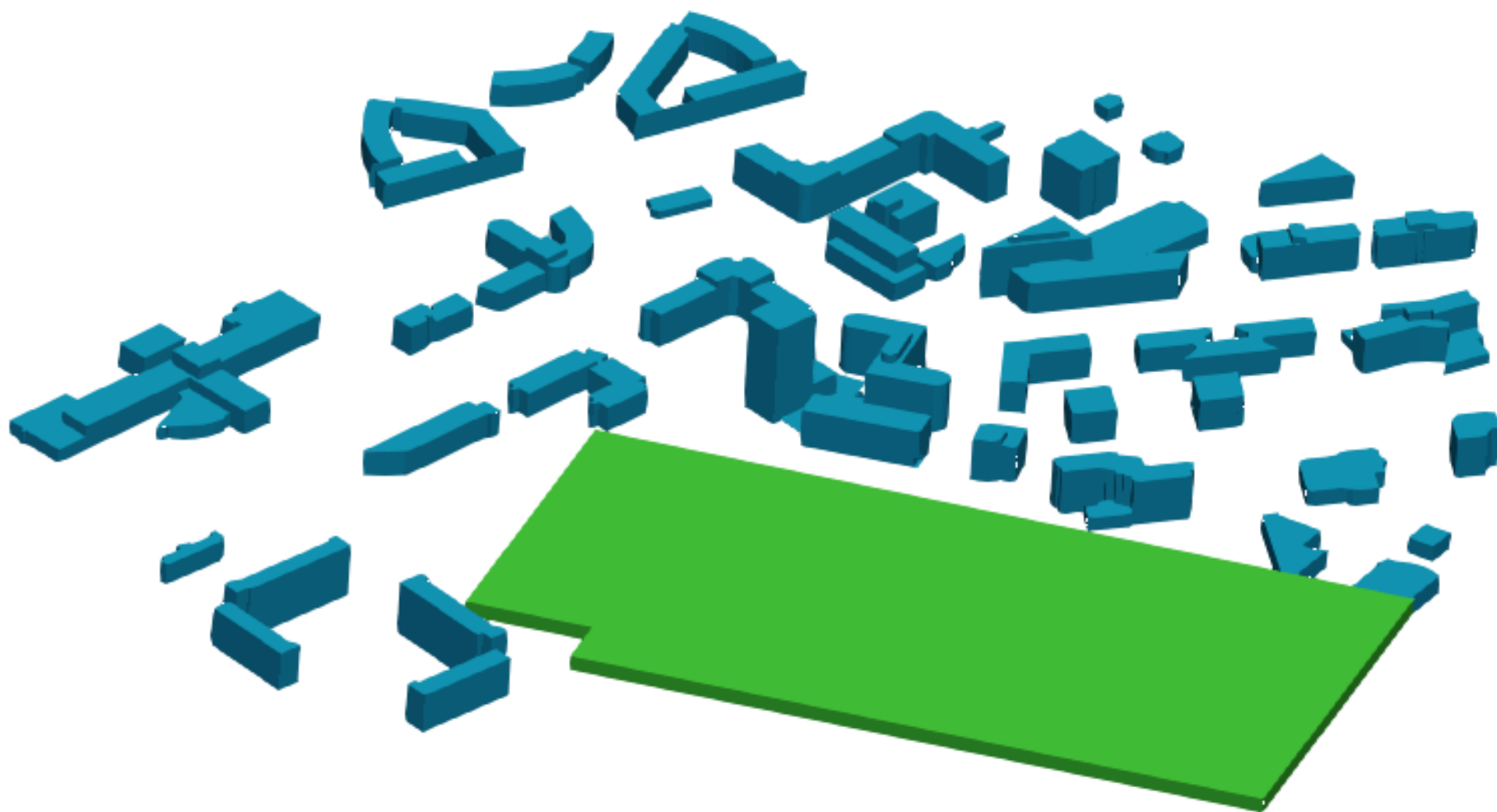
Voor het huidige onderzoek is gebruik van het softwarepakket PHOENICS FLAIR-EFS (versie 2018), dat specifiek is ontwikkeld voor het uitvoeren van windstudies. De gemiddelde stroming voor elke windrichting is berekend op basis van de Reynolds-gemiddelde Navier-Stokes vergelijkingen (RANS). Kleine turbulente stromingsschalen zijn gemodelleerd met het standaard $k-\epsilon$ model. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van het tweede orde discretisatie schema (MUSCL, Monotonic Upwind Scheme for Conservation Law; Van Leer, 1979). Per simulatie zijn gemiddeld 6000 iteraties uitgevoerd, waardoor geconvergeerde oplossingen van de stromingsvergelijkingen zijn verkregen.

Afzonderlijke simulaties zijn uitgevoerd voor de twaalf windrichtingen zoals bepaald met de NPR 6097 (zie hoofdstuk 2). Ter bepaling van de overschrijdingspercentages op de verschillende posities, worden de resultaten van de twaalf afzonderlijke simulaties gewogen met de winddistributie bij de corresponderende windrichtingen. Zo kan per positie een percentage van de tijd worden bepaald waarbij de criteria / drempelsnelheden voor windhinder (5 m/s) en windgevaar (15 m/s) worden overschreden.

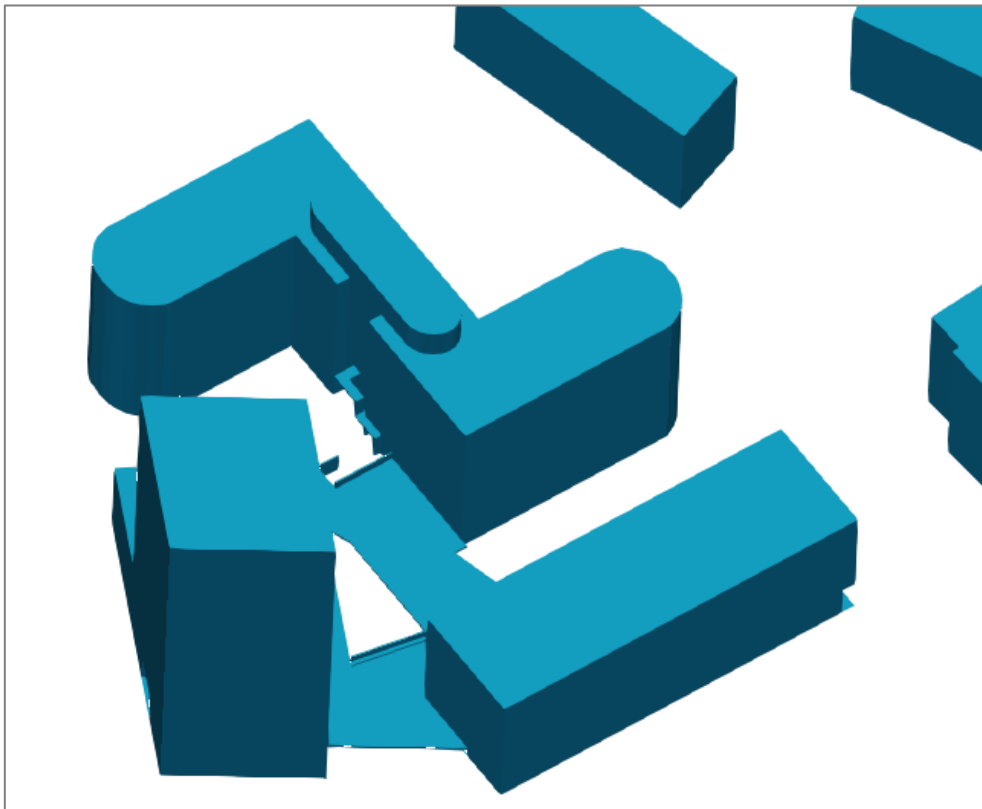
4.2 Modelleren van het gebied en de bebouwing

De NEN 8100 definieert de invloedssfeer van een bouwwerk als het gebied rondom het bouwwerk met een straal van zesmaal de hoogte van het bouwwerk, met een maximum van 300 m. In het huidige onderzoek is de bebouwing in de invloedssfeer (het kerngebied) expliciet opgenomen in het model. (zie Figuur 4-1 en Figuur 4-2). Het weglaten van details aan de gevels en de daken is ondervangen door de oppervlaktes van de gebouwen een typische ruwheid te geven. Dezelfde strategie is gebruikt voor details op de bodem (wegen, stoepen, enz.). Het gebied met bomen aan de zuidzijde van de Lichtpen is gemodelleerd als gebied met bomen.

Gebouwen buiten het kerngebied zijn niet expliciet opgenomen in het model. In plaats daarvan is het effect van de bebouwing ('ruwheid') meegenomen in het snelheidsprofiel van de aanstromende wind (zie ook paragraaf 4.3).



Figuur 4-1. Kerngebied met bebouwing. Groen geeft gebied met bomen weer.



Figuur 4-2. Details van geprojecteerde plan 'De Lichtpen' te Amersfoort.

4.3 Windsnelheidsprofiel

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

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

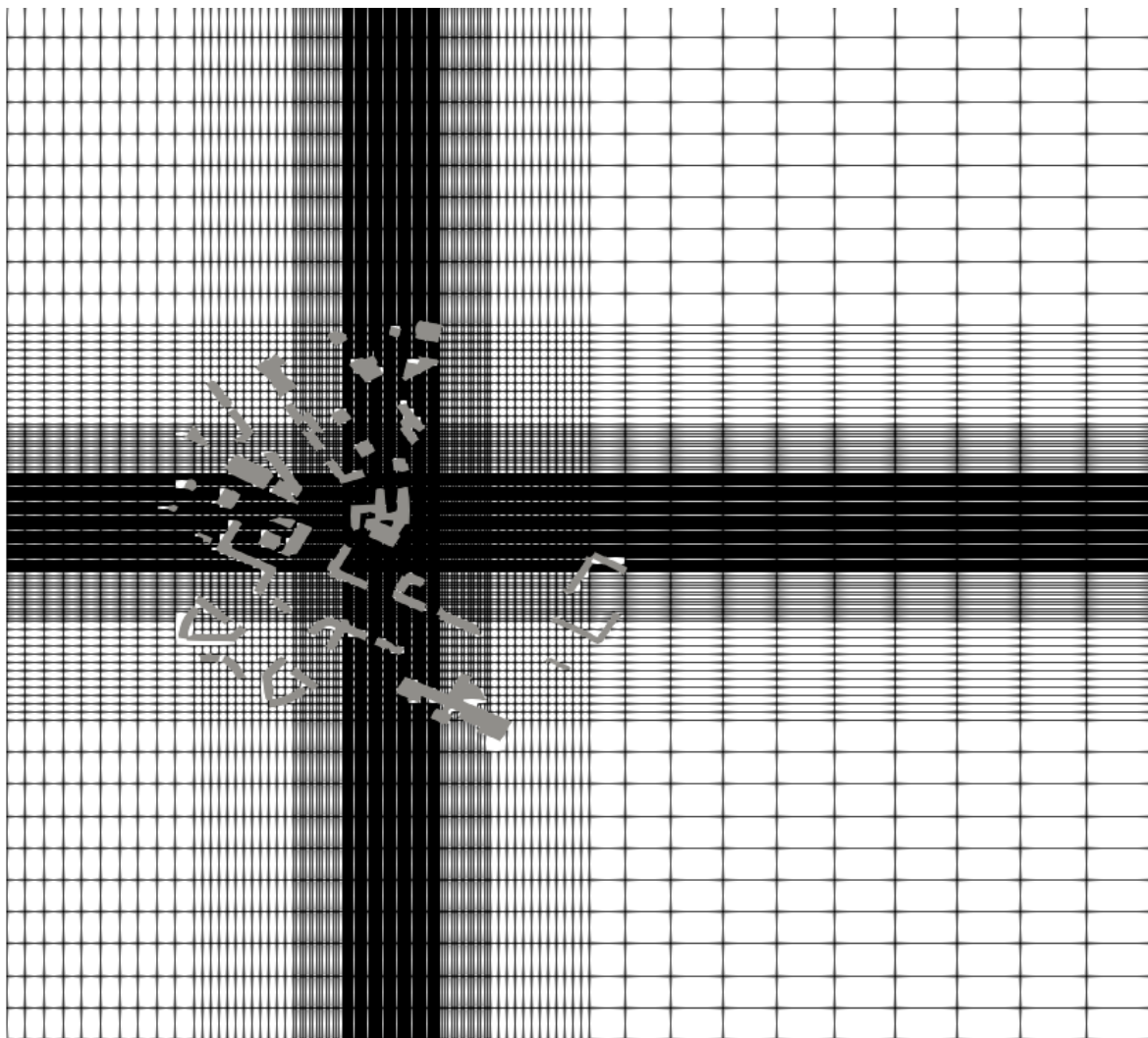
Hierbij is:

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

Op basis van het landgebruik en de ruwheidsclassificatie van Wieringa (1992) is voor wind uit richtingen 30° tot en met 150° een ruwheidslengte van 0.5 m gebruikt en voor overige windrichtingen een ruwheidslengte van 1.0 m.

4.4 Rekenrooster

Het rekenmodel gebruikt een rechthoekig rekenrooster van 4,5 miljoen cellen (zie Figuur 4-3). In de directe omgeving rondom het gebouw is het rooster verfijnd tot een resolutie van 1,1 m². Het rekendomein is met 1740 m x 1570 m x 335 m (L x B x H) aanzienlijk groter dan het kerngebied om ongewenste invloeden van de grenzen van het domein te voorkomen. De afmetingen zijn gekozen, zodat wordt voldaan aan de richtlijnen zoals voorgesteld in wetenschappelijke literatuur (Franke et al. 2007, Tominaga et al. 2011, Blocken, 2015). Het rooster is zo gedefinieerd, dat de toetsingshoogte zich bevindt in de vierde cel vanaf de bodem van het domein, overeenkomstig de richtlijnen zoals beschreven in Blocken (2015). Het rooster is niet aangepast aan de geometrie van de bebouwing, wat ondervangen wordt door het gebruik van de 'immersed boundary method', PARSOL, beschikbaar in de gebruikte PHOENICS software.



Figuur 4-3. Rekenrooster, bovenaanzicht; volledig domein (wind van links naar rechts).

5 Beoordeling windklimaat

In dit hoofdstuk worden de berekende verwachting voor het voorkomen van windhinder gepresenteerd en beoordeeld.

5.1 Windhinder

Ter beoordeling van het windklimaat voor windhinder op loopniveau geeft Figuur 5-1 de kans weer dat de snelheid op 1,75 m hoogte hoger is dan 5 m/s. Figuur 5-2 even de kwaliteitsklasse van het windklimaat weer. De waardering van de kwaliteitsklasse is afhankelijk van de activiteitenklasse (zie Tabel 3-2). Het verschil in hoogte tussen het maaiveld en het dek is meegenomen in de beoordeling. De resultaten zijn samengestelde figuren van de resultaten op 1,75 m boven het maaiveld en 1,75 m boven het dek.

Gevels

Langs alle gebouwgevels heeft het windklimaat kwaliteitsklasse A. Het windklimaat is daarmee goed is voor de activiteiten: doorlopen, slenteren en langdurig zitten.

Gebouwhoeken

Over het algemeen is het windklimaat rond de gebouwhoeken goed (zie Figuur 5-3 en Figuur 5-4). Hoewel hoeken kritische plaatsen kunnen zijn is op de meeste hoeken het windklimaat van klasse A, in enkele gevallen oplopend tot B in een klein gebied zeer dicht bij de hoek. In de omgeving van deze hoeken heerst daarmee een goed windklimaat voor zowel de activiteiten 'doorlopen' en 'slenteren'.

Een uitzondering vormen twee hoeken aan de zuidzijde van 'De Lichtpen' (de noordwesthoek van gebouw 3, en de hoek op het zuiden van gebouw 2). De omgeving van deze hoeken wordt gekenmerkt door kwaliteitsklasse B en C, oplopend tot D direct op de hoek. Deze omgeving is daarmee goed geschikt voor de beoogde functie als doorloopgebied. Het kleine gebiedje van kwaliteitsklasse D is matig geschikt.

Kwaliteitsklasse C komt overeen met een goed klimaat voor de activiteit 'doorlopen', een matig klimaat voor 'slenteren' en een slecht klimaat voor 'zitten' (zie Tabel 3-2).

Kwaliteitsklasse D komt overeen met een matig klimaat voor de activiteit 'doorlopen', en een slecht klimaat voor 'slenteren' en 'zitten' (zie Tabel 3-2).

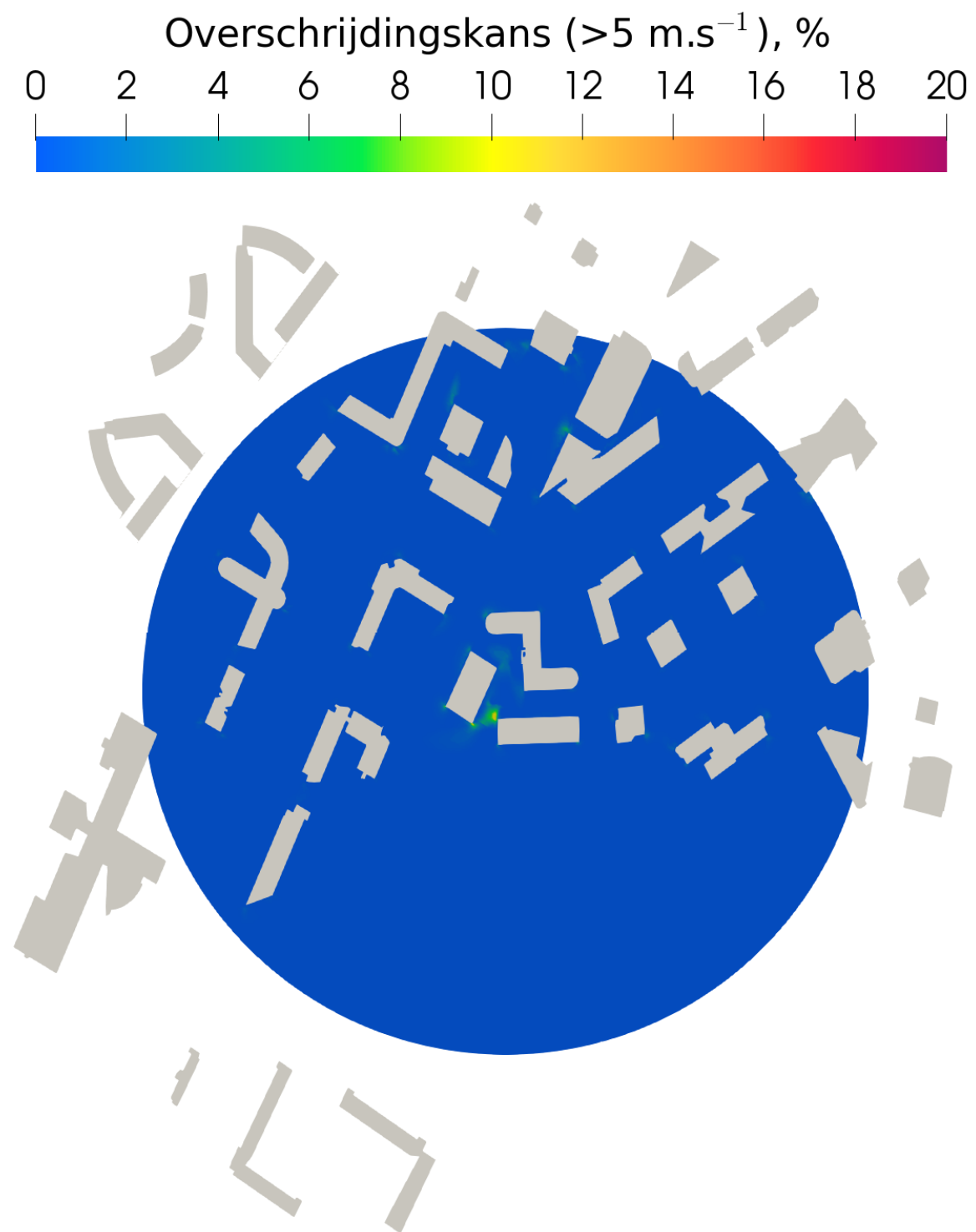
Dek

Zoals te zien in Figuur 5-4 is het windklimaat op het dek is in het algemeen van klasse A. Het windklimaat op zuidzijde van het dek tussen de twee nieuwe gebouwen heeft een lagere kwaliteit (zie 'Gebouwhoeken hierboven').

De lagere kwaliteitsklassen aan de zuidzijde van 'De Lichtpen' zijn voor het overgrote deel het gevolg van een zuidwestenwind op de gevel van het hoogste gebouw van de Lichtpen. Wind uit deze richting stroomt naar beneden langs de gebouwgevel en vervolgens om de hoeken van het gebouw (zie luchtstroom 4 in bijlage 1, en visualisatie op het voorblad van dit rapport). De situatie wordt verslechterd doordat de harde wind om de hoek van het hoogste gebouw door een vernauwing tussen twee gebouwen wordt gedwongen.

5.2 Windgevaar

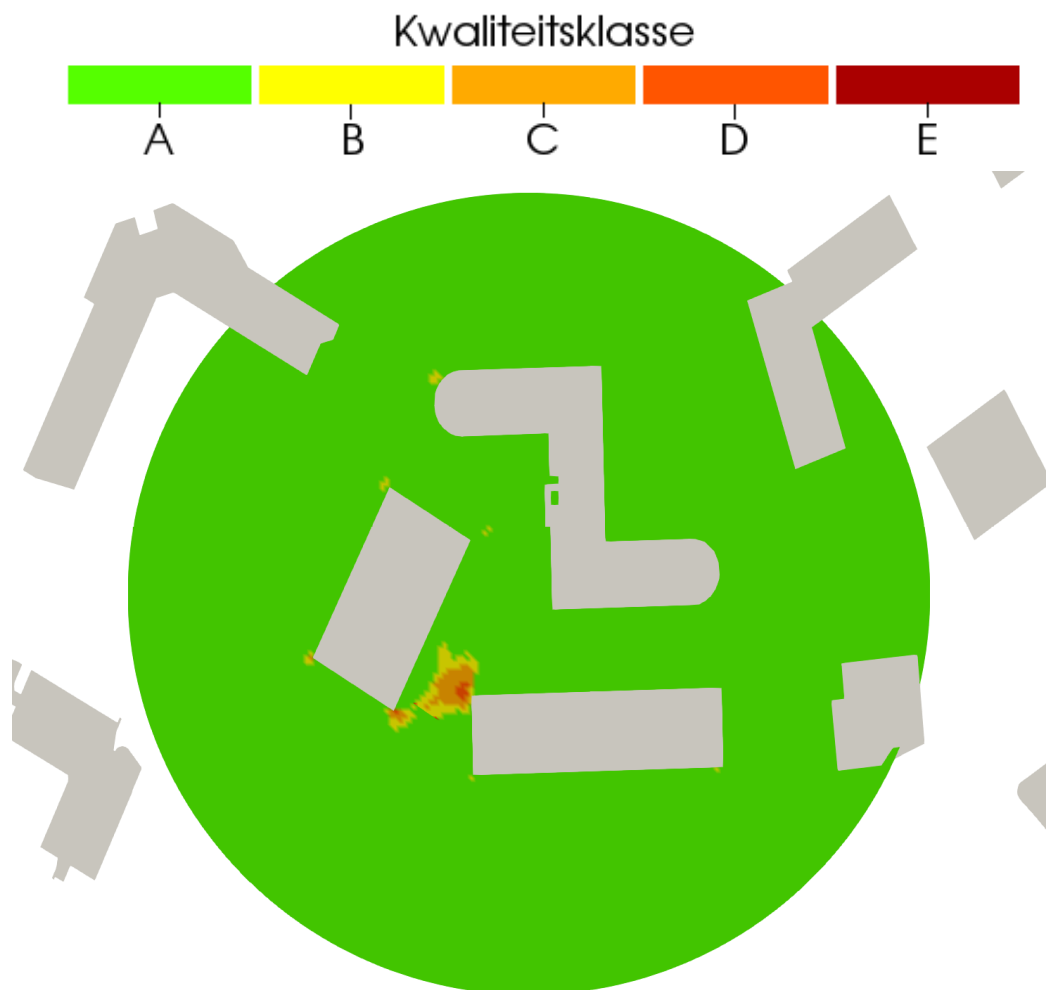
De resultaten laten zien dat er geen significant risico op windgevaar wordt verwacht.



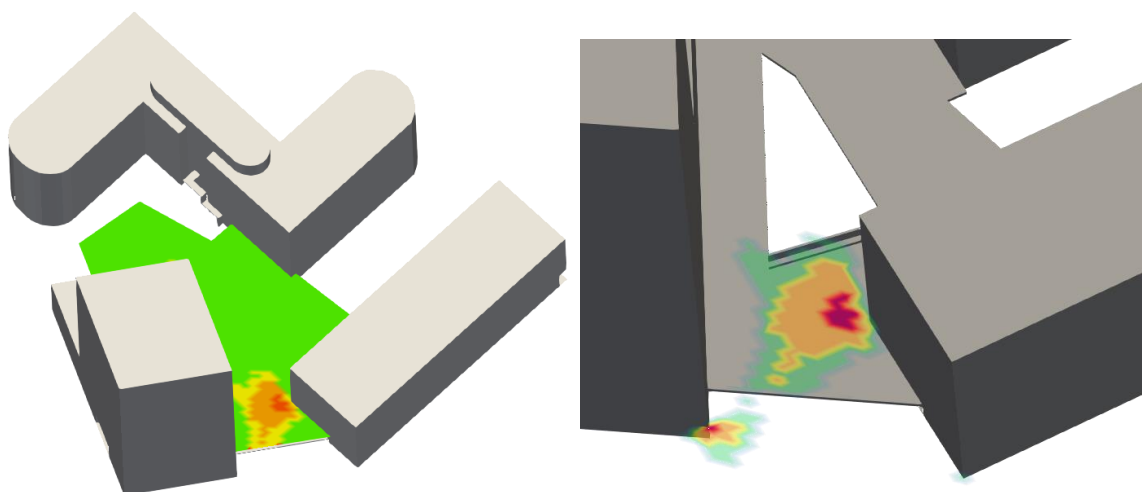
Figuur 5-1. Kans op windsnelheden groter dan 5 m/s op loopniveau (1,75 m hoogte), ter beoordeling van het windklimaat voor windhinder; bovenaanzicht.



*Figuur 5-2. Kwaliteitsklasse van windklimaat conform NEN 8100 op loopniveau (1,75 m hoogte);
bovenaanzicht.*



Figuur 5-3. Kwaliteitsklasse van windklimaat conform NEN 8100 op loopniveau (1,75 m hoogte); detail.



Figuur 5-4. Kwaliteitsklasse van windklimaat conform NEN 8100 op loopniveau (1,75 m hoogte); detail van het dek

6 Conclusies en aanbevelingen

Er is een kwantitatief onderzoek uitgevoerd naar het windklimaat rondom het plan 'De Lichtpen' te Amersfoort.

Beoordeling

De beoordeling van het windklimaat volgens NEN 8100 rondom de nieuwbouw op straatniveau en op het niveau van het dek is als volgt. Deze beoordeling is niet bedoeld voor horeca-terrassen, waarvoor strengere eisen gelden.

Gevels

Langs alle gebouwgegevens heeft het windklimaat kwaliteitsklasse A. Het windklimaat is daarmee goed is voor alle activiteiten (doorlopen, slenteren en langdurig zitten).

Gebouwhoeken

Over het algemeen is het windklimaat rond de gebouwhoeken goed. Een uitzondering vormen de gebieden twee hoeken aan de zuidzijde van 'De Lichtpen'. Deze hoeken worden gekenmerkt door kwaliteitsklasse B en C, oplopend tot D direct op de hoek. Deze gebieden zijn daarom beoordeeld als goed tot matig als doorloopegebied en zijn daarmee geschikt voor hun beoogde functie.

Dek

Het windklimaat op het dek is in het algemeen goed, van klasse A, met uitzondering van de zuidzijde van het dek (zie 'Gebouwhoeken').

De resultaten laten geen significant risico op windgevaar zien.

Aanbevelingen

Hoewel er aan de zuidzijde van 'De Lichtpen' tussen twee gebouwen een verhoogde kans op windhinder bestaat, is dit gebied geschikt voor de beoogde activiteit 'doorlopen'. Het is daarom niet nodig om voorzieningen te treffen om het windklimaat te verbeteren. Het windklimaat op aan de zuidzijde zou wel een aandachtspunt moeten zijn bij eventuele toekomstige herinrichtingen van de omgeving.

7 Bronnen

Blocken B (2015) Computational Fluid Dynamics for Urban Physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulation, *Building and Environment*, 91 pp. 219 – 245

Franke J, Hellsten A, Schlünzen H, Carissimo B (2007) Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment. COST Office Brussels, ISBN 3-00-018312-4

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 - ϵ turbulence model. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* (46, 47) pp. 145-153.

Tominaga Y, Okaze T, Mochida A (2011) CFD modeling of snowdrift around a building: An overview of models and evaluation of a new approach. *Building and Environment* 46(4) pp. 899-910.

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

Bijlage 1 Windstroming om gebouwen

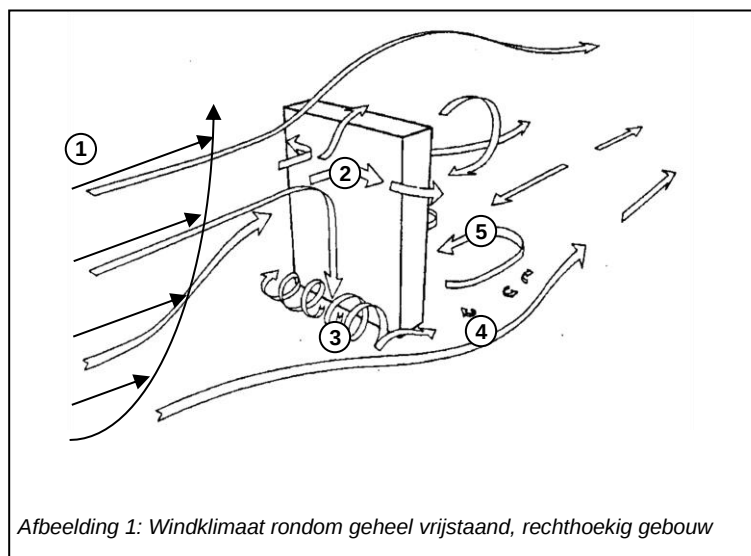
In deze rapportage zijn de criteria voor windhinder en gevaar gegeven, aan deze criteria ligt de optredende windsnelheid ten grondslag. De wind- (of lucht) snelheid op loopniveau wordt in belangrijke mate beïnvloed door de aanwezige gebouwen.

In deze bijlage worden een aantal 'algemene effecten' die optreden in de gebouwde omgeving toegelicht, aan de hand van simpele voorbeelden met één of twee gebouwen. In de praktijk zal het windklimaat nooit bepaald worden door één enkel gebouw. In de werkelijkheid zal de stedenbouwkundige situatie veel complexer zijn en zal de stroming rondom de gebouwen daarmee veel complexer zijn. 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 loopniveau.

Windklimaat rondom geheel vrijstaand, rechthoekig gebouw

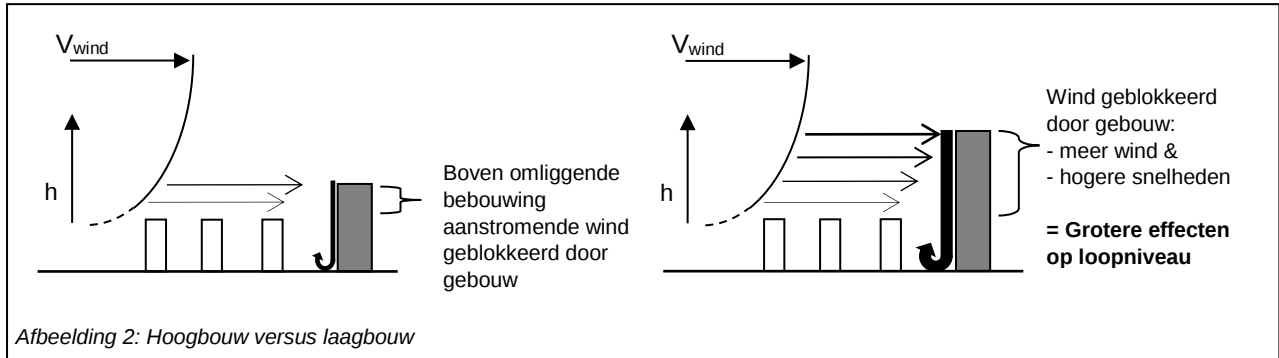
Aan de hand van afbeelding 1 wordt voor een eenvoudige situatie (geheel vrijstaand, rechthoekig gebouw) uitgelegd hoe de windsnelheden door het gebouw worden beïnvloed.

1. Op enige hoogte boven de bebouwde omgeving is de "ongestoorde" windsnelheid groter dan op loophoogte, waar de wind ten gevolge van beschutting door gebouwen wordt afgeremd.
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, met hogere snelheid 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.

Bijlage 2 Technisch inlegvel voor numerieke simulatie

Project	Gegevens
Projectnaam	De Lichtpen
Opdrachtgever	Bouwfonds Property Development B.V. (BDP)
Projectleider	Yvonne Thijs
Datum	28-02-2019
Model	Algemene gegevens van het model
Kerngebied	Bebouwing binnen ca. 300 m rondom de geplande hoogbouw
Omgeving	Bebouwing
Omvang gemodelleerd gebied	1740 m x 1570 m x 335 m
Afmetingen model	285 m x 285 m x 60 m
Blokkeringsgraad	<3%
Gemodelleerd groen	Turbulentie model 'Green', slightly sparse, mixed forest
Onderzochte windrichtingen	12
Onderzochte configuraties	Verwachte toekomstige bebouwingssituatie
Computeropstelling	Specifieke gegevens van de gebruikte programmatuur
Programmatuur	Phoenix FLAIR-EFS (versie 2018)
Methodiek	Eindige volume methode (FVM)
Algemeen	drie-dimensionaal, tijd-onafhankelijk, isothermisch
Rekenrooster	Rechthoekige cellen, verfijnd nabij de bodem, verfijnd in het kerngebied, verder verfijnd in de directe omgeving van de geplande hoogbouw.
Turbulentiemodellering	Standard k- ϵ
Convectieve differentie-schema's	Tweede-orde schema: Monotonic Upwind Scheme for Conservation Law (MUSCL; van Leer 1979)
Randvoorwaarden	Gebruikte randvoorwaarden
Instroomprofiel	Logaritmische atmosferische grenslaag, Ruwheidslengte (z_0): 0,5 m (windrichtingen 30° t/m 150°) Ruwheidslengte (z_0): 1,0 m (windrichtingen 180° t/m 360°)
Uitlaat	Constante druk
Zijwanden	Gesloten
Boven	Gesloten, constante druk, turbulente kinetische energie en dissipatie
Vloer/bodem	Ruwe wand, no slip

Gegevensverwerking en beoordeling	Informatie voor locatie en beoordeling windklimaat			
Amersfoortse coördinaten	X = 156262, Y = 464921			
Toegepaste eisen (NEN8100)	V _{DR} m/s	Gewenste kwaliteits-klasse	Overschrijdingskans (%)	Beoordeling
<i>Voor comfort</i>			$P(V_{LOK} > V_{DR:H})$	
Doorlopen	5,0	≤ D	< 20	
Slenteren	5,0	≤ C	< 10	
Zitten	5,0	≤ B	< 5	
Regionale correctie	Geen			
<i>Voor gevaar</i>			$P(V_{LOK} > V_{DR:G})$	
Slenteren	15,0		0,05 - 0,30	
Zitten	15,0		≤ 0,30	
Gepresenteerde resultaten	Grafische weergaven van overschrijdingskans en kwaliteitsklasse in het plangebied. Beschrijving van (afwezigheid) van) windgevaar.			
Opmerkingen				

Deerns Nederland B.V.

Bouwfysica & Energie

Fleminglaan 10

2289 CP Rijswijk

Postbus 1211

2280 CE Rijswijk

bouwfysica@deerns.com

www.deerns.nl