

TNO-rapport**TNO 2014 R10781****Aanvullend windtunnelonderzoek naar het
windklimaat bij het Knoopkazerne complex te
Utrecht****Earth, Life and Social
Sciences**Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nlT +31 88 866 42 56
infodesk@tno.nl

Datum 12 mei 2014

Auteur(s) W.W.R. Koch

Aantal pagina's 100 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen 2Opdrachtgever Gemeente Utrecht
Projectorganisatie Stationsgebied
T.a.v. drs. R. Crusio
Postbus 8406
3505 RK Utrecht

Projectnummer 060.07784

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2014 TNO

Samenvatting

In opdracht van de gemeente Utrecht heeft de afdeling Urban Environment and Safety van TNO in Apeldoorn, een aanvullend windhinderonderzoek uitgevoerd naar het effect van maatregelen op het windklimaat op het voormalige Knoopkazerne complex te Utrecht.

Naar aanleiding van de windtunnelresultaten van het voorgaande windtunnelonderzoek naar het windklimaat op het voormalige Knoopkazerne complex te Utrecht (Koch, 2013), zijn een drietal aandachtsgebieden geïdentificeerd. Het betreft het gebied tussen de Rabobrug tot aan de Croeselaan, het gebied in de directe nabijheid van het gebouw van de Rabobank en tot slot de verbinding tussen Utrecht CS en de Rabobrug, langs de knoopkazerne. Als uitgangskonfiguratie (configuratie 1) voor de aanvullende windtunneltesten is gekozen voor fase 3a uit het voorgaande windtunnelonderzoek (het bestaande Knoopkazerne complex inclusief de gebouwen van fase 1, fase 2 (met uitbouw op gebouw 2a & 2b) en fase 3a (overstek van +6m).

Uit de meetresultaten van de uitgangskonfiguratie blijkt dat het windklimaat ter plaatse van het verhoogde forum tussen de OV-terminal en de Rabobrug, gemiddeld genomen “goed” is voor een doorloop gebied (en slentergebied), met lokaal een uitschieter naar “matig”.

Aangezien er in het kader van de rapportage (H3) naar wordt gestreefd een “slecht” windklimaat te vermijden, is ingezoomd op maatregelen om het windklimaat nabij de opgang naar de Rabobrug en het gebied direct nabij het gebouw van de Rabobank te verbeteren.

Effect maatregelen te hoogte van het gebied nabij de opgang van de Rabobrug

Door het aanbrengen van verschillende varianten van een gebouw gebonden luifel boven de ingang van de fietsenstalling (configuraties 3, 4 en 5) wordt het lokale windklimaat nabij de opgang van de Rabobrug verbeterd. Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, ter hoogte van de opgang naar de Rabobrug bedraagt na de ingreep gemiddeld ten minste 13,0% tegenover 14,2% in configuratie 1. De maximum waarde bedraagt 20% tegenover 22% in configuratie 1. Het gemiddelde windklimaat blijft hiermee matig voor een doorloop gebied, maar het maximale percentage verbetert hiermee tot matig voor een doorloop gebied, tegenover slecht in configuratie 1.

Voor een verdere verbetering van het lokale windklimaat lijkt een ingreep in de vorm van een verticaal obstakel (scherm) ter plaatse van de opgang naar de Rabobrug vereist, conform configuratie 2.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, ter hoogte van de opgang naar de Rabobrug bedraagt na de ingreep gemiddeld 8,4% tegenover 14,2% in configuratie 1. De maximum waarde bedraagt 17% tegenover 22% in configuratie 1.

Het gemiddelde windklimaat verbetert hiermee lokaal tot goed als doorloop gebied. Het maximale percentage verbetert hiermee tot matig voor een doorloop gebied.

Effect maatregelen te hoogte van het Rabobank gebouw

Door het toevoegen van een zelfstandige (verlengde)droogloop/luifel langs de gevel van het gebouw van de Rabobank op 3m hoogte, 6,5m breed en 65m lang wordt het lokale windklimaat sterk verbeterd ten opzichte van het windklimaat in configuratie 1.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, nabij het gebouw van de Rabobank bedraagt na toevoeging van de droogloop gemiddeld 16,2% tegenover 20,7% in configuratie 1. De maximum waarde bedraagt 26% tegenover 28% in configuratie 1.

Het gemiddelde windklimaat verbetert hiermee lokaal tot matig als doorloop gebied. Het bepaalde maximale percentage blijft hiermee slecht voor een doorloop gebied.

Na verlenging van de droogloop neemt het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, nabij het gebouw van de Rabobank verder af tot gemiddeld 14,5%. De maximum waarde bedraagt 23% tegenover 26% in configuratie 10. Het gemiddelde windklimaat blijft hiermee matig als doorloop gebied en het bepaalde maximale percentage blijft hiermee slecht voor een doorloop gebied.

Door de toevoeging van de droogloop wordt het windklimaat beter vergelijkbaar met het windklimaat in de situatie van het bestaande Knoopkazerne complex, inclusief de gebouwen van fase 1 (zoals onderzocht in de voorgaande windtunnelonderzoek [1]). In de situatie van de Knoopkazerne met fase 1, bedraagt het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, nabij het gebouw van de Rabobank gemiddeld 16%, tegenover 14,5% in configuratie 11. De maximum waarde bedraagt 20% tegenover 23% in configuratie 11 (gegevens afkomstig uit [1]). In beide gevallen is het gemiddelde windklimaat matig als doorloop gebied en is het bepaalde maximale percentage in configuratie 11 slecht voor een doorloop gebied en matig in de situatie van het bestaande Knoopkazerne complex, inclusief de gebouwen van fase 1.

Gezien de uitkomsten van de configuratie met een zelfstandige (verlengde) droogloop lijkt het verder verlengen van deze droogloop niet de juiste oplossingsrichting voor het verder verbeteren van het lokale windklimaat. Uit de achterliggende ruwe data blijkt een flinke bijdrage van de wind uit het noord-noordoosten en het westen, mogelijk moet de oplossing meer gezocht worden in het aanbrengen van obstakels in het verticale vlak (bijvoorbeeld schermen en/of begroeiing in de vorm van bomen eventueel in combinatie met een (zelfstandige) droogloop).

Om een goed beeld te krijgen van het effect van de voorgestelde oplossingsrichtingen, wordt aanbevolen een aanvullend windtunnelonderzoek uit te voeren. Als gevolg van de sluiting van de TNO windtunnel te Apeldoorn, in het tweede kwartaal van 2014, kan een dergelijk aanvullend windtunnelonderzoek helaas niet meer in dezelfde windtunnel worden uitgevoerd. De gemeente Utrecht is hierdoor helaas genoodzaakt de diensten van een andere windtunnel in te huren.

Overige onderzochte configuraties

Naast de configuraties, specifiek gericht op het windklimaat van aandachtsgebieden, zijn een tweetal configuraties doorgemeten om het effect op het lokale windklimaat ter hoogte van de 3 geïdentificeerde aandachtsgebieden in beeld te brengen.

Het betreft hierbij het verlengen van de begroeiing langs de Croeselaan en het verwijderen van het geprojecteerde hoofdkantoor van Holland Casino en het Amrâth hotel aan de westzijde van het Knoopkazernecomplex.

Door het verlengen van de begroeiing langs de Croeselaan blijven de resultaten (maximale percentages en gemiddelde percentages) ter hoogte van de 3 aandachtsgebieden vergelijkbaar met de resultaten van configuratie 1.

Door het verwijderen van het geprojecteerde hoofdkantoor van Holland Casino en het Amrâth hotel aan de westzijde van het Knoopkazernecomplex, blijven de resultaten (maximale percentages en gemiddelde percentages) ter hoogte van de 3 aandachtsgebieden in grote lijnen vergelijkbaar met de resultaten van configuratie 1. Uitzondering hierop is het lokale windklimaat op het verhoogde forum tussen de OV-terminal en de Rabobrug. Het gemiddelde windklimaat blijft goed voor doorlopen, maar wordt matig voor slenteren en de maximale waarde blijft matig voor een doorloop gebied, maar vormt een duidelijke verslechtering ten opzichte van de resultaten van configuratie 1.

De richtlijn voor windgevaar wordt in geen van de onderzochte configuraties overschreden. Bij enkele configuraties treedt een beperkt risico op windgevaar op, ter hoogte van maximaal 1 punt.

Notaties

β	windrichting
C_v	windsnelheidsverhouding
P	overschrijdingskans
$V_{dr,H}$	drempelsnelheid voor windhinder (windhinder grens)
$V_{dr,G}$	drempelsnelheid voor windgevaar (windgevaar grens)
V_{lok}	lokale gemiddelde windsnelheid op hoofdhoogte (1,75m)

Inhoudsopgave

	Samenvatting	3
1	Inleiding	11
2	Opzet van de metingen	13
2.1	Windtunnel en model.....	13
2.2	Omvang	13
2.3	Verwerking	14
3	Beoordeling windklimaat	15
4	Resultaten	17
4.1	Algemeen.....	17
4.2	Bespreking geprojecteerde situatie	18
4.3	Bespreking maatregelen ter hoogte van het gebied nabij de opgang van de Rabobrug	19
4.4	Bespreking maatregelen te hoogte van het Rabobank gebouw	22
4.5	Bespreking overige onderzochte configuraties	23
5	Conclusies en aanbevelingen	25
6	Referenties	29
7	Ondertekening	31
	Bijlage(n)	
A	Figuren	
B	Technisch inlegvel windtunnelonderzoek	

1 Inleiding

Het Knoopkazerne complex te Utrecht is een bestaand kantoorcomplex wat niet meer wordt gebruikt door Defensie. In januari 2012 heeft de Rijksgebouwendienst de grond en gebouwen overgenomen en is een duurzame transformatie gestart tot een Rijkskantoor voor verschillende Rijksdiensten.

Deze transformatie zal in verschillende fases plaatsvinden tot 2017, wanneer de verschillende rijksdiensten hun intrek zullen nemen.

In het kader van onderhavige studie is onderzocht op welke wijze het lokale windklimaat ter hoogte van 3 aandachtsgebieden verbeterd kan worden.

Bij een windhinder onderzoek wordt het windklimaat door middel van metingen aan een schaalmodel in de windtunnel in kaart gebracht. Door toetsing aan de windhindernorm NEN 8100 [2] wordt vervolgens inzicht verkregen in de gebieden waar windhinder (of windgevaar) verwacht kan worden. In de windtunnel kan vervolgens worden nagegaan welke maatregelen er genomen zouden kunnen worden om het windklimaat te verbeteren.

In dit rapport worden de resultaten van het onderzoek beschreven.

Hoofdstuk 2 beschrijft de opzet van de metingen. In hoofdstuk 3 wordt aangegeven hoe het windklimaat beoordeeld moet worden. De resultaten van het onderzoek worden gegeven en besproken in hoofdstuk 4. Het rapport wordt besloten met conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 5).

2 Opzet van de metingen

2.1 Windtunnel en model

Het onderzoek is uitgevoerd in de atmosferische grenslaagwindtunnel van TNO Apeldoorn, conform NEN 8100 [2].

Het voormalige kazernecomplex van de Knoopkazerne te Utrecht bevindt zich in het centrum van Utrecht en wordt voor alle windsectoren omgeven door (hoge) bebouwing, zie figuur 1. De eigenschappen van de aankomende wind zijn in de windtunnel gesimuleerd door een ruw voorland toe te passen bestaande uit grote blokken ($z_0=1\text{m}$ op ware grootte). Deze ruwheid komt overeen met de ruwheid van grote steden en is over de windroos gezien representatief voor het Knoopkazerne complex.

De details van de windtunnel van TNO-Apeldoorn alsmede de eigenschappen van de hierin gesimuleerde grenslaagstroming worden uitgebreid beschreven in het profielenboek van de windtunnel [3].

Voor dit aanvullende onderzoek is de reeds bestaande maquette van het Knoopkazerne complex (schaal 1:300) gebruikt. Als basis is configuratie 4 van het in 2013 uitgevoerde windtunnelonderzoek gehanteerd [1], zie afbeelding 2.

De maximale blokkering van de tunneldoorsnede door het model is circa 4,5%.

Figuur 2 (in bijlage A – figuren) laat de maquette zien in de atmosferische grenslaagwindtunnel van TNO te Apeldoorn.

2.2 Omvang

Bij het model zijn op 105 plaatsen de gemiddelde windsnelheden op hoofdhoogte (1,75m) gemeten. De ligging en nummering van de meetpunten wordt voor de 11 onderzochte configuraties gegeven in figuur 3. De meetpunten 54 tot en met 98 liggen verhoogd, evenals de meetpunten 102 t/m 105.

De windrichting is bij de metingen gevarieerd tussen 0° (= Noord) en 330° , in stappen van 30° .

In onderstaande tabel 2.1 is een overzicht is een omschrijving opgenomen van de onderzochte configuraties met de daarbij behorende omschrijving.

Tabel 2.1 Overzicht onderzochte configuraties.

Configuratie	Omschrijving
1	Fase 3a; het bestaande Knoopkazerne complex inclusief de gebouwen van fase 1, fase 2 (met uitbouw op gebouw 2a & 2b) en fase 3a (overstek van +6m), zie figuren 5a t/m 5e.
2	Configuratie 1, aangevuld met een verticaal scherm ter plaatse van de opgang naar de Rabobrug (7,5m hoog, 19,5m diep, doorgang 3m hoog en 10,5m breed), zie figuren 10a & 10b.

3	Configuratie 1, zonder ingang van de fietsenstalling, zie figuur 15.
4	Configuratie 1, aangevuld met een luifel boven de ingang fietsenstalling van 5,5m diep en 39m lang, zie figuur 20.
5	Configuratie 4, aangevuld met een borstwering/scherf van 2m hoogte, op het forum vanaf de fietsenstalling tot aan het Beatrixtheater, zie figuur 25.
6	Configuratie 5, aangevuld met een aansluitende luifel aan de spoor zijde van gebouw 2b, van 6m diep en 12m lang, zie figuur 30.
7	Configuratie 1, aangevuld met een setback op gebouw 2b (5m diep op 45m hoogte) en gebouw 3 (5m diep op 46,5m hoogte) aan de zijde van de Rabobrug en een borstwering/scherf van 2m hoogte, op het forum vanaf de fietsenstalling tot aan het Beatrixtheater, zie figuur 35.
8	Configuratie 1, aangevuld met doorlopende bomen op de Croeselaan en een borstwering/scherf van 2m hoogte, op het forum vanaf de fietsenstalling tot aan het Beatrixtheater, zie figuren 40a & 40b.
9	Configuratie 1, exclusief het geprojecteerde hoofdkantoor van Holland Casino en het Amrâth hotel en een borstwering/scherf van 2m hoogte, op het forum vanaf de fietsenstalling tot aan het Beatrixtheater, zie figuren 45a & 45b.
10	Configuratie 1, aangevuld met een droogloop langs de gevel van het Rabobank gebouw van 3m hoog, 6,5m breed en 65m lang en een borstwering/scherf van 2m hoogte, op het forum vanaf de fietsenstalling tot aan het Beatrixtheater, zie figuren 50a t/m 50c.
11	Configuratie 10, aangevuld met een verlengde droogloop langs de gevel van het Rabobank gebouw van 3m hoog en circa 110m lang, zie figuren 55a t/m 55c.

2.3 Verwerking

De windsnelheden op hoofdhoogte bij het model in de windtunnel zijn gemeten met behulp van thermistoren. Dit zijn met glas gecoate half geleider NTC weerstandjes, die via dunne glazen staafjes zijn aangebracht op 5,8 mm boven de windtunnelvloer, overeenkomend met een hoogte van 1,75m (hoofdhoogte) in werkelijkheid. De met thermistoren gemeten windsnelheden zijn te beschouwen als uurgemiddelden.

De verwerking van gemeten windsnelheden in de windtunnel naar overschrijdingskansen van drempelsnelheden voor windhinder en windgevaar is uitgevoerd conform NEN 8100 [2].

De in de windtunnel gemeten windsnelheden V_{lok} op een hoogte van 1,75m zijn omgerekend naar windsnelheidsverhoudingen C_v , door de windsnelheden V_{lok} te relateren aan de windsnelheid op 60m hoogte op locatie. Op deze hoogte is ter plaatse van het beschouwde gebouw met behulp van NPR 6097 [4] de lokale windstatistiek berekend, uitgaande van statistische windgegevens over de periode 1963-2002. Door combinatie van de gemeten windsnelheidsverhoudingen met de lokale windstatistiek op 60m hoogte is vervolgens berekend hoe vaak de drempelsnelheid voor windhinder (windhindergrens) van 5 m/s en de drempelsnelheid voor windgevaar (windgevaargrens) van 15 m/s gemiddeld per jaar wordt overschreden.

3 Beoordeling windklimaat

De beoordeling van het windklimaat vindt plaats volgens NEN 8100 [2]. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen windhinder en windgevaar. Bij windgevaar kunnen de lokale windsnelheden in vlagen zo hoog worden dat mensen omver geblazen kunnen worden.

Er is sprake van windhinder als lokaal op loop- of verblijfsniveau de drempelsnelheid voor windhinder (windhindergrens) te vaak wordt overschreden. Als grenswaarde voor de drempelsnelheid voor windhinder ($V_{dr,H}$) wordt een uurgemiddelde windsnelheid van 5 m/s aangehouden. De overschrijdingskansen van deze drempelsnelheid zijn berekend conform paragraaf 2.3.

Bij de beoordeling van het lokale windklimaat wordt onderscheid gemaakt in 5 kwaliteitsklassen, voorgesteld door de letters A (het hoogste kwaliteitsniveau) tot E (het laagste kwaliteitsniveau). Binnen elk kwaliteitsniveau wordt onderscheid gemaakt tussen de activiteiten “doorlopen”, “slenteren” en “langdurig zitten”.

Afhankelijk van de kwaliteitsklasse en de in een gebied te verwachten activiteiten wordt aangegeven of het lokale windklimaat als goed, matig of slecht beoordeeld wordt, zoals aangegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Eisen voor de beoordeling van het lokale windklimaat op windhinder.

Overschrijdingskans $P(V_{lok} > V_{dr,H})$ in procenten van het aantal uren per jaar	Kwaliteitsklasse	Activiteiten		
		I. Doorlopen	II. Slenteren	III. Langdurig zitten
< 2,5	A	Goed	Goed	Goed
2,5 – 5,0	B	Goed	Goed	Matig
5 – 10	C	Goed	Matig	Slecht
10 – 20	D	Matig	Slecht	Slecht
> 20	E	Slecht	Slecht	Slecht

In dit rapport wordt ervan uitgegaan dat een slecht windklimaat vermeden dient te worden, ofwel het windklimaat dient beter te zijn dan kwaliteitsklasse C voor langdurig zitten, D voor slenteren (waaronder gebouwingangen en overdekte doorloop gebieden) en E voor doorlopen.

Er is sprake van windgevaar als lokaal op loop- of verblijfsniveau de drempelsnelheid voor windgevaar (windhindergrens) te vaak wordt overschreden. Als grenswaarde voor de drempelsnelheid voor windgevaar ($V_{dr,G}$) wordt een uurgemiddelde windsnelheid van 15 m/s aangehouden (stormachtige wind).

Ten aanzien van het beoordelen van windgevaar wordt de indeling zoals aangegeven in tabel 3.2 aangehouden.

Tabel 3.2 Eisen voor de beoordeling van het lokale windklimaat op windgevaar

Overschrijdingskans $P(V_{\text{lok}} > V_{\text{dr,G}})$ in procenten van het aantal uren per jaar	Kwalificatie
< 0,05	geen gevaar
0,05 – 0,3	beperkt risico
> 0,3	gevaarlijk

Situaties waarvoor een overschrijdingskans geldt van $0,05 < P < 0,30$ mogen alleen worden geaccepteerd als deze vallen binnen activiteit klasse I (doorlopen). Voor de activiteitenklassen II en III geldt de eis $P \leq 0,05$. Situaties met een overschrijdingskans van $P \geq 0,30$ zijn evident gevaarlijk en behoren te allen tijde te worden vermeden. Het publiek mag hier niet aan worden blootgesteld.

Voor plaatsen waar men voor kwetsbare groepen (bejaarden, minder validen en kleine kinderen) een verantwoorde situatie wil bereiken kunnen afwijkende eisen worden gehanteerd.

4 Resultaten

4.1 Algemeen

De resultaten van de metingen worden per onderzochte configuratie weergegeven in een set van vier figuren in bijlage A:

- een figuur met per meetpunt de jaargemiddelde kans (als getal) dat de windhinder grens van 5 m/s wordt overschreden.
- een figuur met een beoordeling van het windklimaat per meetpunten, in de vorm van gekleurde bolletjes, waarbij ook voor elk meetpunt de kwaliteitsklasse wordt gegeven. Het maakt een eenvoudige vergelijking van het windklimaat bij de diverse configuraties mogelijk.
- een figuur met per meetpunt de jaargemiddelde kans (als getal) dat de windgevaar grens van 15 m/s wordt overschreden.
- een figuur met de beoordeling van windgevaar per meetpunt, in de vorm van gekleurde bolletjes. Het maakt een eenvoudige vergelijking van de gebieden met windgevaar bij de diverse configuraties mogelijk.

Bij de beoordeling van het windklimaat is rekening gehouden met de in figuur 4 opgegeven te verwachten activiteiten in de meetpunten.

De tabellen met windsnelheidsverhoudingen C_v per windrichting en met overschrijdingsfrequenties van de windhinder grens en de windgevaar grens per windrichting zijn niet in dit rapport opgenomen, maar zijn indien gewenst voor de opdrachtgever beschikbaar.

In tabel 4.1 is voor de 3 aandachtsgebieden per configuratie aangegeven hoeveel procent van de tijd de windsnelheden hoger zijn dan 5,0 m/s, als gemiddelde van de beschouwde meetpunten en als maximale waarde van de beschouwde meetpunten. Het eerste aandachtsgebied betreft het gebied nabij de opgang van de Rabobrug, het tweede gebied betreft de directe nabijheid van het gebouw van de Rabobank en het derde gebied betreft het verhoogde forum tussen de OV-terminal en de Rabobrug.

Tabel 4.1 Het effect van de verschillende maatregelen op het windklimaat ter hoogte van de opgang naar de Rabobrug, het gebied nabij het Rabobank gebouw en het verhoogd forum de OV-terminal en de Rabobrug (percentage van de tijd met windsnelheden hoger dan 5 m/s).

Configuratie	Gebied opgang Rabobrug*		Nabij gebouw Rabobank**		Verhoogde forum tussen OV-terminal en Rabobrug***	
	Gem.	Max.	Gem.	Max.	Gem.	Max.
1	14,2	22	20,7	28	4,0	12
2	8,4	17	19,7	27	4,1	12
3	17,4	27	21,7	28	4,3	13
4	13,1	20	20,7	28	4,0	12
5	13,2	21	21,0	28	4,1	13
6	13,0	20	20,7	28	3,9	12
7	13,9	23	20,3	27	4,0	12
8	14,0	23	20,1	28	4,0	12
9	14,6	23	21,7	28	5,9	16
10	14,5	23	16,2	26	3,9	13
11	13,7	22	14,5	23	4,0	13

*) de gemiddelde en de maximale waarde van de meetpunten 15 t/m 20, 63, 64, 99, 102 en 103.

**) de gemiddelde en de maximale waarde van de meetpunten 14, 21 en 24.

***) de gemiddelde en de maximale waarde van de meetpunten 54 t/m 62, 104 en 105.

4.2 Bespreking geprojecteerde situatie

4.2.1 Configuratie 1 – geprojecteerde situatie.

Deze configuratie is gekozen als uitgangskonfiguratie voor deze aanvullende windtunneltesten en is gelijk aan configuratie 4 uit het voorgaande windtunnelonderzoek (fase 3a; het bestaande Knoopkazerne complex inclusief de gebouwen van fase 1, fase 2 (met uitbouw op gebouw 2a & 2b) en fase 3a (overstek van +6m)) [1].

Het eerste aandachtsgebied betreft het gebied nabij de opgang van de Rabobrug, het tweede gebied betreft de directe nabijheid van het gebouw van de Rabobank en het derde gebied betreft het verhoogde forum tussen de OV-terminal en de Rabobrug.

Ter hoogte van het gebied nabij de opgang van de Rabobrug bedraagt het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s maximaal 22%, met een gemiddelde van 14,2%.

Het gemiddelde windklimaat is hiermee matig voor doorlopen terwijl de maximale waarde met 22% slecht is voor een doorloop gebied.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s in de directe nabijheid van het gebouw van de Rabobank bedraagt maximaal 28%, met een gemiddelde waarde van 20,7%. Hiermee is het gemiddelde en het maximale windklimaat slecht voor doorlopen.

Ter hoogte van het verhoogde forum tussen de OV-terminal en de Rabobrug bedraagt het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s maximaal 12%, met een gemiddelde van 4,0%.

Het gemiddelde windklimaat is hiermee goed voor doorlopen (en voor slenteren), de maximale waarde met 14% is matig voor een doorloop gebied.

Zie voor een overzicht de figuren 5, 6, 7 en tabel 4.1.

De richtlijn voor windgevaar wordt in deze configuratie nergens overschreden, zie figuren 8 en 9. Wel bestaat er op 1 meetpunt, nabij het bestaande gebouw van de Rabobank, een beperkt risico op windgevaar.

Uit de resultaten blijkt dat er ter hoogte van het gebied nabij de opgang van de Rabobrug en het gebied direct nabij het gebouw van de Rabobank sprake is van een slecht windklimaat.

Het windklimaat ter plaatse van het verhoogde forum tussen de OV-terminal en de Rabobrug is gemiddeld genomen goed, met lokaal een uitschieter naar “matig”.

Aangezien er in het kader van deze rapportage (H3) naar wordt gestreefd om een “slecht” windklimaat te vermijden, wordt hierna alleen ingezoomd op maatregelen om het windklimaat nabij de opgang naar de Rabobrug en het gebied direct nabij het gebouw van de Rabobank te verbeteren.

4.3 Bespreking maatregelen ter hoogte van het gebied nabij de opgang van de Rabobrug

4.3.1 Configuratie 2 (configuratie 1 aangevuld met een verticaal scherm ter plaatse van de opgang naar de Rabobrug).

Door het toevoegen van een gebouw gebonden verticaal scherm (7,5m hoog, 19,5m diep uit de gevel met een voetgangersdoorgang van 3m hoog en 10,5m breed) ter plaatse van de opgang naar de Rabobrug wordt het lokale windklimaat sterk verbeterd.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, ter hoogte van de opgang naar de Rabobrug bedraagt na de ingreep gemiddeld 8,4% tegenover 14,2% in configuratie 1. De maximum waarde bedraagt 17% tegenover 22% in configuratie 1.

Het gemiddelde windklimaat verbetert hiermee lokaal tot goed als doorloop gebied. Het bepaalde maximale percentage verbetert hiermee tot matig voor een doorloop gebied.

Zie voor een overzicht de figuren 10, 11 en 12 en tabel 4.1.

De richtlijn voor windgevaar wordt in deze configuratie nergens overschreden, zie figuren 13 en 14. Door deze maatregel wordt het aantal meetpunten met een beperkt risico op windgevaar gereduceerd tot 0.

4.3.2 Configuratie 3 (configuratie 1, exclusief de ingang van de fietsstalling).

Door het verwijderen van de ingang van de fietsenstalling wordt het lokale windklimaat in de omgeving van de opgang naar de Rabobrug negatief beïnvloed.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, ter hoogte van de opgang naar de Rabobrug bedraagt na de ingreep gemiddeld 17,4% tegenover 14,2% in configuratie 1. De maximum waarde bedraagt 27% tegenover 22% in configuratie 1.

Het gemiddelde windklimaat verslechtert hiermee alleen maar.

Zie voor een overzicht de figuren 15, 16 en 17 en tabel 4.1.

De richtlijn voor windgevaar wordt in deze configuratie nergens overschreden, zie figuren 18 en 19. Wel bestaat er op 1 meetpunt nabij het bestaande gebouw van de Rabobank een beperkt risico op windgevaar.

4.3.3 Configuratie 4 (configuratie 1 aangevuld met een gebouw gebonden luifel boven de ingang van de fietsenstalling).

Door het aanbrengen van een gebouw gebonden luifel van 5,5m diep en 39m lengte boven de ingang van de fietsenstalling in aanvulling op configuratie 1, verbetert het windklimaat op het lokale windklimaat.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, ter hoogte van de opgang naar de Rabobrug bedraagt na de ingreep gemiddeld 13,1% tegenover 14,2% in configuratie 1. De maximum waarde bedraagt 20% tegenover 22% in configuratie 1.

Het gemiddelde windklimaat blijft hiermee matig voor een doorloop gebied, maar het bepaalde maximale percentage verbetert hiermee tot matig voor een doorloop gebied, tegenover slecht in configuratie 1.

Zie voor een overzicht de figuren 20, 21 en 22 en tabel 4.1.

De richtlijn voor windgevaar wordt in deze configuratie nergens overschreden, zie figuren 23 en 24. Wel bestaat er op 1 meetpunt nabij het bestaande gebouw van de Rabobank een beperkt risico op windgevaar.

4.3.4 Configuratie 5 (configuratie 4 aangevuld met een borstwering van 2m hoogte op het verhoogde forum).

Door het toevoegen van een borstwering van 2m hoogte op het verhoogde forum, tussen het Beatrixtheater en de fietsstalling, in aanvulling op configuratie 4, is er een minimale verslechtering meetbaar van het lokale windklimaat nabij de opgang van de Rabobrug.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, ter hoogte van de opgang naar de Rabobrug bedraagt na de ingreep gemiddeld 13,2% en is hiermee vergelijkbaar met het gemiddelde percentage in configuratie 4. De maximum waarde bedraagt 21% tegenover 20% in configuratie 4.

Het gemiddelde windklimaat blijft hiermee matig voor een doorloop gebied en het bepaalde maximale percentage verslechtert hiermee tot slecht voor een doorloop gebied, in vergelijking tot configuratie 4.

Zie voor een overzicht de figuren 25, 26 en 27 en tabel 4.1.

Door deze maatregel wordt de richtlijn voor windgevaar niet overschreden, maar is er ter hoogte van het Rabobank gebouw één meetpunt met een beperkt risico op windgevaar, zie figuren 28 en 29.

4.3.5 Configuratie 6 (configuratie 5 aangevuld met een aanvullende gebouw gebonden aan de spoorzijde).

Door het aanvullen van de gebouw gebonden luifel in configuratie 5 (6m diep en 12m lang aan de spoorzijde), is er een kleine verbetering meetbaar van het lokale windklimaat nabij de opgang van de Rabobrug.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, ter hoogte van de opgang naar de Rabobrug bedraagt na de ingreep gemiddeld 13,0% tegenover 13,2% in configuratie 5. De maximum waarde bedraagt 20% tegenover 21% in configuratie 5.

Het gemiddelde windklimaat blijft hiermee matig voor een doorloop gebied en het bepaalde maximale percentage verbetert hiermee tot matig voor een doorloop gebied, in vergelijking tot configuratie 5.

Hiermee lijkt configuratie 6 het meest op configuratie 4.

Zie voor een overzicht de figuren 30, 31 en 32 en tabel 4.1.

De richtlijn voor windgevaar wordt in deze configuratie nergens overschreden, zie figuren 33 en 34. Door deze maatregel wordt het aantal meetpunten met een beperkt risico op windgevaar gereduceerd tot 0.

4.3.6 Configuratie 7 (configuratie 1 aangevuld met een setback op gebouw 2b en 3, aangevuld met een borstwering van 2m hoogte op het verhoogde forum).

Door het aanbrengen van een setback op gebouw 2b (5m diep op 45m hoogte) en een setback op gebouw 3 (5m diep op 46,5m hoogte) aan de zijde van de Rabobrug in combinatie met een gesloten borstwering van 2m hoog op het verhoogde forum verbetert het lokale windklimaat nabij de opgang van de Rabobrug ten opzichte van configuratie 1.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, ter hoogte van de opgang naar de Rabobrug bedraagt na de ingreep gemiddeld 13,9% tegenover 14,2% in configuratie 1. De maximum waarde verslechtert iets en bedraagt 23% tegenover 22% in configuratie 1.

Het gemiddelde windklimaat blijft hiermee matig voor een doorloop gebied en het bepaalde maximale percentage blijft hiermee eveneens slecht voor een doorloop gebied, in vergelijking tot configuratie 1.

Zie voor een overzicht de figuren 35, 36 en 37 en tabel 4.1.

Door deze maatregel wordt de richtlijn voor windgevaar niet overschreden, maar is er ter hoogte van het Rabobank gebouw één meetpunt met een beperkt risico op windgevaar, zie figuren 38 en 39.

4.4 Bespreking maatregelen te hoogte van het Rabobank gebouw

4.4.1 Configuratie 10 (configuratie 1 aangevuld met een droogloop langs de gevel van het Rabobank gebouw aangevuld met een borstwering van 2m hoogte op het verhoogde forum).

Door het toevoegen van een zelfstandige droogloop/luifel langs de gevel van het gebouw van de Rabobank op 3m hoogte, 6,5m breed en 65m lang wordt het lokale windklimaat sterk verbeterd ten opzichte van het windklimaat in configuratie 1.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, nabij het gebouw van de Rabobank bedraagt na toevoeging van de droogloop gemiddeld 16,2% tegenover 20,7% in configuratie 1. De maximum waarde bedraagt 26% tegenover 28% in configuratie 1.

Het gemiddelde windklimaat verbetert hiermee lokaal tot matig als doorloop gebied. Het bepaalde maximale percentage blijft hiermee slecht voor een doorloop gebied.

Zie voor een overzicht de figuren 50, 51 en 52 en tabel 4.1.

Door deze maatregel wordt de richtlijn voor windgevaar niet overschreden, maar is er ter hoogte van het Rabobank gebouw één meetpunt met een beperkt risico op windgevaar, zie figuren 53 en 54.

4.4.2 Configuratie 11 (configuratie 10 aangevuld met een verlengde droogloop langs de gevel van het Rabobank gebouw aangevuld met een borstwering van 2m hoogte op het verhoogde forum).

Door het verlengen van de zelfstandige droogloop/luifel langs de gevel van het gebouw van de Rabobank op tot circa 110m lengte wordt het lokale windklimaat verder verbeterd ten opzichte van het windklimaat in configuratie 10.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, nabij het gebouw van de Rabobank bedraagt na het verlengen van de droogloop gemiddeld 14,5% tegenover 16,2% in configuratie 10. De maximum waarde bedraagt 23% tegenover 26% in configuratie 10.

Het gemiddelde windklimaat blijft hiermee matig als doorloop gebied en het bepaalde maximale percentage blijft hiermee slecht voor een doorloop gebied.

Zie voor een overzicht de figuren 55, 56 en 57 en tabel 4.1.

De richtlijn voor windgevaar wordt in deze configuratie nergens overschreden, zie figuren 58 en 59. Door deze maatregel wordt het aantal meetpunten met een beperkt risico op windgevaar gereduceerd tot 0.

In vergelijking met de uitgangssituatie (configuratie 1) kan hier nog aan toegevoegd worden dat het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, nabij het gebouw van de Rabobank afneemt tot gemiddeld 14,5% tegenover 20,7% in configuratie 1. De maximum waarde bedraagt 23% tegenover 28% in configuratie 1. Het gemiddelde windklimaat verbetert hiermee van slecht naar matig als doorloop gebied. Het bepaalde maximale percentage blijft hiermee slecht voor een doorloop gebied.

4.5 Bespreking overige onderzochte configuraties

Naast de reeds vermelde configuraties, zijn nog een tweetal configuraties doorgemeten om het effect van op het lokale windklimaat ter hoogte van de 3 geïdentificeerde aandachtsgebieden in beeld te brengen.

4.5.1 Configuratie 8 (configuratie 1 aangevuld met doorlopende bomen op de Croeselaan, inclusief een borstwering van 2m hoogte op het verhoogde forum).

Door het verlengen van de begroeiing langs de Croeselaan tot een aaneen gesloten doorlopende rij bomen langs de Croeselaan, verandert het lokale windklimaat ter hoogte van de 3 aandachtsgebieden niet tot nauwelijks.

Ter hoogte van het gebied nabij de opgang van de Rabobrug bedraagt het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s maximaal 23%, met een gemiddelde van 14,0%.

Het gemiddelde windklimaat is hiermee matig voor doorlopen terwijl de maximale waarde met 22% slecht is voor een doorloop gebied. De resultaten zijn hiermee vergelijkbaar met de resultaten van configuratie 1.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s in de directe nabijheid van het gebouw van de Rabobank bedraagt maximaal 28%, met een gemiddelde waarde van 20,1%. Hiermee is het gemiddelde en het maximale windklimaat slecht voor doorlopen en eveneens vergelijkbaar met de resultaten van configuratie 1.

Ter hoogte van het verhoogde forum tussen de OV-terminal en de Rabobrug bedraagt het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s maximaal 12%, met een gemiddelde van 4,0%.

Het gemiddelde windklimaat is hiermee goed voor doorlopen (en voor slenteren), de maximale waarde met 14% is matig voor een doorloop gebied. De resultaten zijn hiermee identiek aan de resultaten van configuratie 1.

Zie voor een overzicht de figuren 40, 41 en 42 en tabel 4.1.

De richtlijn voor windgevaar wordt in deze configuratie nergens overschreden, zie figuren 43 en 44. Door deze maatregel wordt het aantal meetpunten met een beperkt risico op windgevaar gereduceerd tot 0.

4.5.2 Configuratie 9 (configuratie 1, exclusief het geprojecteerde hoofdkantoor van Holland Casino en het Amrâth hotel, inclusief een borstwering van 2m hoogte op het verhoogde forum).

Door het verwijderen van het geprojecteerde hoofdkantoor van Holland Casino en het Amrâth hotel aan de westzijde van het Knoopkazernecomplex verslechterd het lokale windklimaat ter hoogte van de 3 aandachtsgebieden minimaal.

Ter hoogte van het gebied nabij de opgang van de Rabobrug bedraagt het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s maximaal 23%, met een gemiddelde van 14,6%.

Het gemiddelde windklimaat is hiermee matig voor doorlopen terwijl de maximale waarde met 22% slecht is voor een doorloop gebied. De resultaten zijn hiermee vergelijkbaar met de resultaten van configuratie 1.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s in de directe nabijheid van het gebouw van de Rabobank bedraagt maximaal 28%, met een gemiddelde waarde van 21,7%. Hiermee is het gemiddelde en het maximale windklimaat slecht voor doorlopen. De gemiddelde waarde wordt hierdoor slechter ten opzichte van de resultaten van configuratie 1.

Ter hoogte van het verhoogde forum tussen de OV-terminal en de Rabobrug bedraagt het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s maximaal 16%, met een gemiddelde van 5,9%.

Het gemiddelde windklimaat is hiermee goed voor doorlopen, de maximale waarde met 16% is matig voor een doorloop gebied. De resultaten vormen hiermee een duidelijke verslechtering ten opzichte van de resultaten van configuratie 1.

Zie voor een overzicht de figuren 45, 46 en 47 en tabel 4.1.

De richtlijn voor windgevaar wordt in deze configuratie nergens overschreden, zie figuren 48 en 49. Door deze maatregel wordt het aantal meetpunten met een beperkt risico op windgevaar gereduceerd tot 0.

5 Conclusies en aanbevelingen

In het kader van onderhavige rapportage is het effect van verschillende wind reducerende maatregelen ter hoogte van 3 aandachtsgebieden getest in de windtunnel van TNO.

Het betreft het gebied nabij de opgang van de Rabobrug, het gebied in de directe nabijheid van het gebouw van de Rabobank en het verhoogde forum tussen de OV-terminal en de Rabobrug.

Als uitgangskonfiguratie (configuratie 1) voor de aanvullende windtunneltesten is gekozen voor fase 3a uit het voorgaande windtunnelonderzoek (het bestaande Knoopkazerne complex inclusief de gebouwen van fase 1, fase 2 (met uitbouw op gebouw 2a & 2b) en fase 3a (overstek van +6m).

Uit de meetresultaten van de uitgangskonfiguratie blijkt dat het windklimaat ter plaatse van het verhoogde forum tussen de OV-terminal en de Rabobrug, gemiddeld genomen "goed" is voor een doorloop gebied (en slentergebied), met lokaal een uitschieter naar "matig".

Aangezien er in het kader van de rapportage (H3) naar wordt gestreefd een "slecht" windklimaat te vermijden, is ingezoomd op maatregelen om het windklimaat nabij de opgang naar de Rabobrug en het gebied direct nabij het gebouw van de Rabobank te verbeteren.

Effect maatregelen te hoogte van het gebied nabij de opgang van de Rabobrug

Door het aanbrengen van verschillende varianten van een gebouw gebonden luifel boven de ingang van de fietsenstalling (configuraties 3, 4 en 5) wordt het lokale windklimaat nabij de opgang van de Rabobrug verbeterd. Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, ter hoogte van de opgang naar de Rabobrug bedraagt na de ingreep gemiddeld ten minste 13,0% tegenover 14,2% in configuratie 1. De maximum waarde bedraagt 20% tegenover 22% in configuratie 1. Het gemiddelde windklimaat blijft hiermee matig voor een doorloop gebied, maar het bepaalde maximale percentage verbeterd hiermee tot matig voor een doorloop gebied, tegenover slecht in configuratie 1.

Voor een verdere verbetering van het lokale windklimaat lijkt een ingreep in de vorm van een verticaal obstakel (scherm) ter plaatse van de opgang naar de Rabobrug vereist, conform configuratie 2.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, ter hoogte van de opgang naar de Rabobrug bedraagt na de ingreep gemiddeld 8,4% tegenover 14,2% in configuratie 1. De maximum waarde bedraagt 17% tegenover 22% in configuratie 1.

Het gemiddelde windklimaat verbetert hiermee lokaal tot goed als doorloop gebied. Het bepaalde maximale percentage verbetert hiermee tot matig voor een doorloop gebied.

Effect maatregelen te hoogte van het Rabobank gebouw

Door het toevoegen van een zelfstandige (verlengde)droogloop/luifel langs de gevel van het gebouw van de Rabobank op 3m hoogte, 6,5m breed en 65m lang wordt het lokale windklimaat sterk verbeterd ten opzichte van het windklimaat in configuratie 1.

Het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, nabij het gebouw van de Rabobank bedraagt na toevoeging van de droogloop gemiddeld 16,2% tegenover 20,7% in configuratie 1. De maximum waarde bedraagt 26% tegenover 28% in configuratie 1.

Het gemiddelde windklimaat verbetert hiermee lokaal tot matig als doorloop gebied. Het bepaalde maximale percentage blijft hiermee slecht voor een doorloop gebied.

Na verlenging van de droogloop neemt het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, nabij het gebouw van de Rabobank verder af tot gemiddeld 14,5%. De maximum waarde bedraagt 23% tegenover 26% in configuratie 10. Het gemiddelde windklimaat blijft hiermee matig als doorloop gebied en het bepaalde maximale percentage blijft hiermee slecht voor een doorloop gebied.

Door de toevoeging van de droogloop wordt het windklimaat beter vergelijkbaar met het windklimaat in de situatie van het bestaande Knoopkazerne complex, inclusief de gebouwen van fase 1 (zoals onderzocht in de voorgaande windtunnelonderzoek [1]). In de situatie van de Knoopkazerne met fase 1, bedraagt het percentage van de tijd met windsnelheden boven de 5 m/s, nabij het gebouw van de Rabobank gemiddeld 16%, tegenover 14,5% in configuratie 11. De maximum waarde bedraagt 20% tegenover 23% in configuratie 11 (gegevens afkomstig uit [1]). In beide gevallen is het gemiddelde windklimaat matig als doorloop gebied en is het bepaalde maximale percentage in configuratie 11 slecht voor een doorloop gebied en matig in de situatie van het bestaande Knoopkazerne complex, inclusief de gebouwen van fase 1.

Gezien de uitkomsten van de configuratie met een zelfstandige (verlengde) droogloop lijkt het verder verlengen van deze droogloop niet de juiste oplossingsrichting voor het verder verbeteren van het lokale windklimaat. Uit de achterliggende ruwe data blijkt een flinke bijdrage van de wind uit het noord-noordoosten en het westen. Mogelijk moet de oplossing meer gezocht worden in het aanbrengen van obstakels in het verticale vlak (bijvoorbeeld schermen en/of begroeiing in de vorm van bomen eventueel in combinatie met een (zelfstandige) droogloop).

Om een goed beeld te krijgen van het effect van de voorgestelde oplossingsrichtingen, wordt aanbevolen een aanvullend windtunnelonderzoek uit te voeren. Als gevolg van de sluiting van de TNO windtunnel te Apeldoorn, in het tweede kwartaal van 2014, kan een dergelijk aanvullend windtunnelonderzoek helaas niet meer in dezelfde windtunnel worden uitgevoerd. De gemeente Utrecht is hierdoor helaas genoodzaakt de diensten van een andere windtunnel in te huren.

Overige onderzochte configuraties

Naast de configuraties, specifiek gericht op het windklimaat van aandachtsgebieden, zijn een tweetal configuraties doorgemeten om het effect op het lokale windklimaat ter hoogte van de 3 geïdentificeerde aandachtsgebieden in beeld te brengen.

Het betreft hierbij het verlengen van de begroeiing langs de Croeselaan en het verwijderen van het geprojecteerde hoofdkantoor van Holland Casino en het Amrâth hotel aan de westzijde van het Knoopkazernecomplex.

Door het verlengen van de begroeiing langs de Croeselaan blijven de resultaten (maximale percentages en gemiddelde percentages) ter hoogte van de 3 aandachtsgebieden vergelijkbaar met de resultaten van configuratie 1.

Door het verwijderen van het geprojecteerde hoofdkantoor van Holland Casino en het Amrâth hotel aan de westzijde van het Knoopkazernecomplex, blijven de resultaten (maximale percentages en gemiddelde percentages) ter hoogte van de 3 aandachtsgebieden in grote lijnen vergelijkbaar met de resultaten van configuratie 1. Uitzondering hierop is het lokale windklimaat op het verhoogde forum tussen de OV-terminal en de Rabobrug. Het gemiddelde windklimaat blijft goed voor doorlopen, maar wordt matig voor slenteren en de maximale waarde blijft matig voor een doorloop gebied, maar vormt een duidelijke verslechtering ten opzichte van de resultaten van configuratie 1.

De richtlijn voor windgevaar wordt in geen van de onderzochte configuraties overschreden. Bij enkele configuraties treedt een beperkt risico op windgevaar op, ter hoogte van maximaal 1 punt.

6 Referenties

- 1 Koch W.W.R.; Windtunnelonderzoek naar het windklimaat bij het Knoopkazerne complex te Utrecht; TNO; TNO 2013 R11224 versie B; Apeldoorn, 2013.
- 2 NEN 8100
Windhinder en windgevaar in de bebouwde omgeving. NEN Delft, februari 2006.
- 3 Profielenboek windtunnel.
TNO-MEP.
- 4 NPR 6097
Nederlandse Praktijkrichtlijn 6097: Toepassing van de statistiek van de uurgemiddelde windsnelheden voor Nederland. Februari 2006.

7 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:

Gemeente Utrecht
Projectorganisatie Stationsgebied
T.a.v. drs. R. Crusio
Postbus 8406
3505 RK Utrecht

Namen en functies van de projectmedewerkers:

W.W.R. Koch - projectleider
F.C. Balster - meetassistent

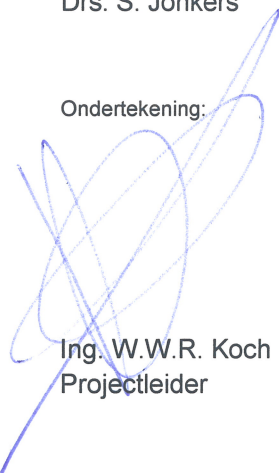
Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:
december 2013 – mei 2014

Naam en paraaf tweede lezer:



Drs. S. Jonkers

Ondertekening:



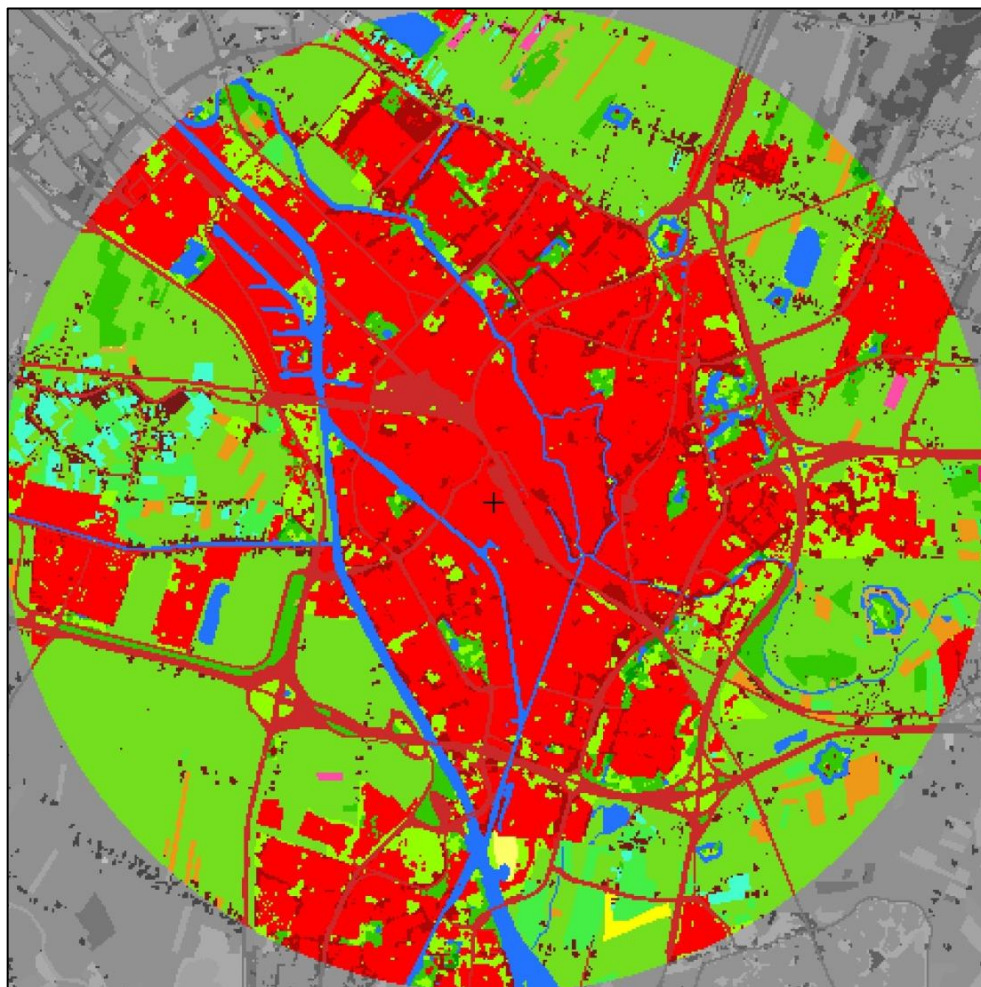
Ing. W.W.R. Koch
Projectleider

Autorisatie vrijgave:



Drs. H.C. Borst
Research Manager

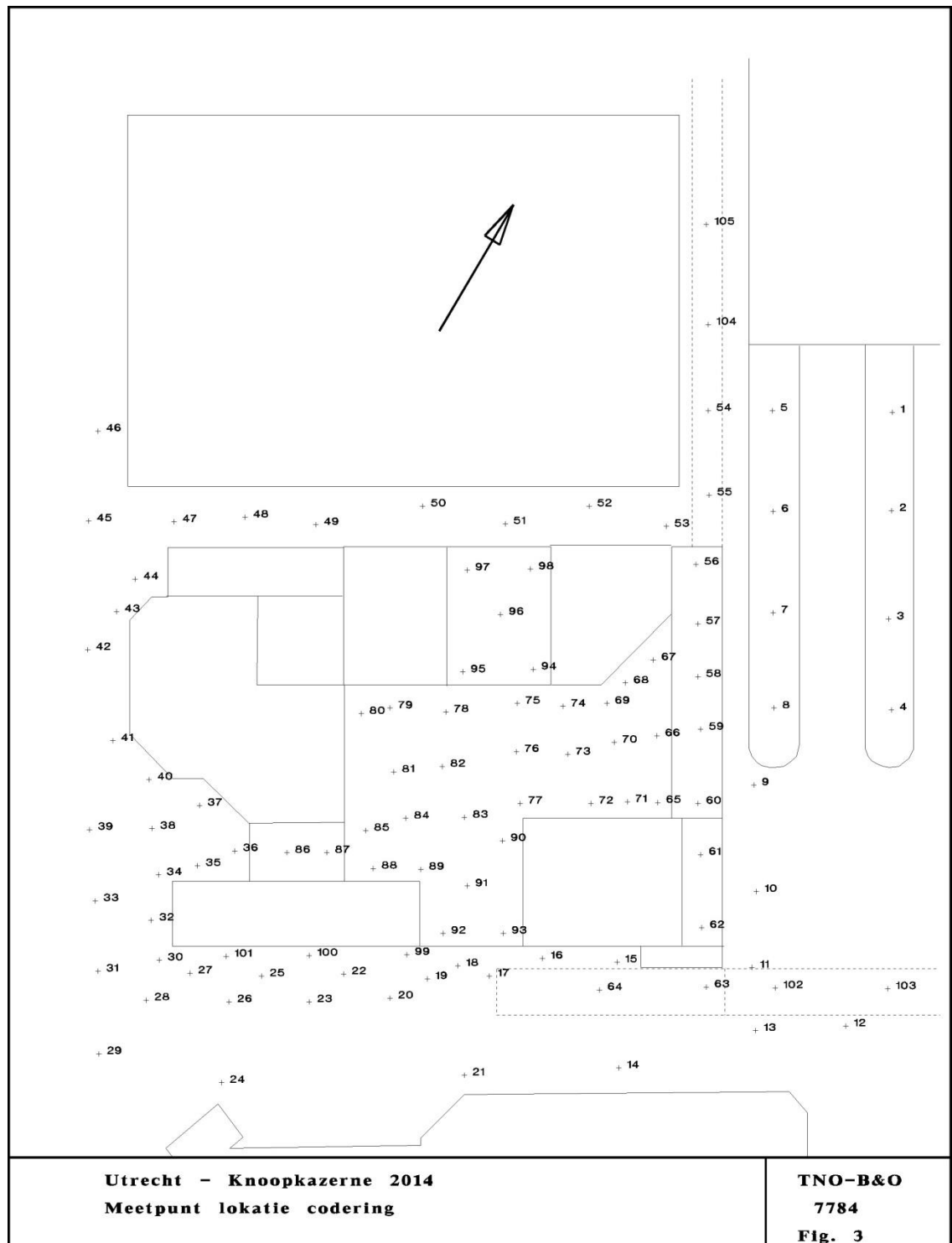
A Figuren



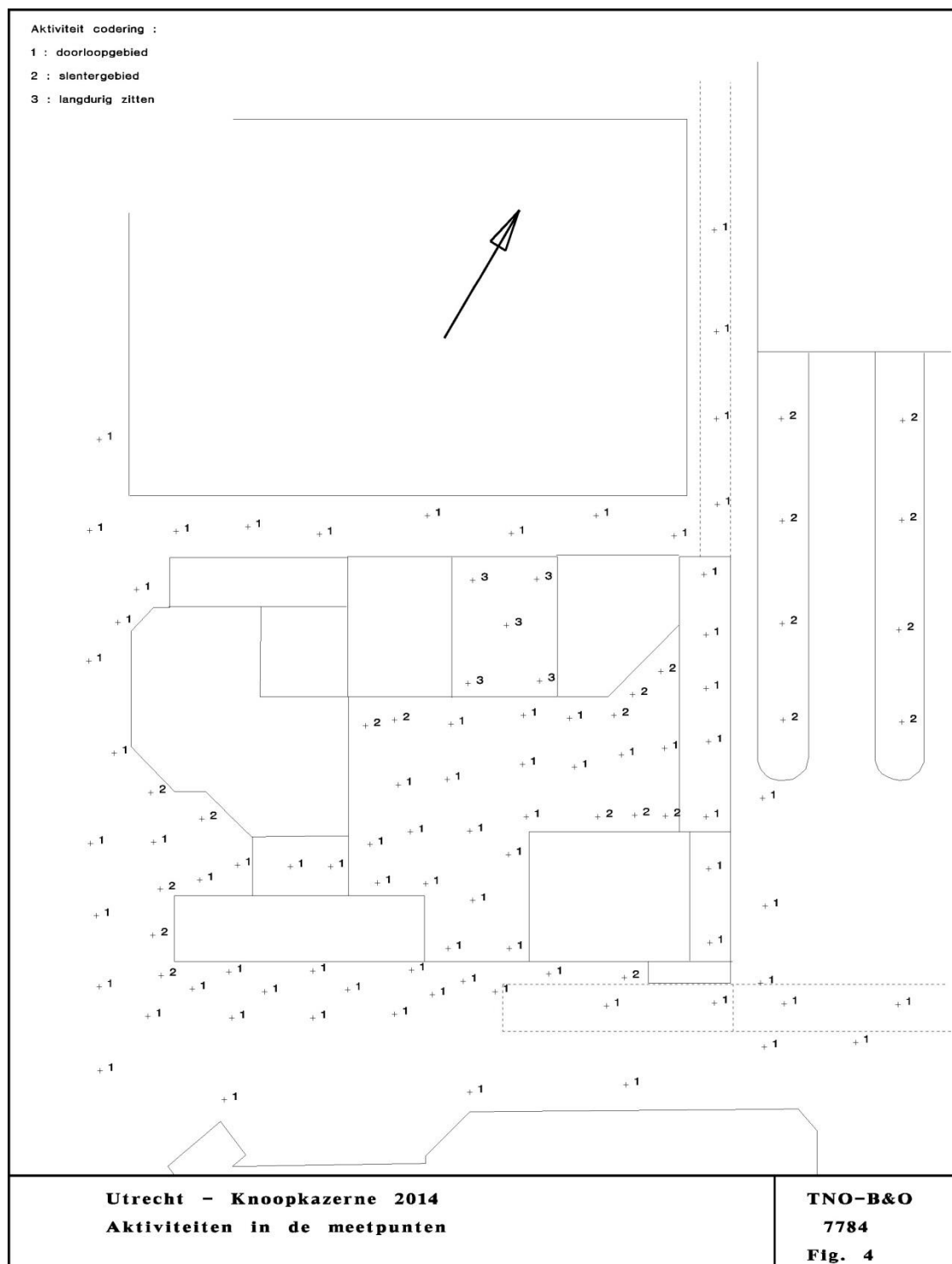
Figuur 1 Schematische ligging van het Knoopkazerne complex te Utrecht.



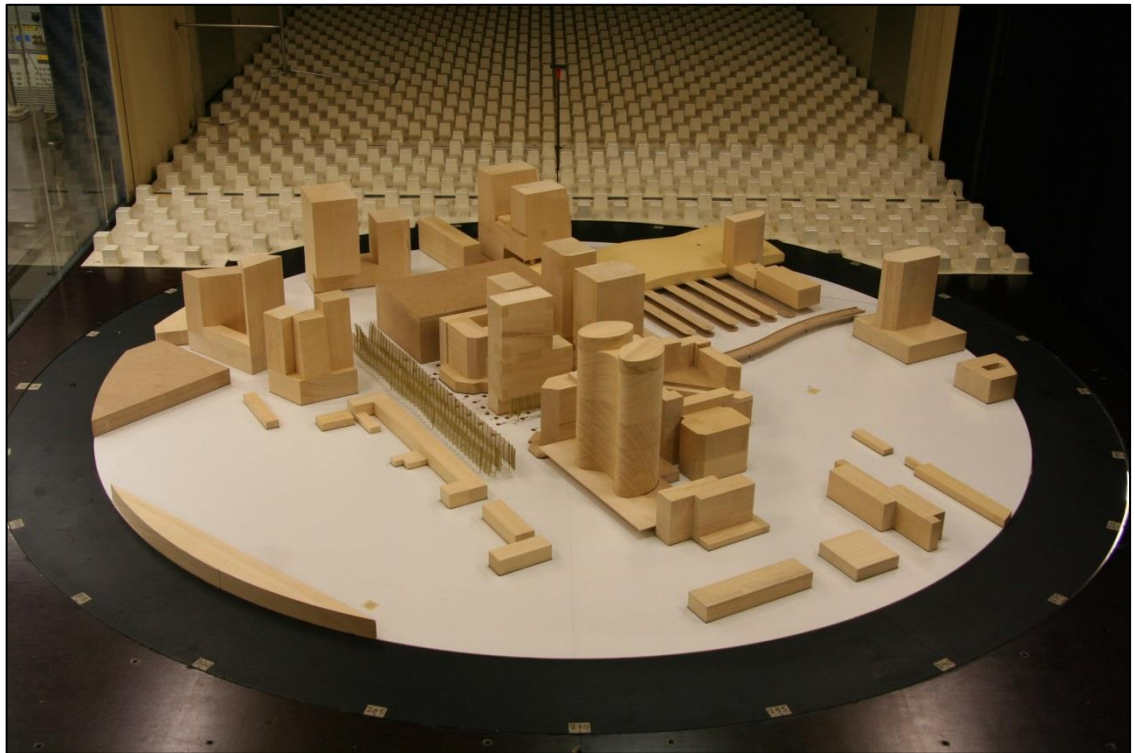
Figuur 2 Maquette van het Knoopkazerne complex te Utrecht, in de windtunnel van TNO te Apeldoorn (schaal 1:300).



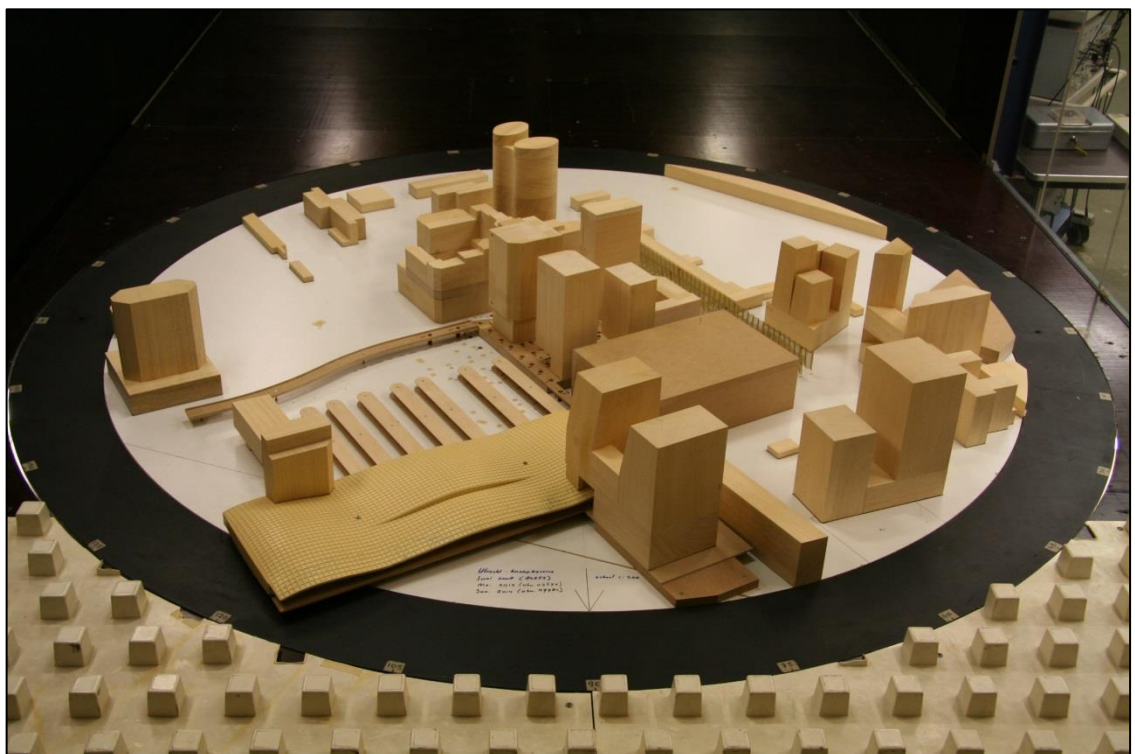
Figuur 3 Ligging en nummering van de meetpunten.



Figuur 4 Activiteiten in de meetpunten.



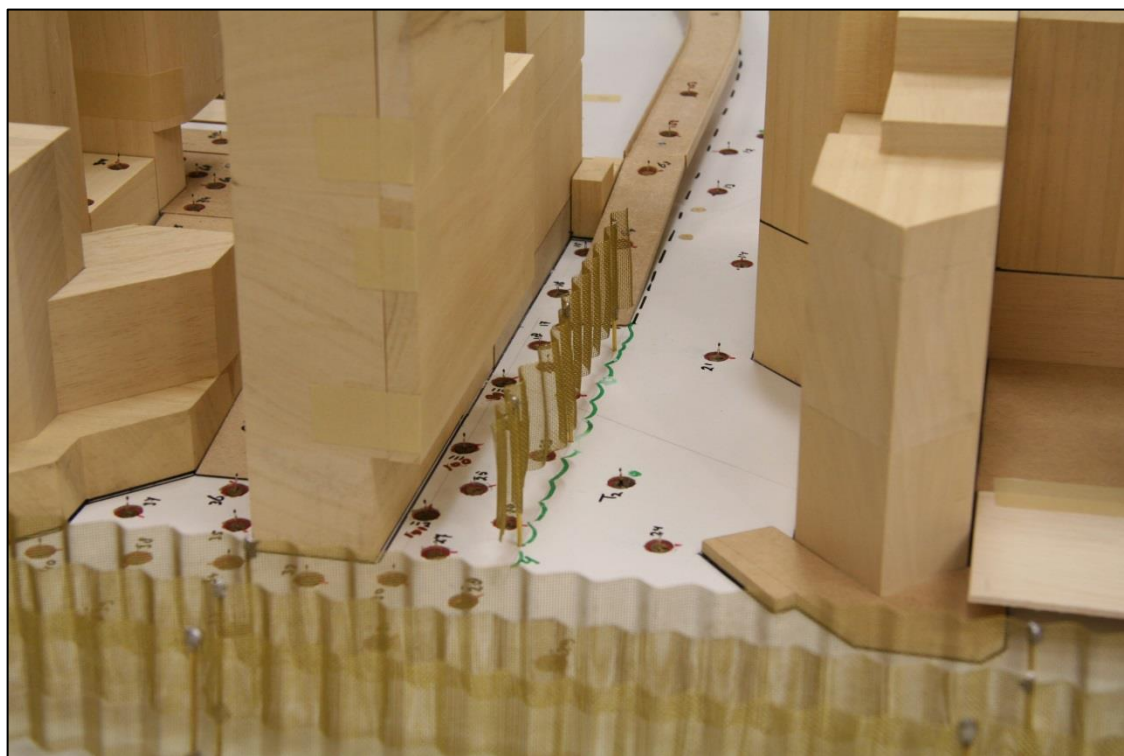
Figuur 5a Configuratie 1, gezien vanuit het zuiden.



Figuur 5b Configuratie 1, gezien vanuit het noorden.



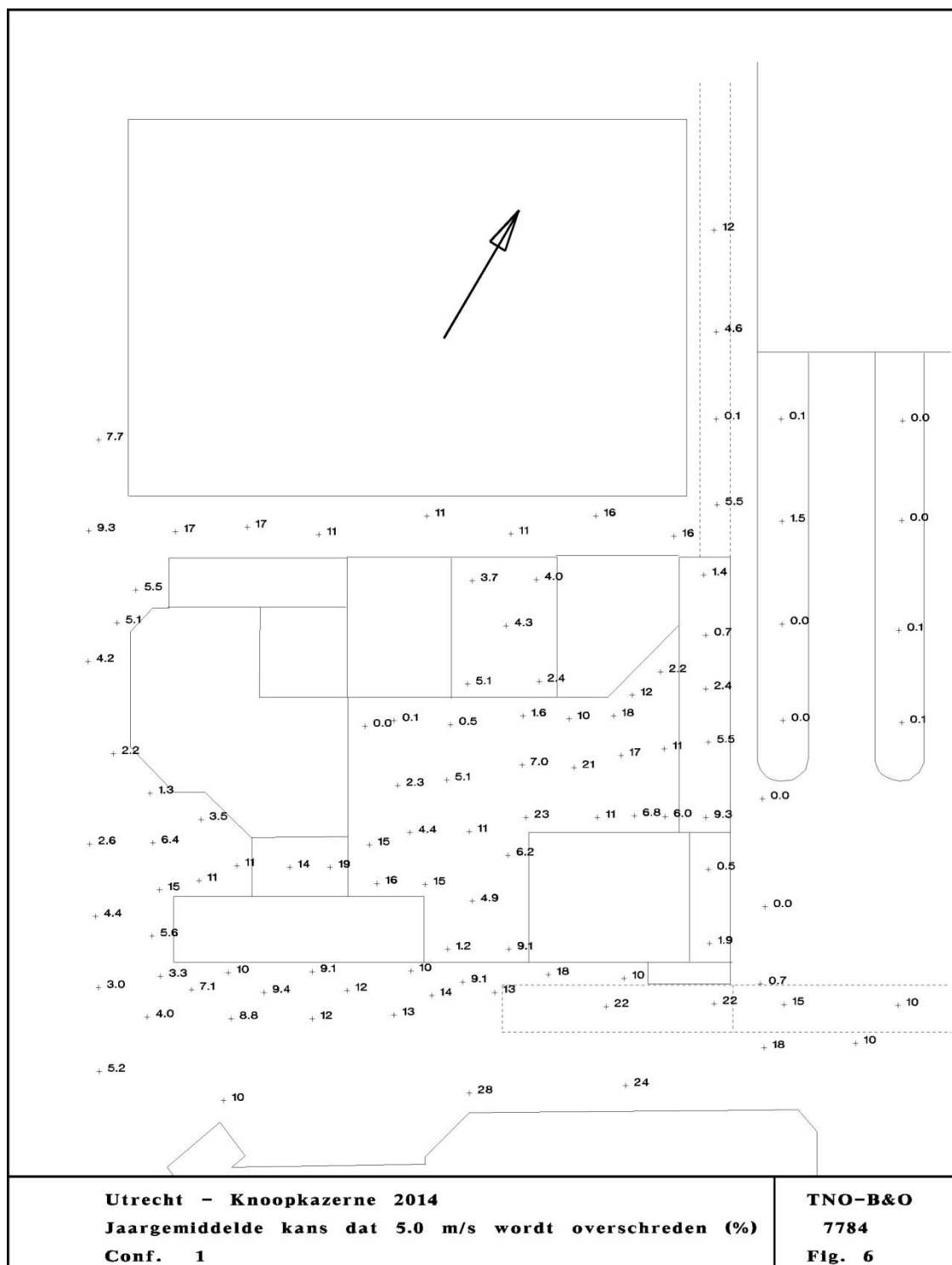
Figuur 5c Configuratie 1, detail gezien vanuit het noordoosten.



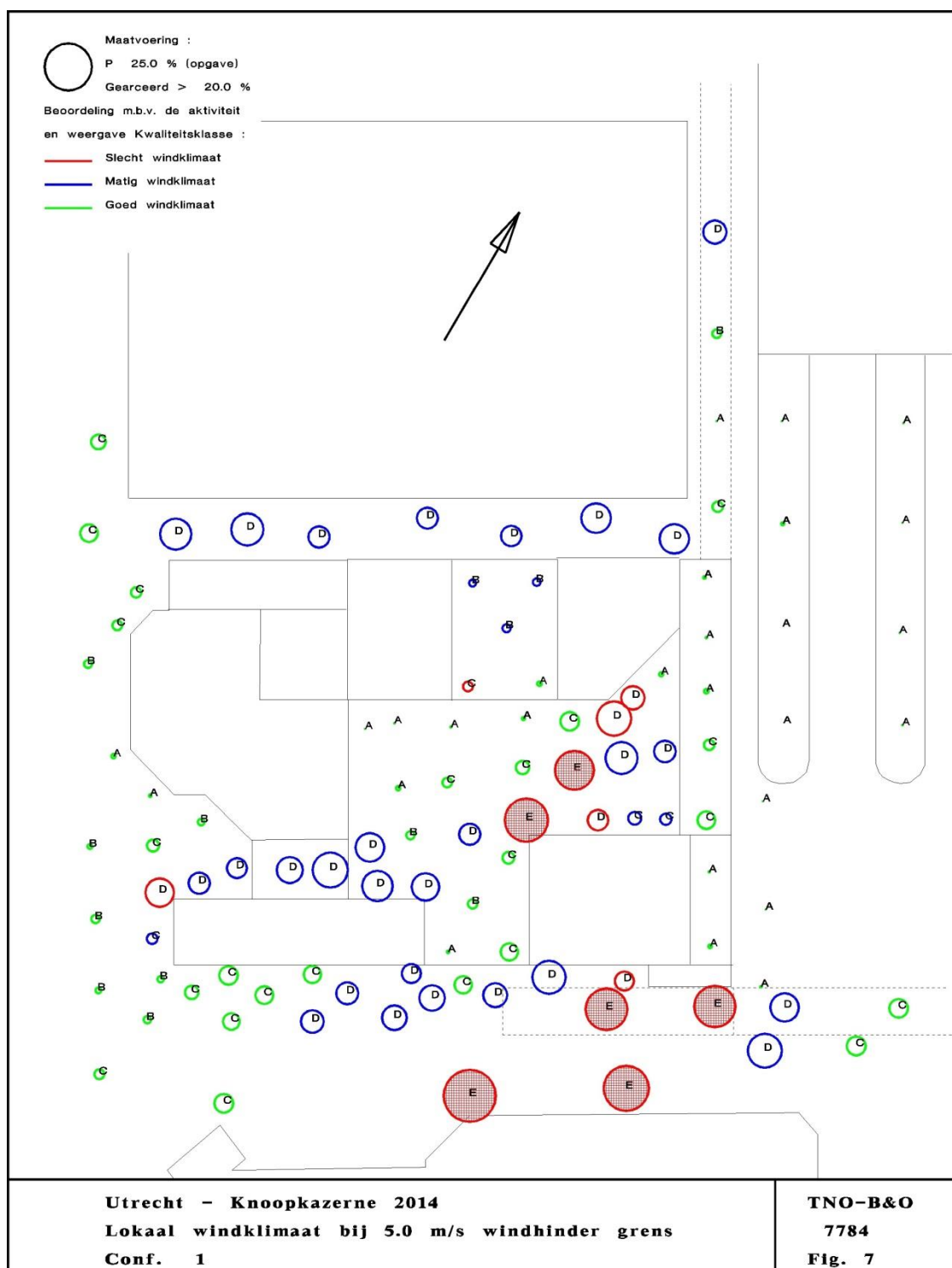
Figuur 5d Configuratie 1, detail gezien vanuit het zuidwesten.



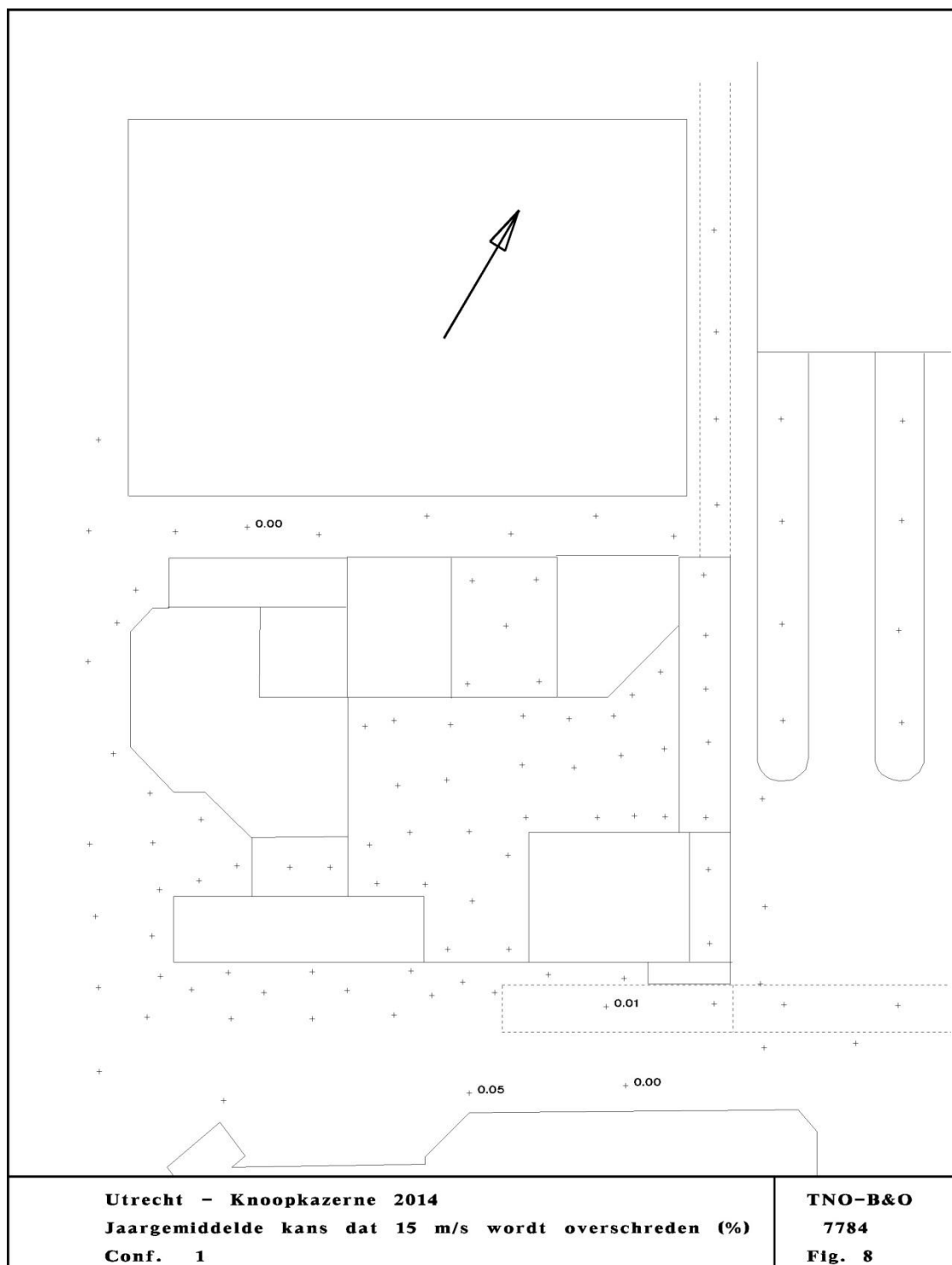
Figuur 5e Configuratie 1, detail van bovenaf.



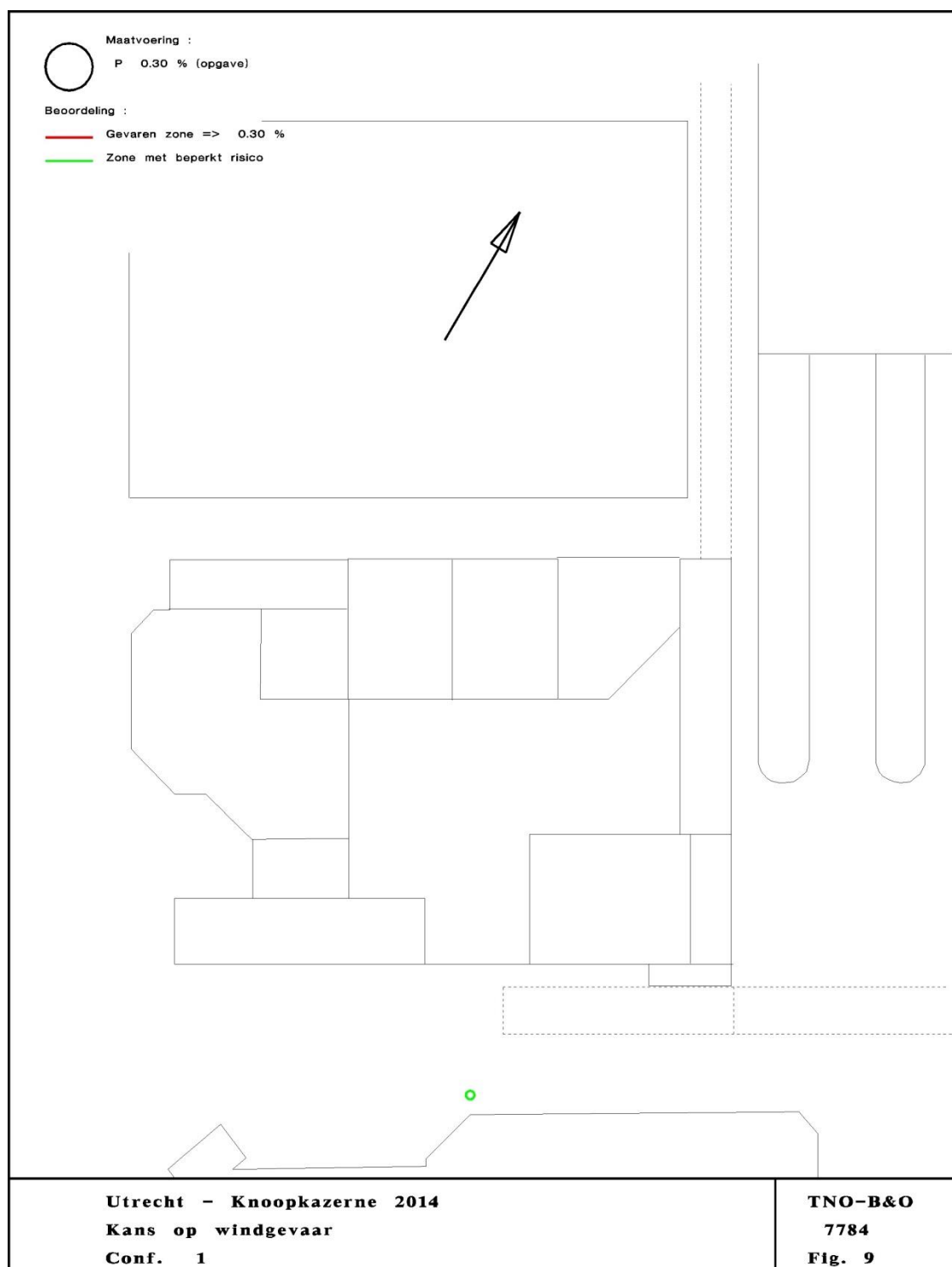
Figuur 6 Jaargemiddelde kans dat 5,0 m/s wordt overschreden configuratie 1.



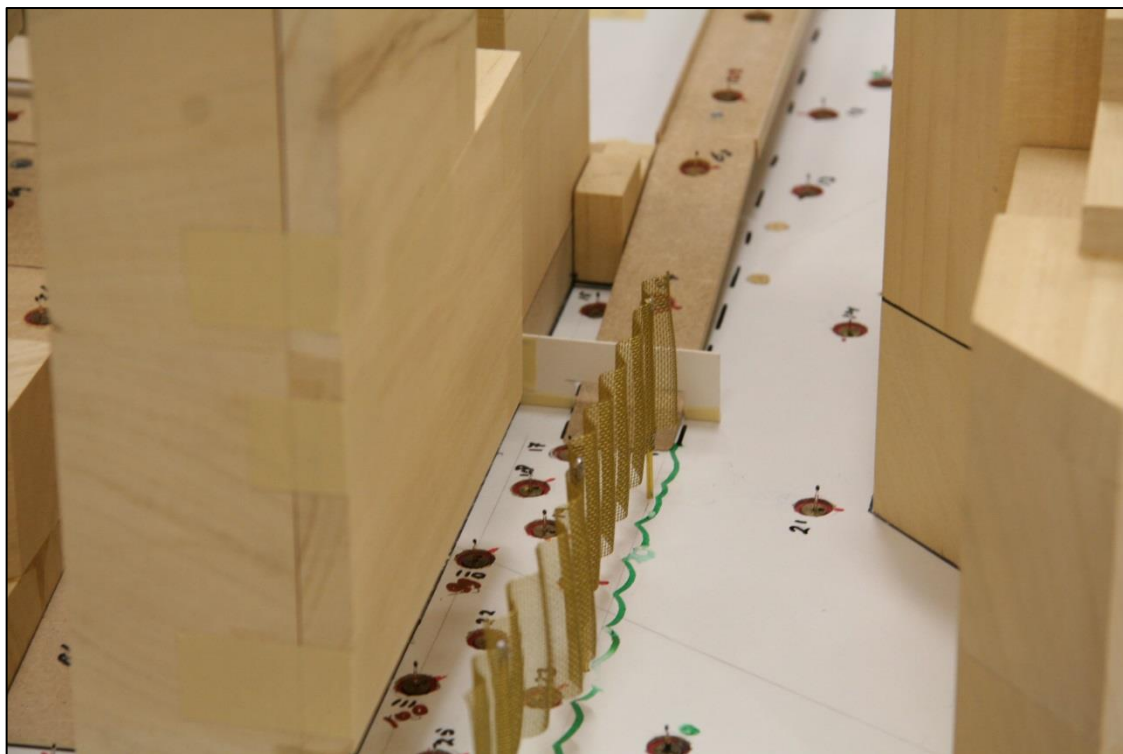
Figuur 7 Lokaal windklimaat bij 5,0 m/s in configuratie 1.



Figuur 8 Jaargemiddelde kans dat 15 m/s wordt overschreden in configuratie 1.



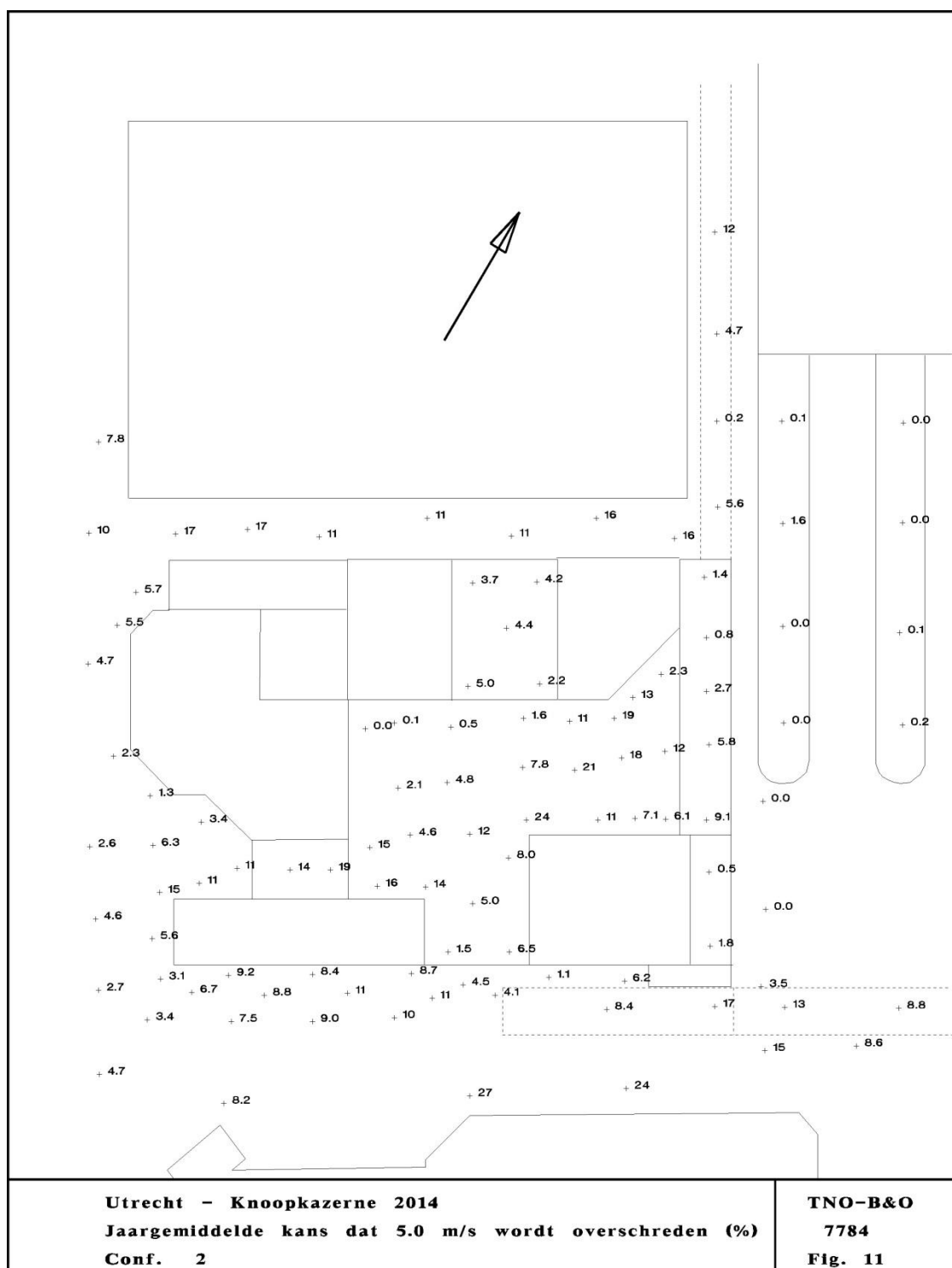
Figuur 9 Kans op windgevaar in configuratie 1.



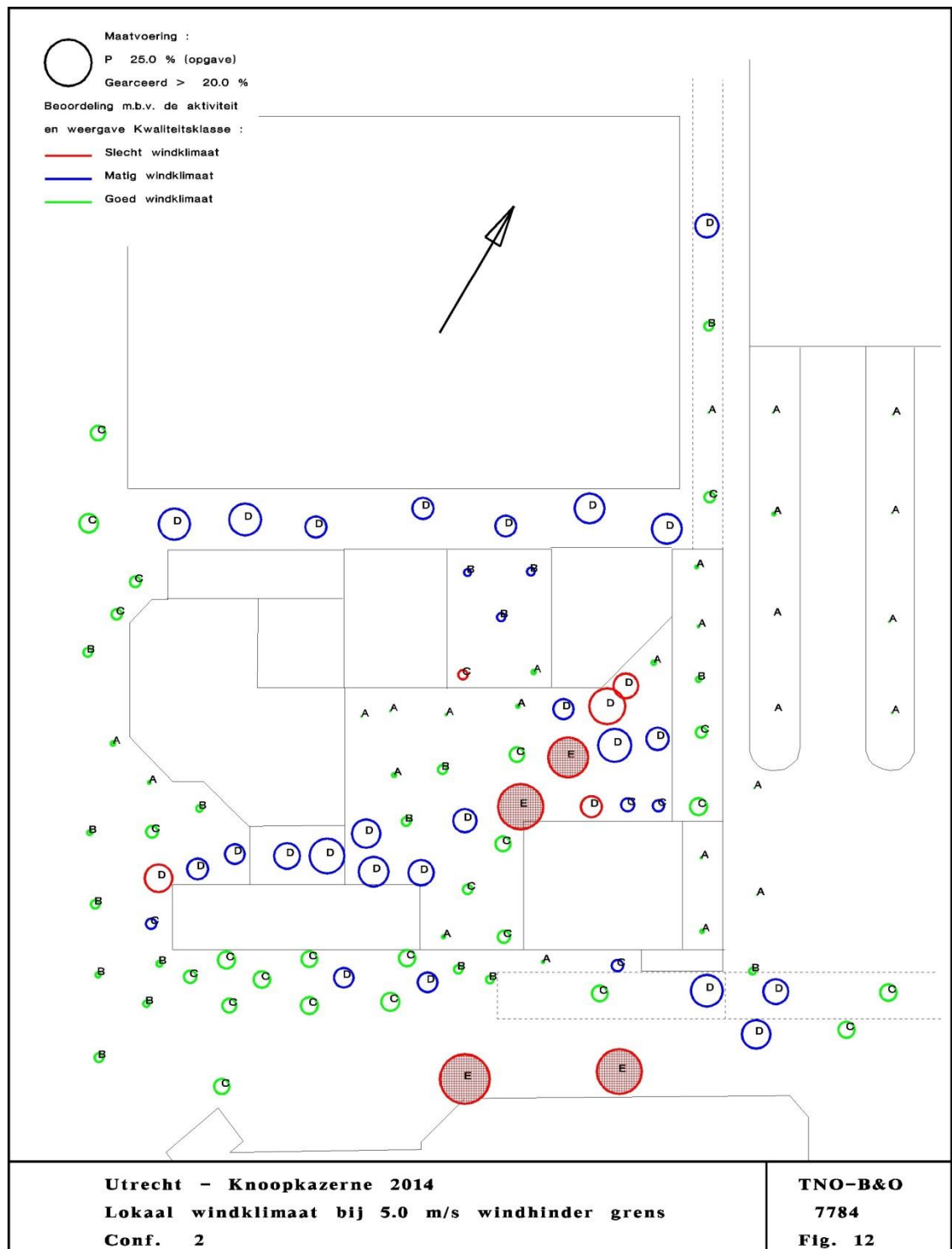
Figuur 10a Configuratie 2, detail gezien vanuit het zuidwesten.



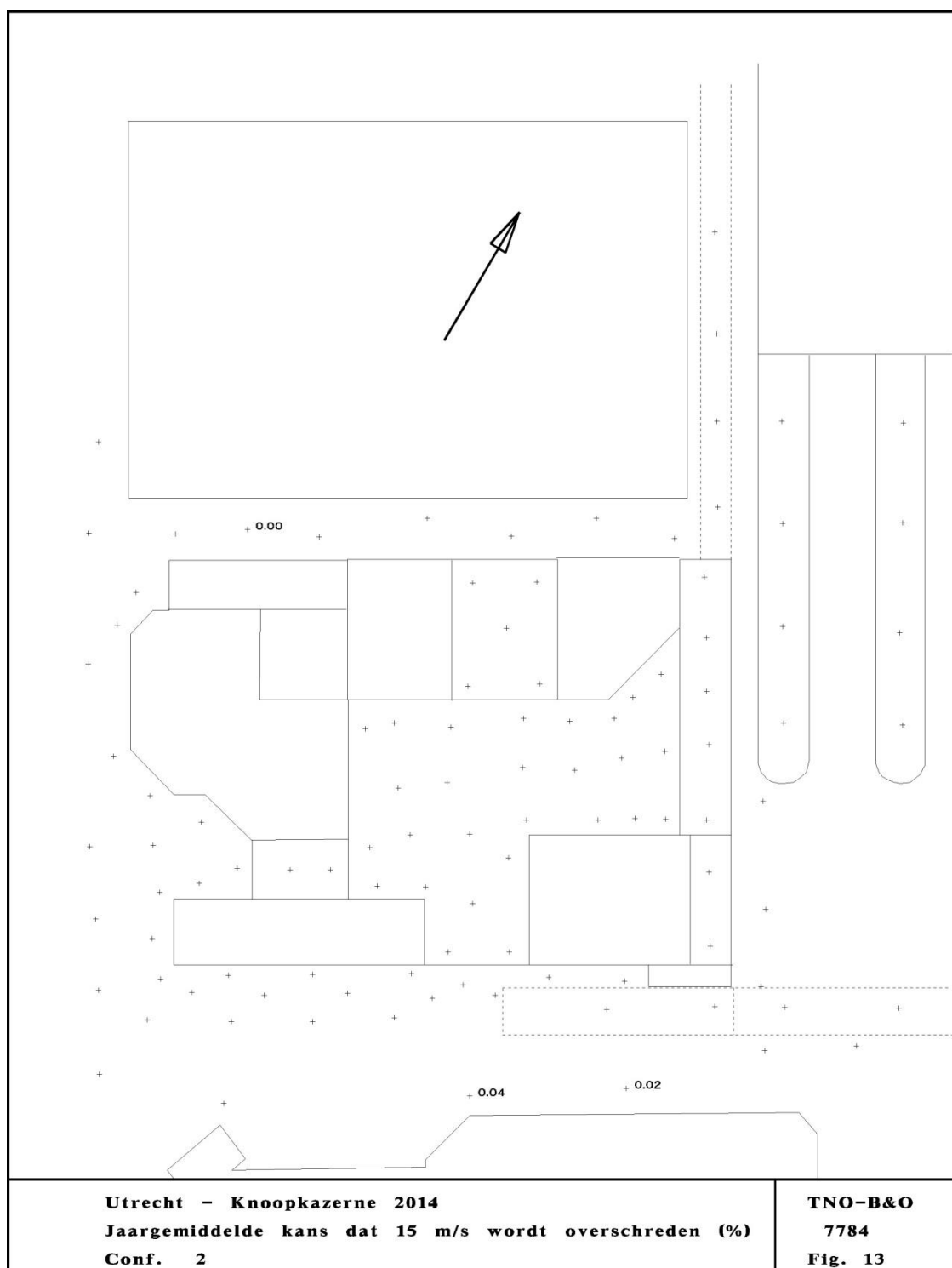
Figuur 10b Configuratie 2, detail gezien vanuit het noordoosten.



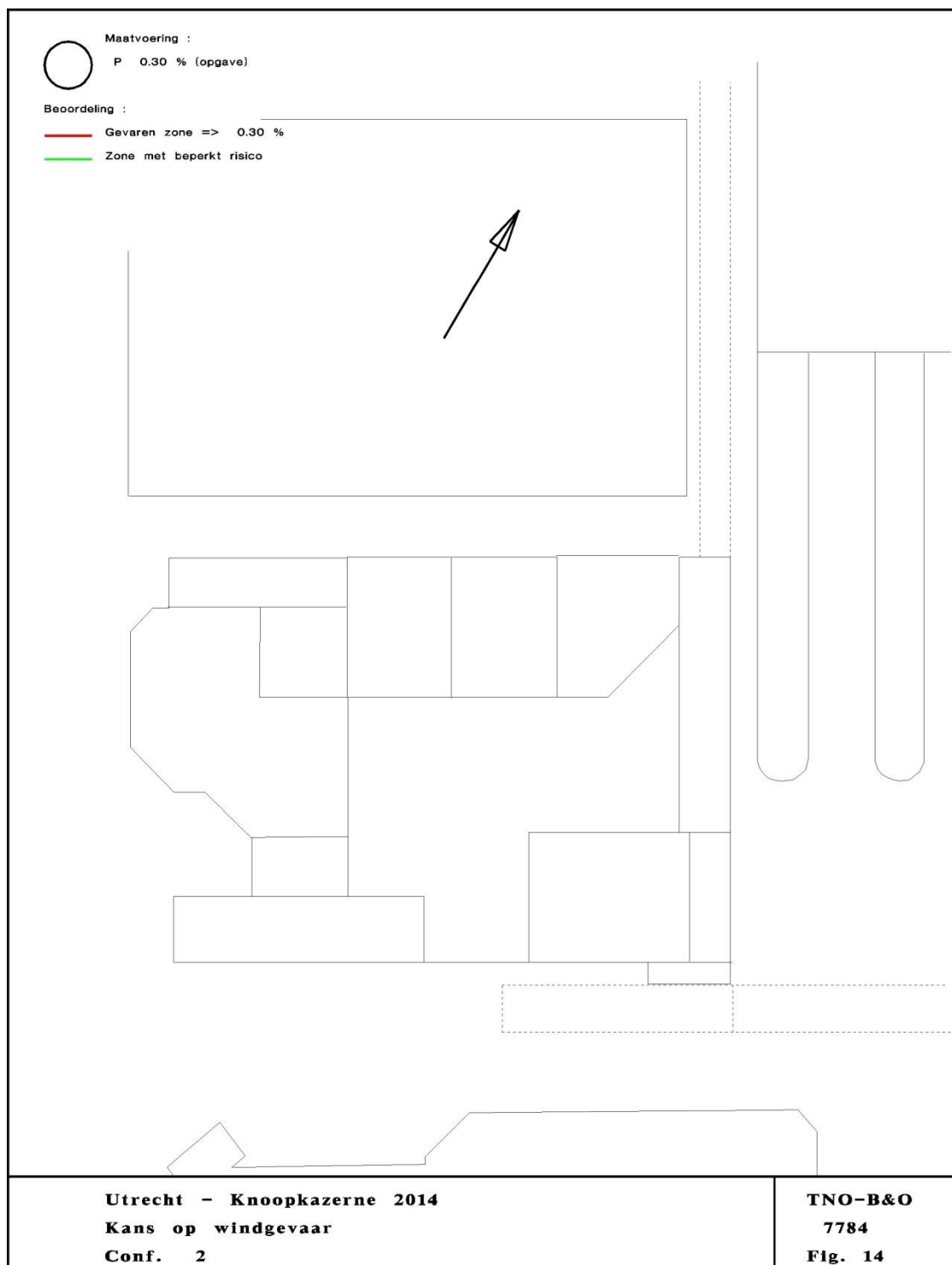
Figuur 11 Jaargemiddelde kans dat 5,0 m/s wordt overschreden configuratie 2.



Figuur 12 Lokaal windklimaat bij 5,0 m/s in configuratie 2.



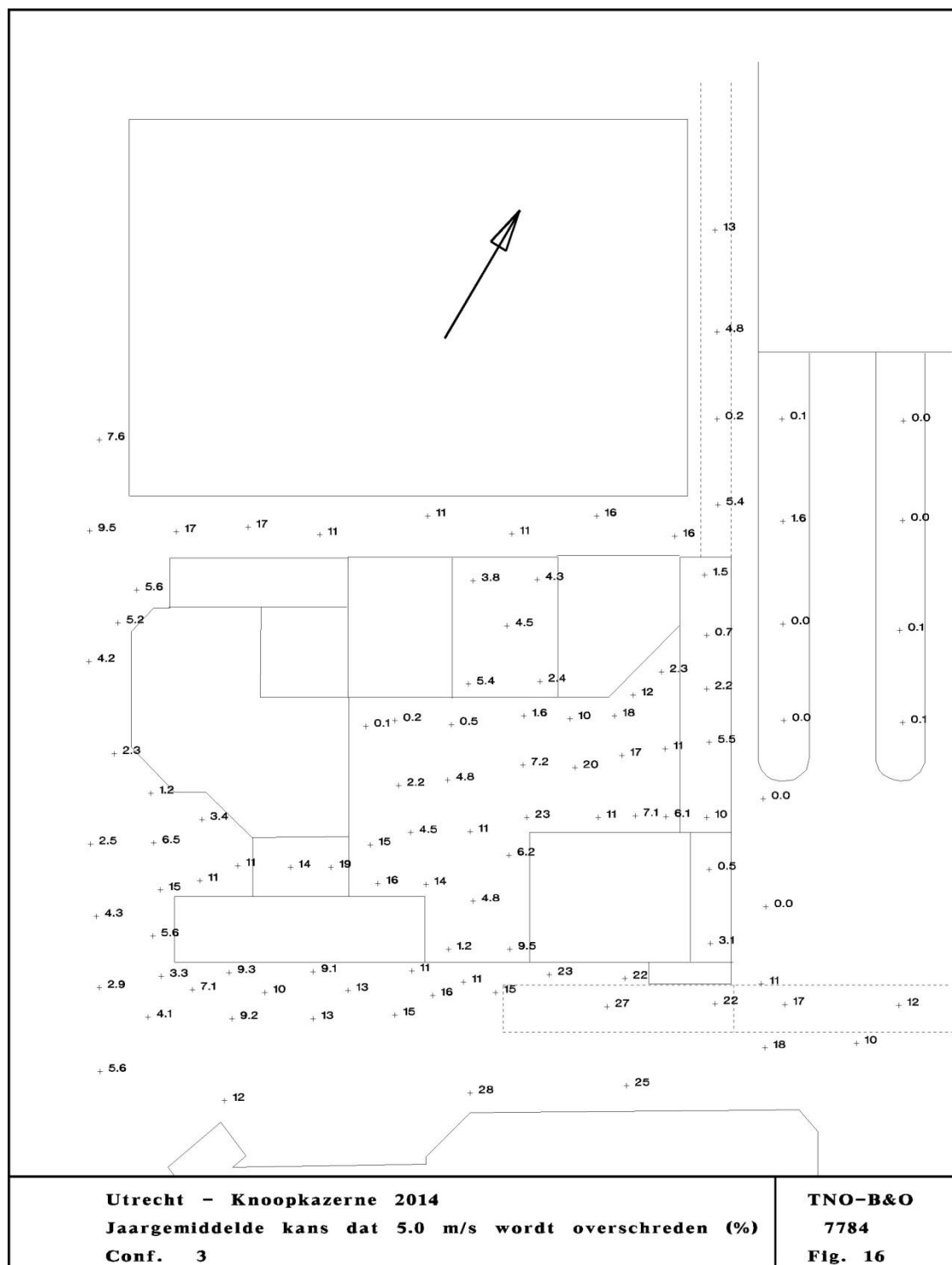
Figuur 13 Jaargemiddelde kans dat 15 m/s wordt overschreden in configuratie 2.



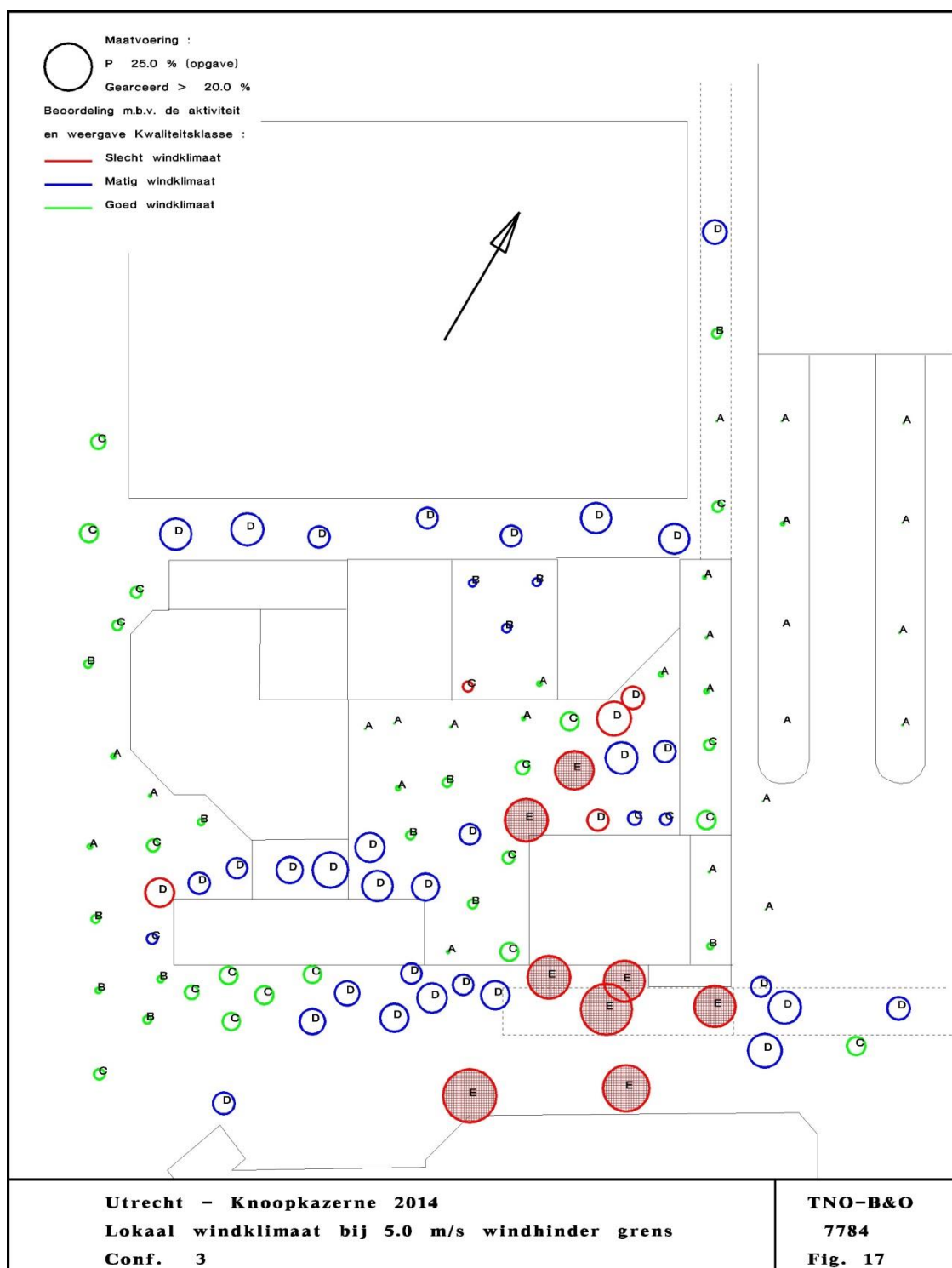
Figuur 14 Kans op windgevaar in configuratie 2.



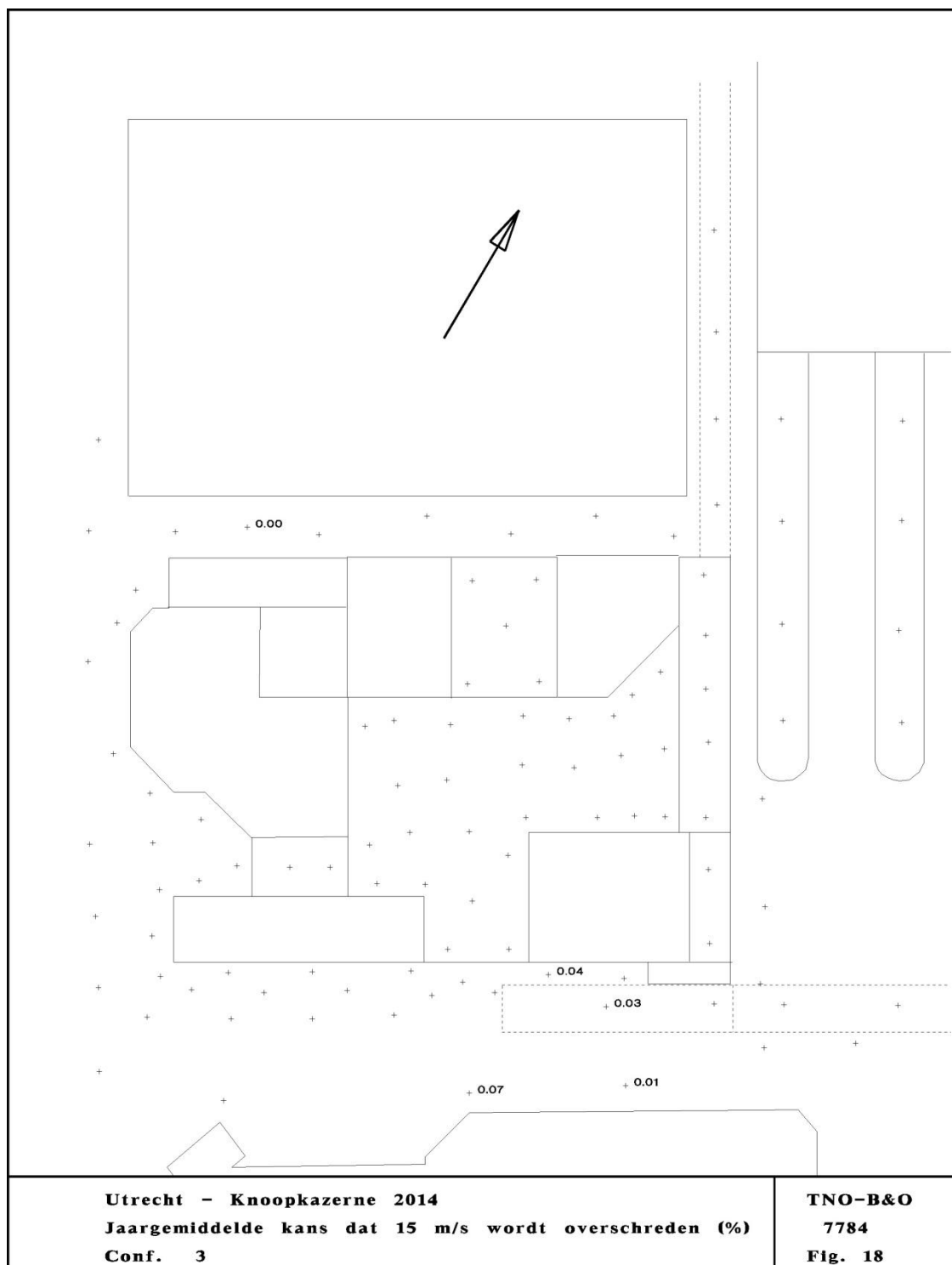
Figuur 15 Configuratie 3, detail gezien vanuit het noordoosten.



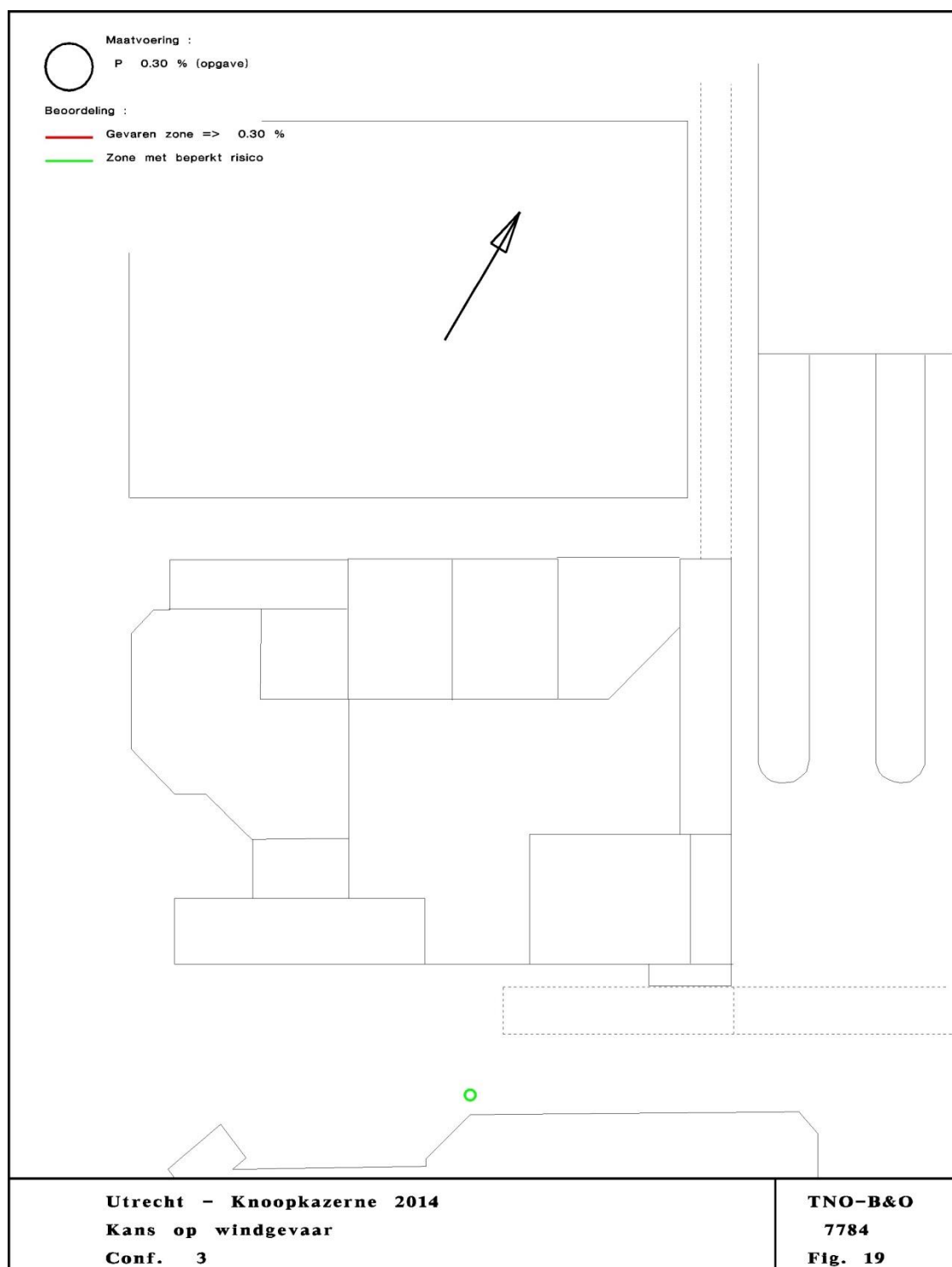
Figuur 16 Jaargemiddelde kans dat 5,0 m/s wordt overschreden configuratie 3.



Figuur 17 Lokaal windklimaat bij 5,0 m/s in configuratie 3.



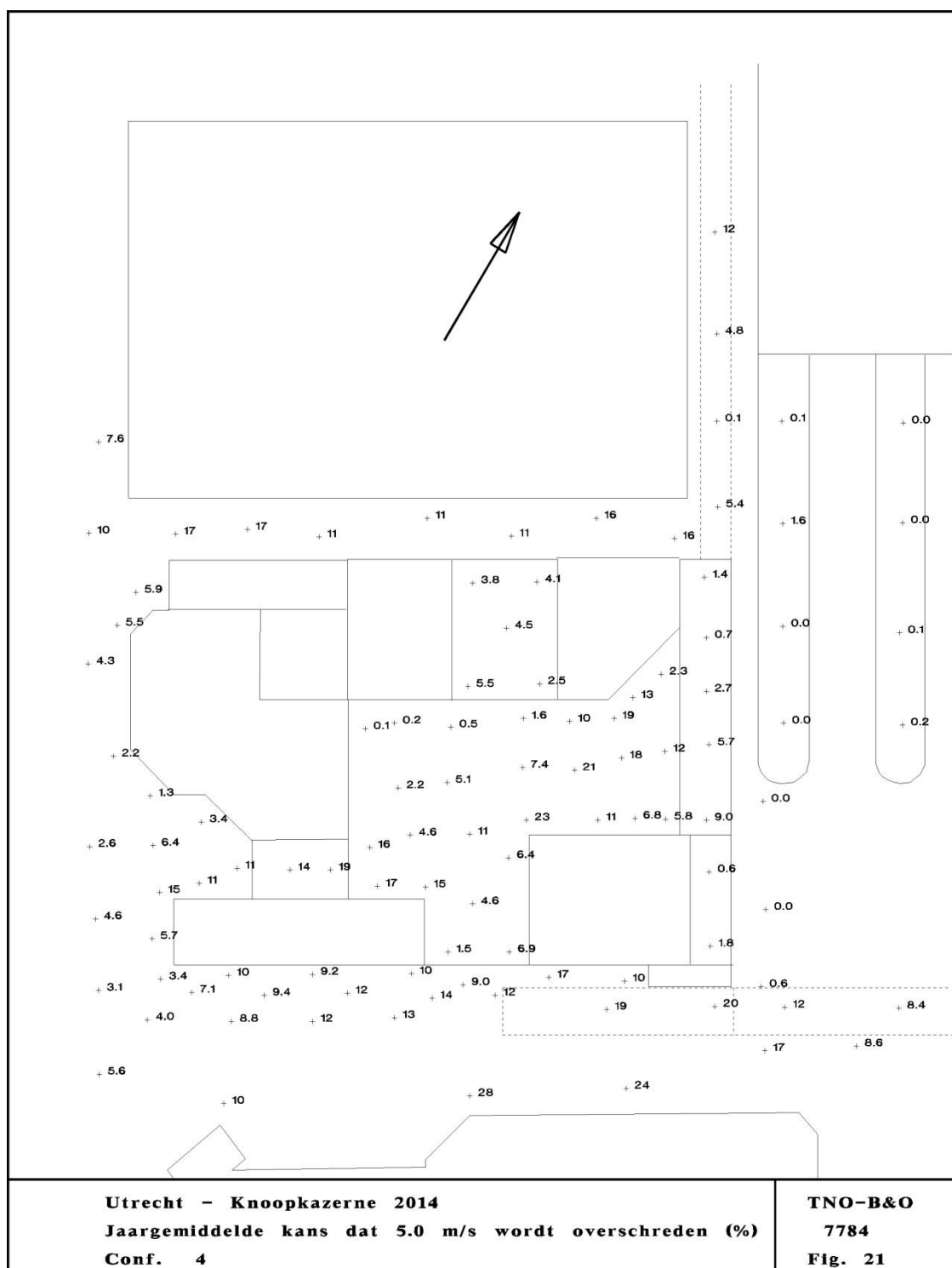
Figuur 18 Jaargemiddelde kans dat 15 m/s wordt overschreden in configuratie 3.



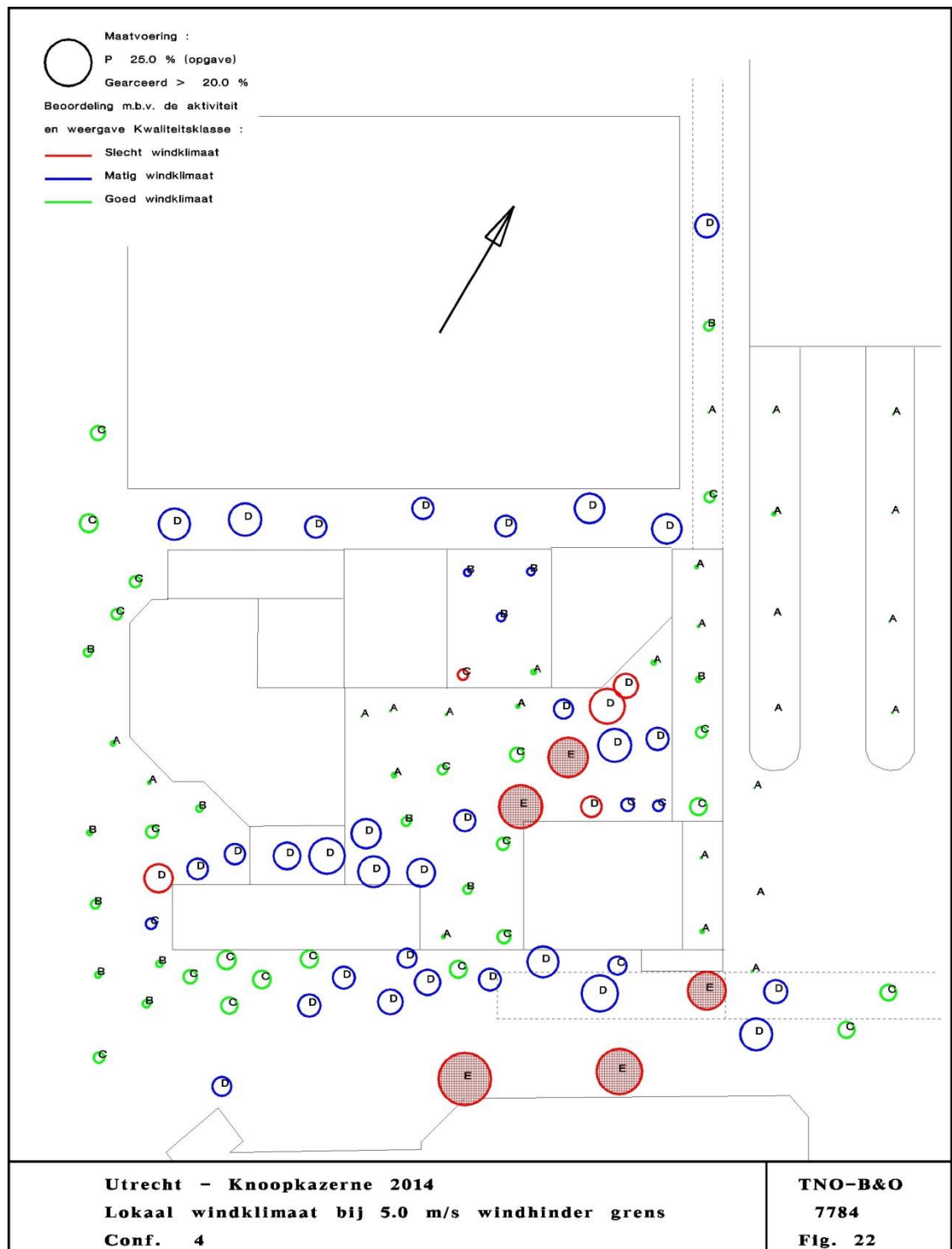
Figuur 19 Kans op windgevaar in configuratie 3.



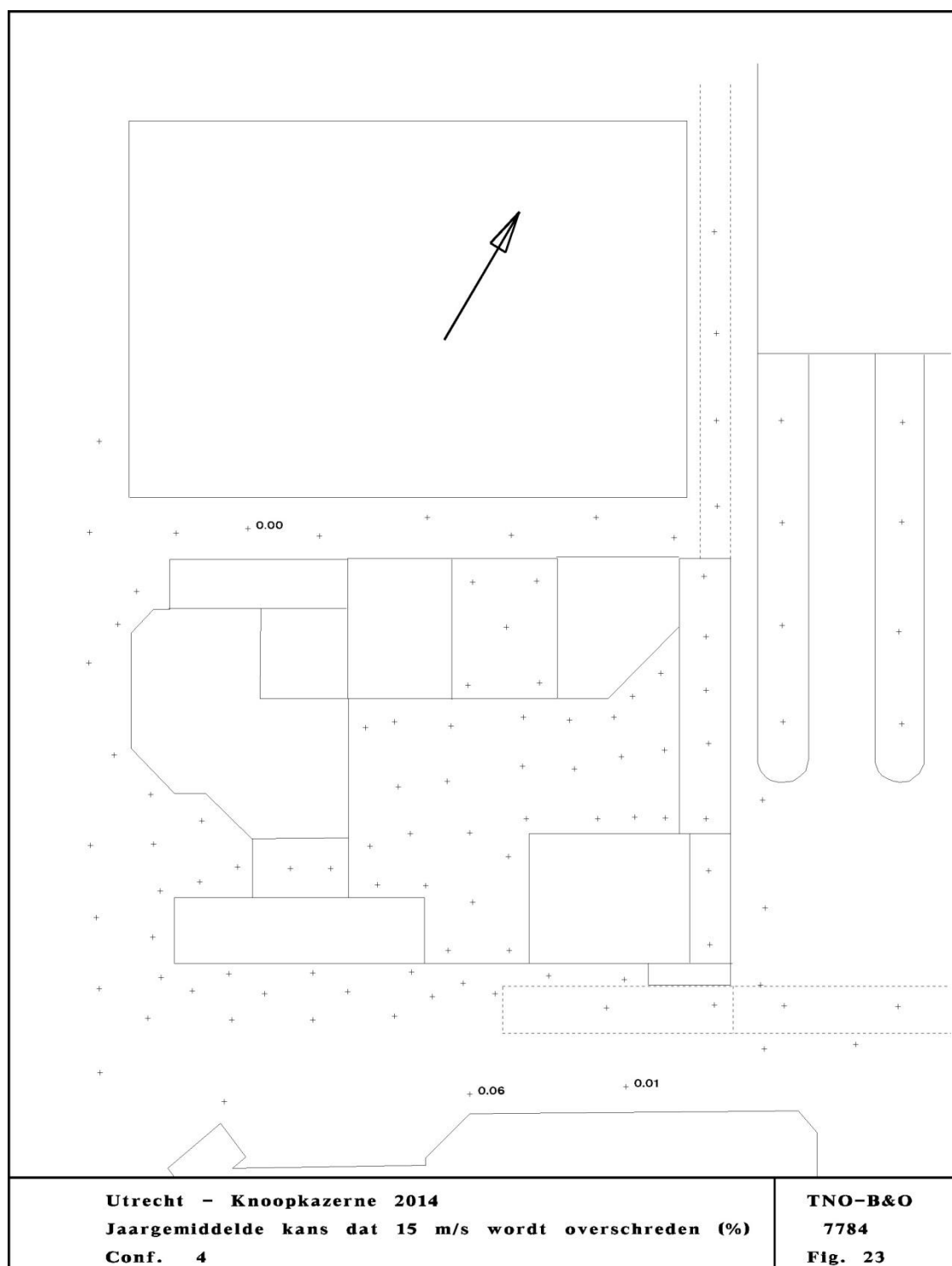
Figuur 20 Configuratie 4, detail gezien vanuit het noordoosten.



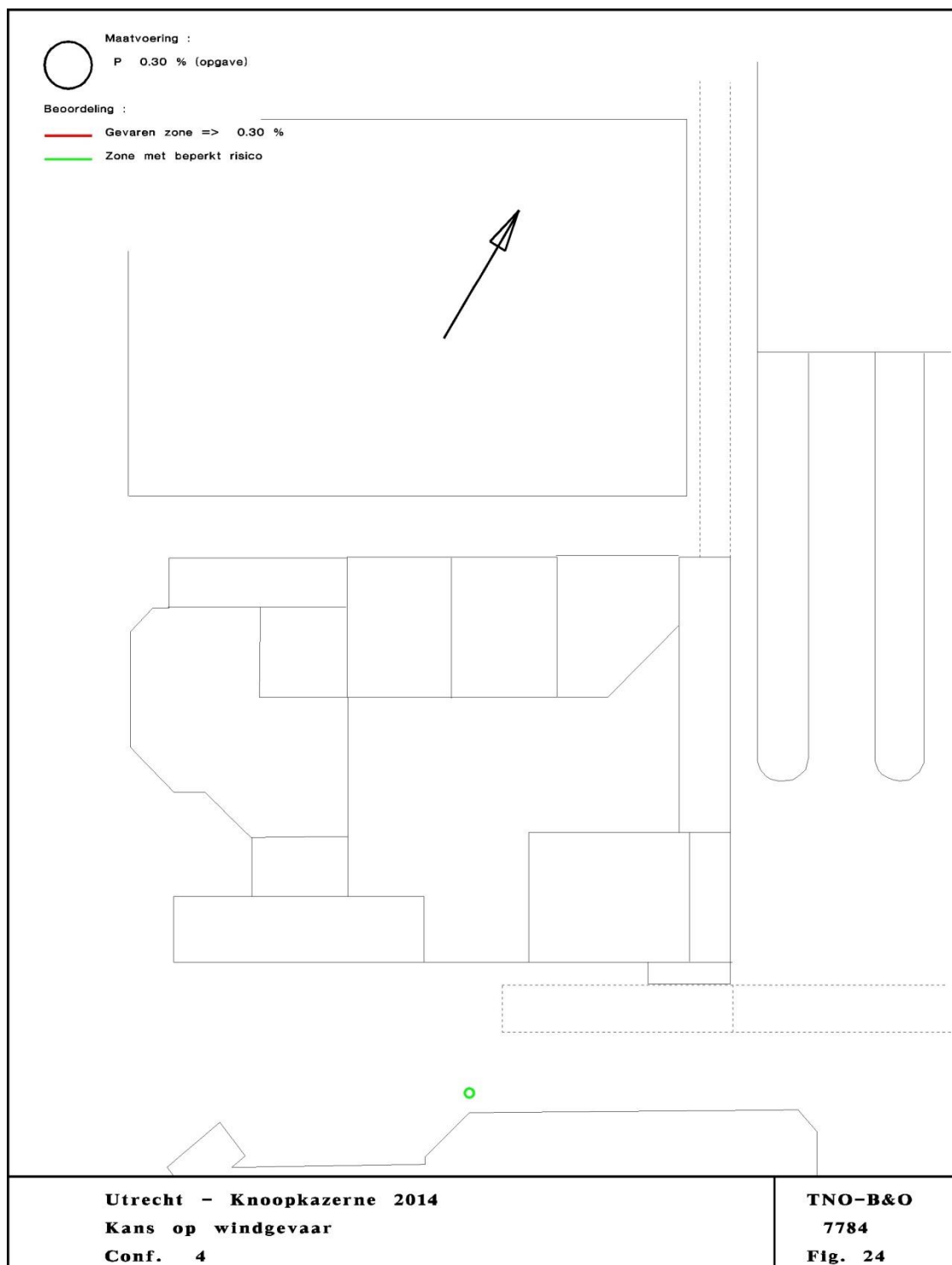
Figuur 21 Jaargemiddelde kans dat 5,0 m/s wordt overschreden configuratie 4.



Figuur 22 Lokaal windklimaat bij 5,0 m/s in configuratie 4.



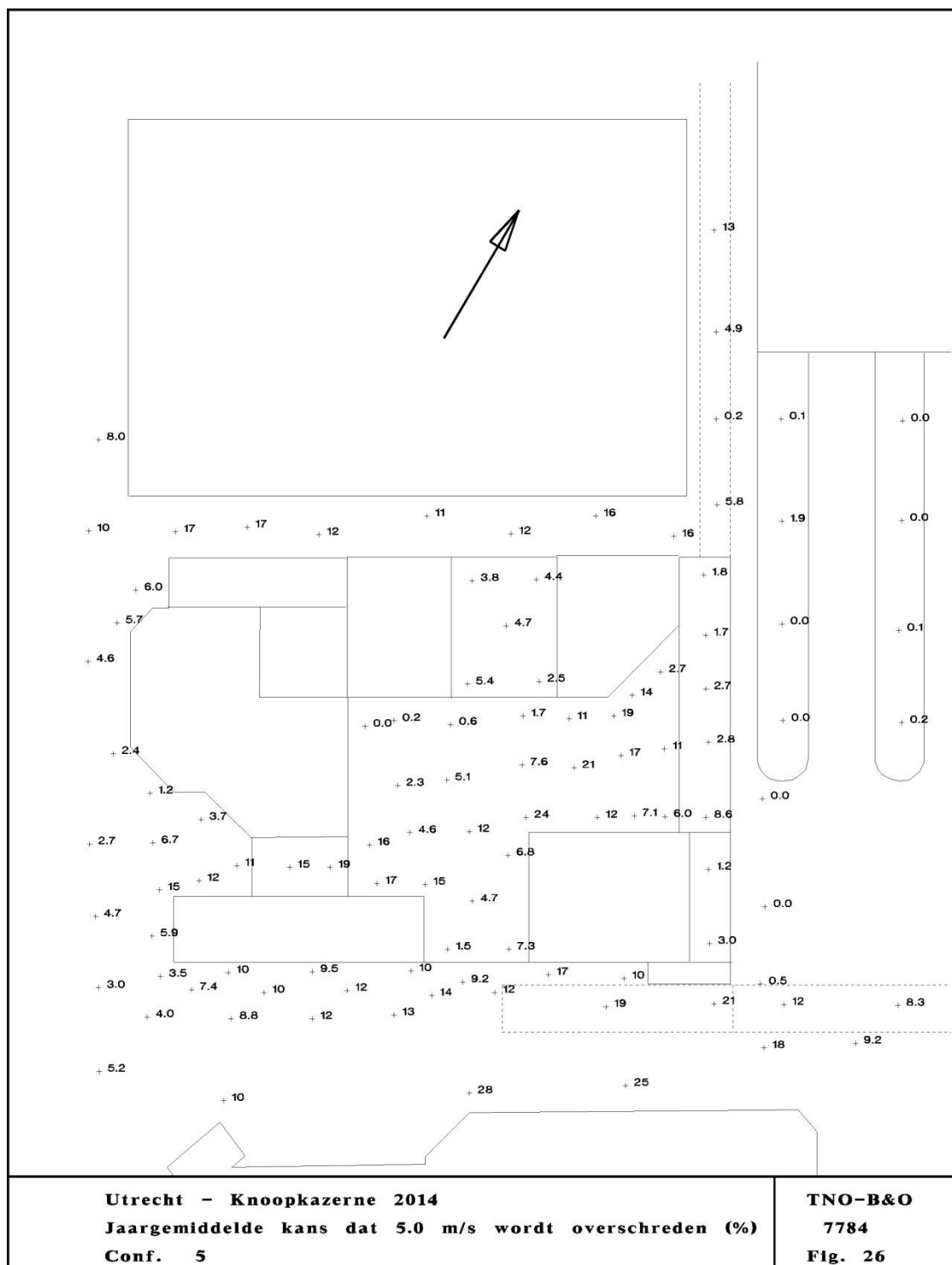
Figuur 23 Jaargemiddelde kans dat 15 m/s wordt overschreden in configuratie 4.



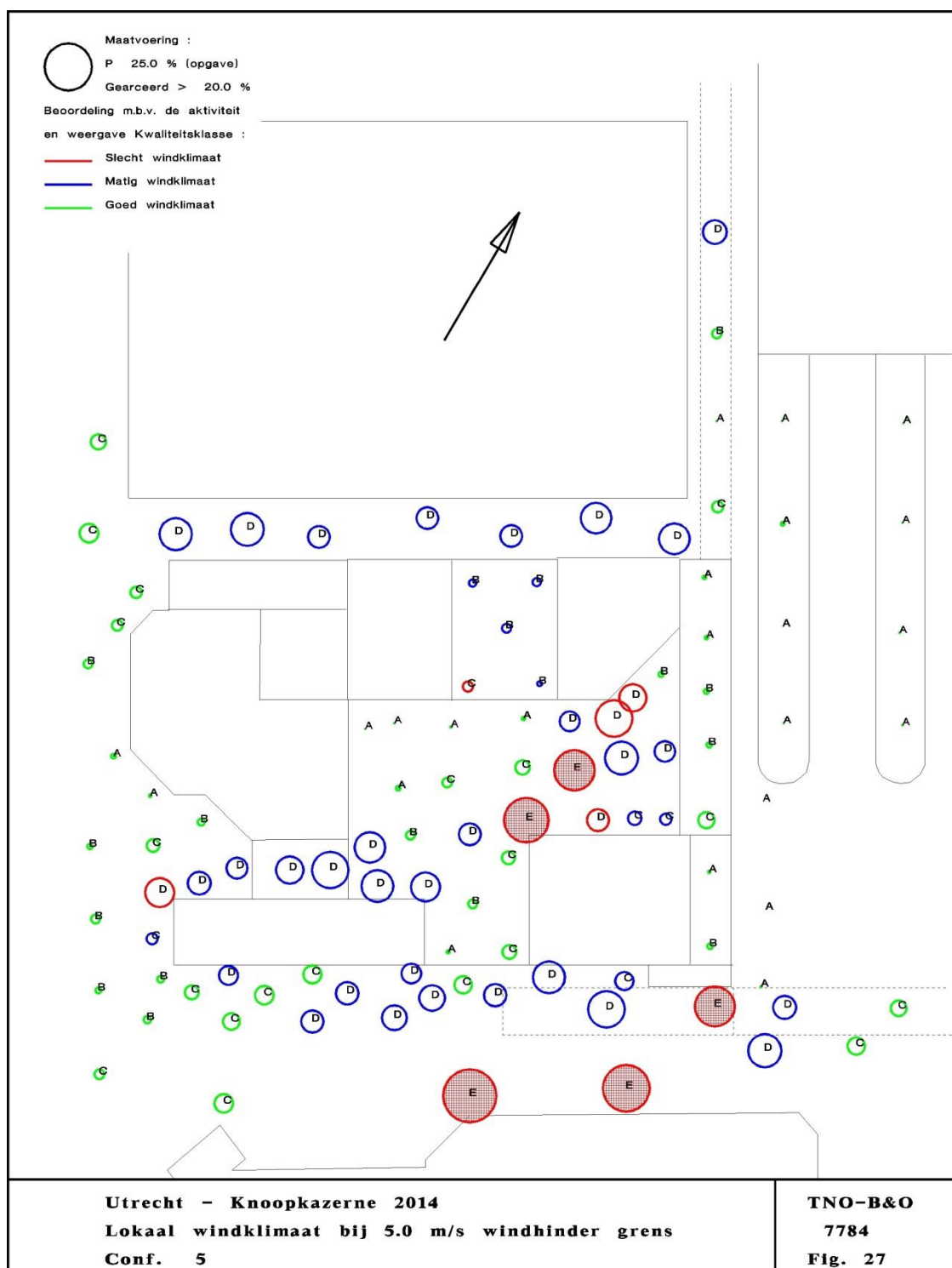
Figuur 24 Kans op windgevaar in configuratie 4.



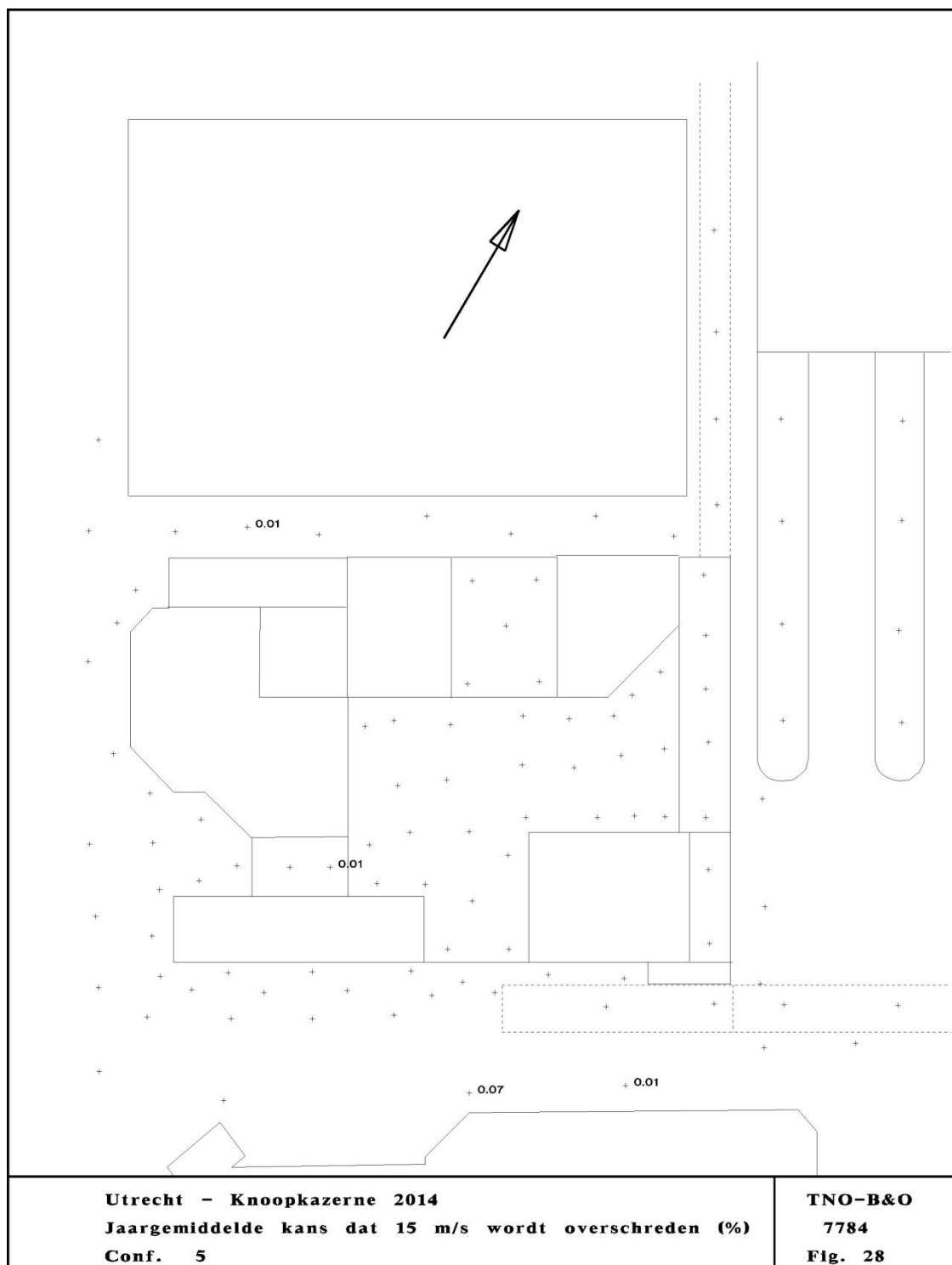
Figuur 25 Configuratie 5, detail gezien vanuit het noordoosten.



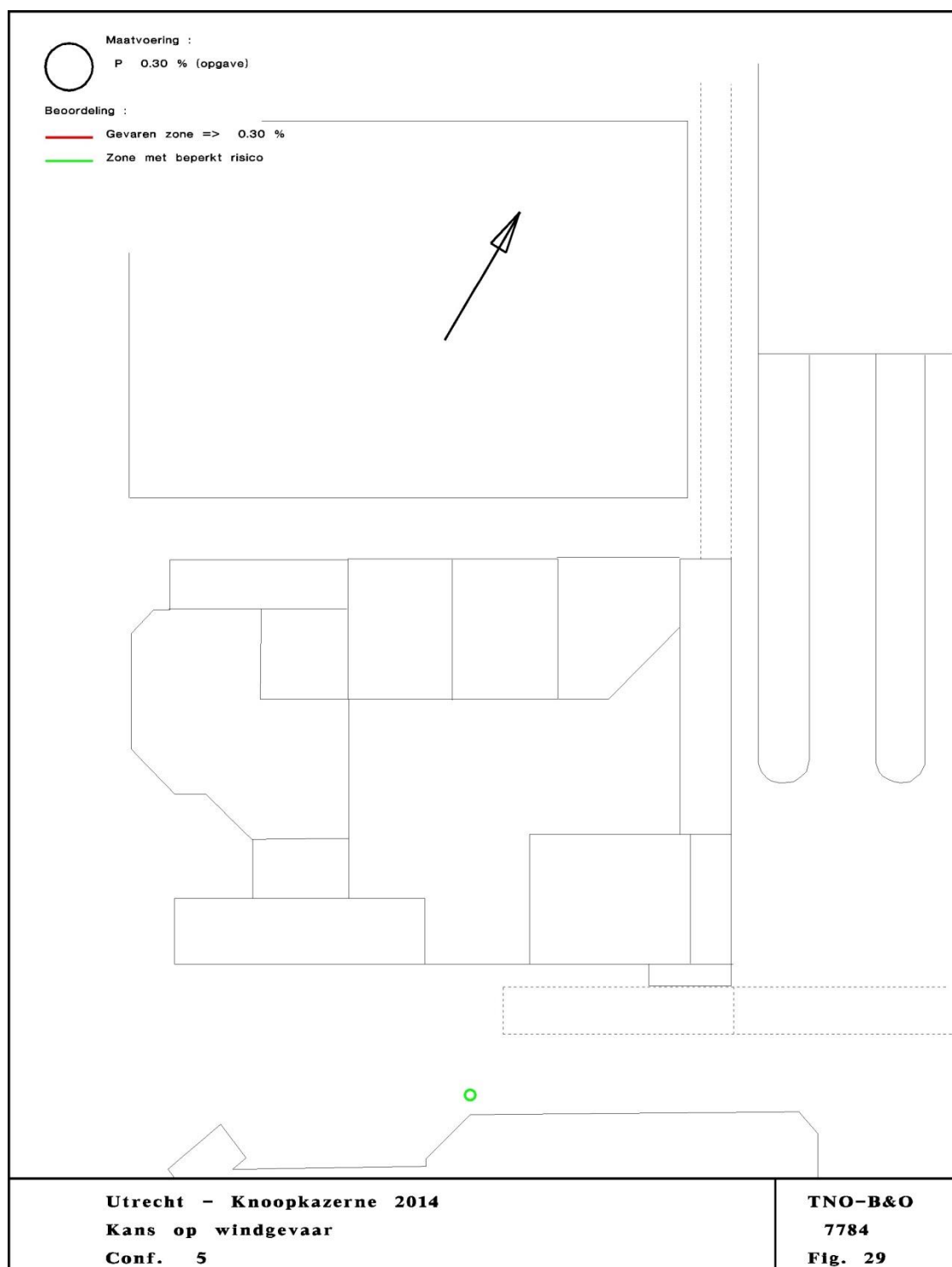
Figuur 26 Jaargemiddelde kans dat 5,0 m/s wordt overschreden configuratie 5.



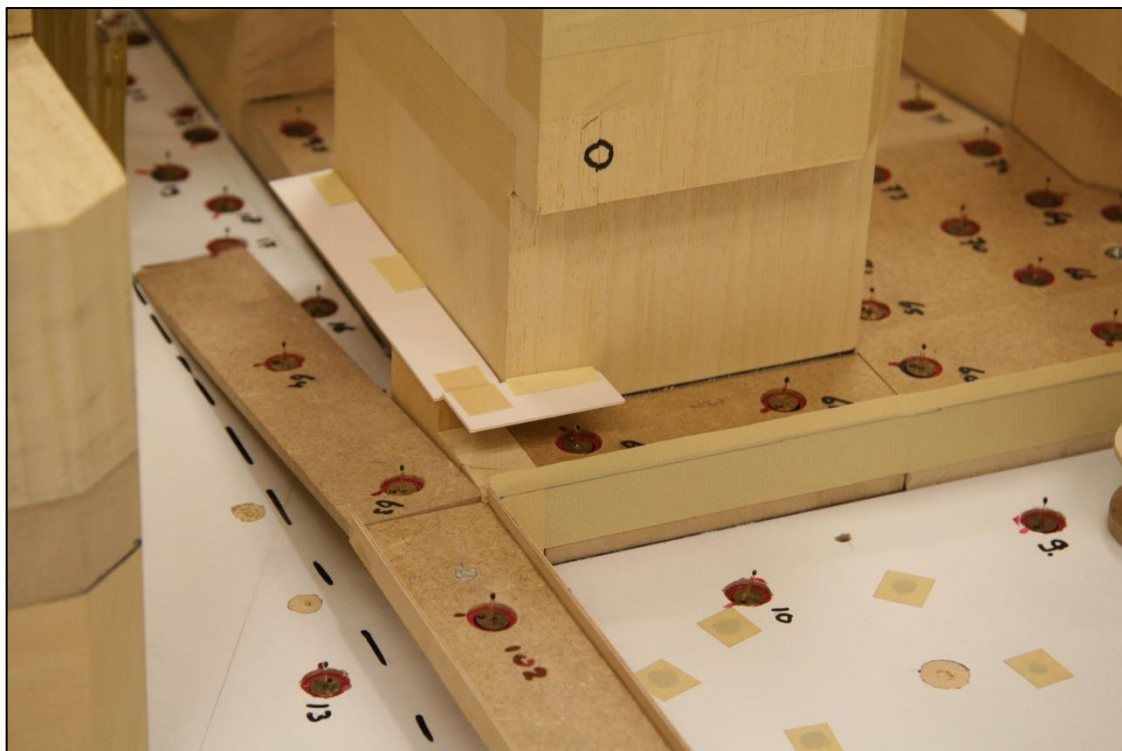
Figuur 27 Lokaal windklimaat bij 5,0 m/s in configuratie 5.



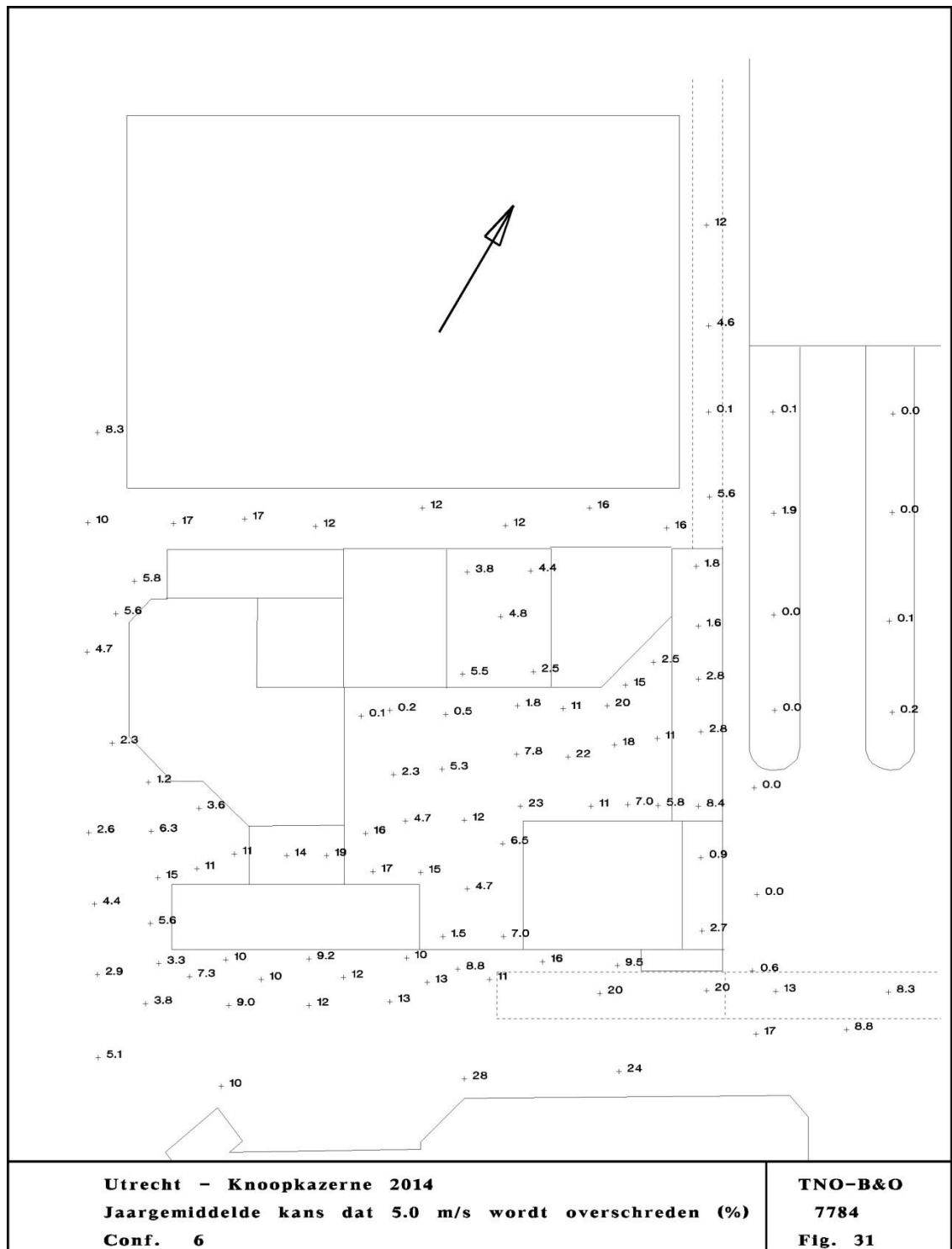
Figuur 28 Jaargemiddelde kans dat 15 m/s wordt overschreden in configuratie 5.



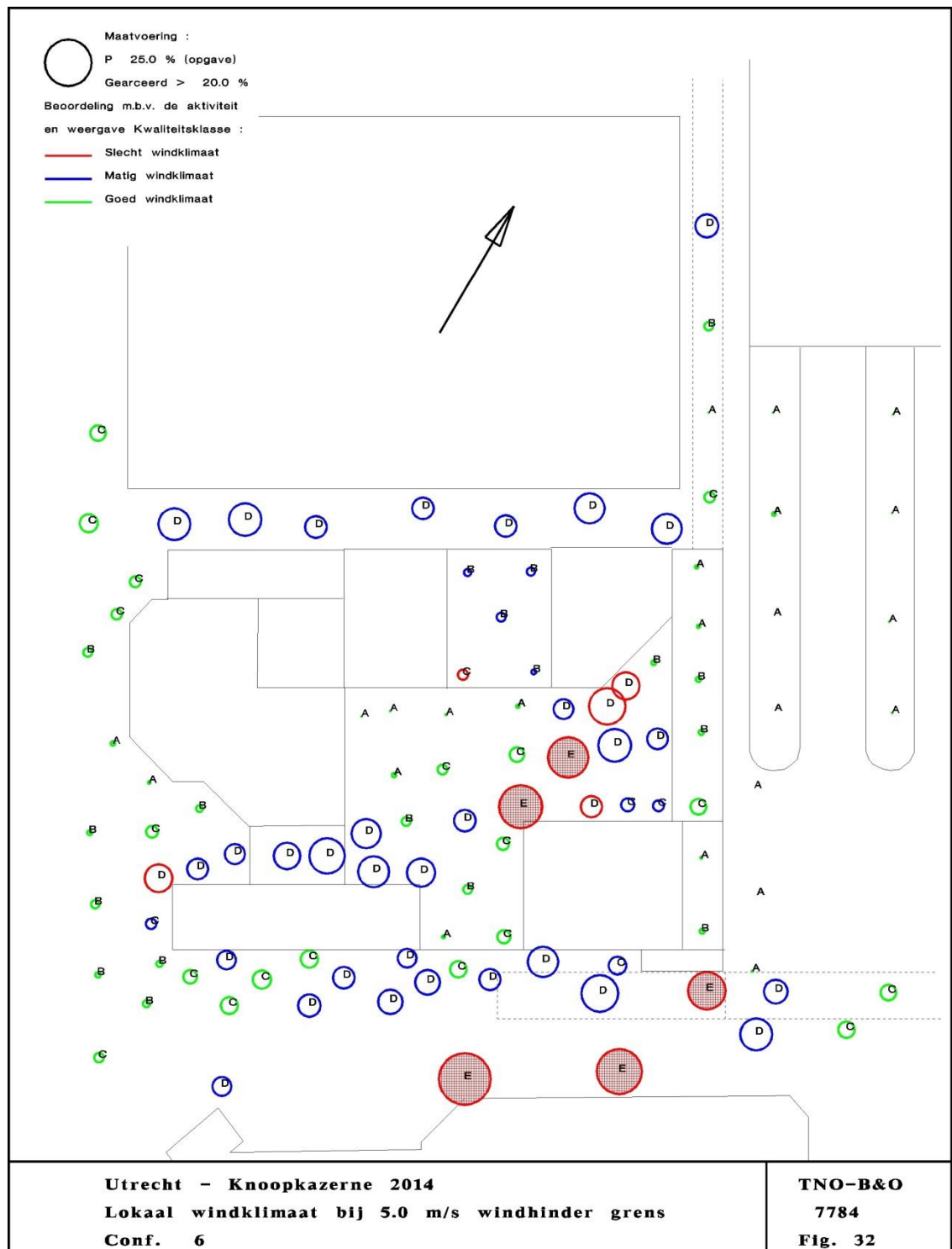
Figuur 29 Kans op windgevaar in configuratie 5.



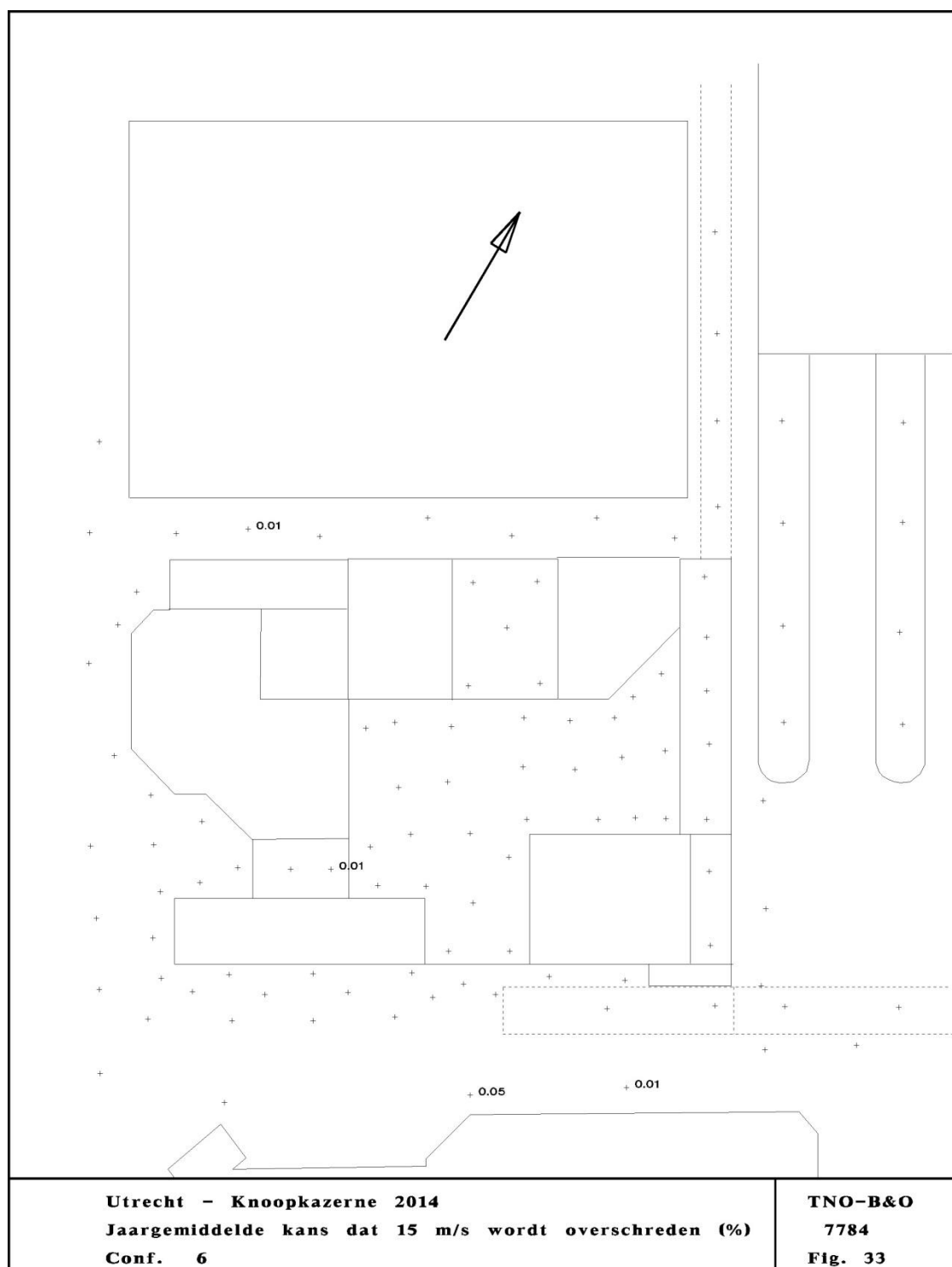
Figuur 30 Configuratie 6, detail gezien vanuit het noordoosten.



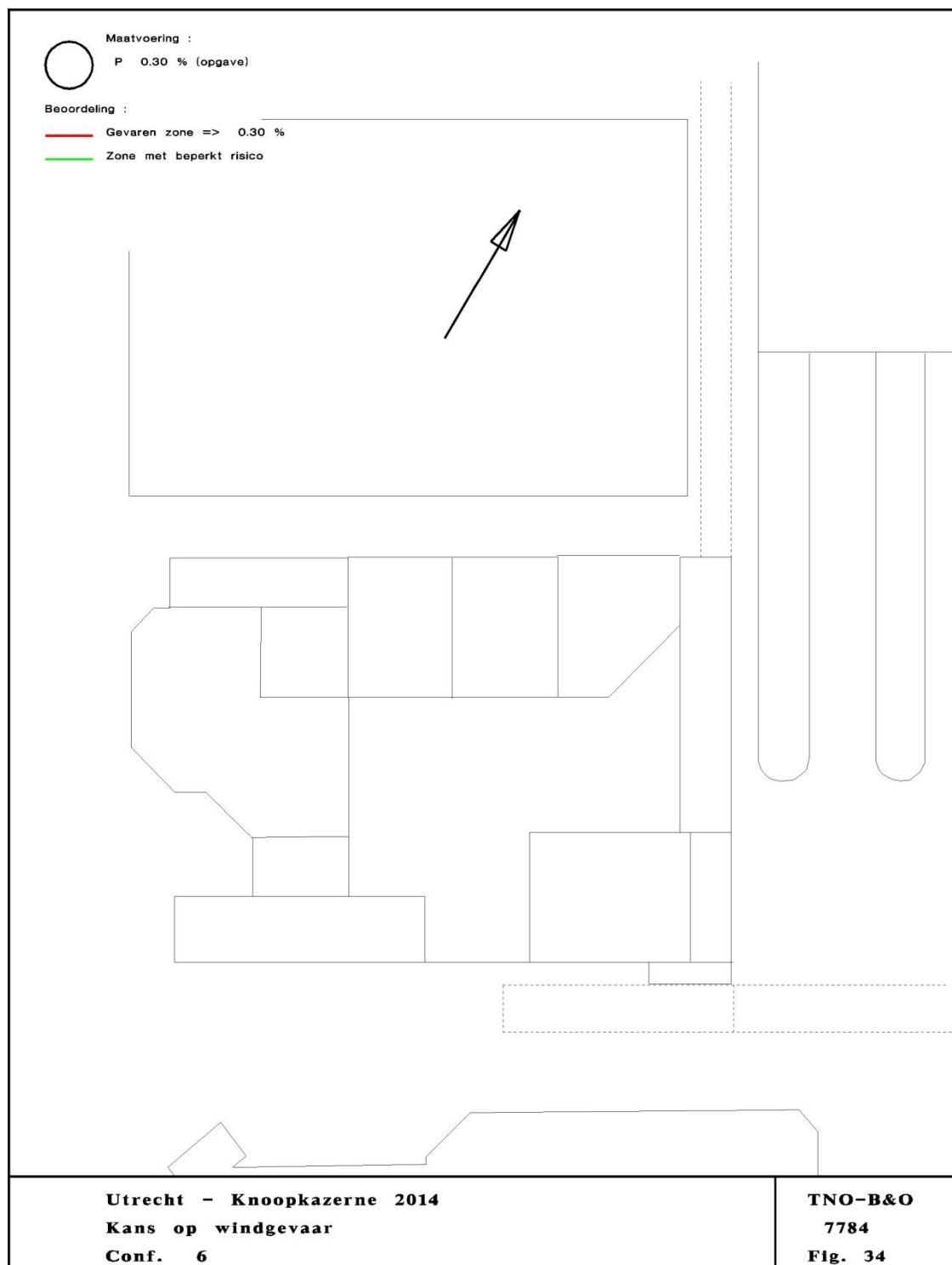
Figuur 31 Jaargemiddelde kans dat 5,0 m/s wordt overschreden configuratie 6.



Figuur 32 Lokaal windklimaat bij 5,0 m/s in configuratie 6.



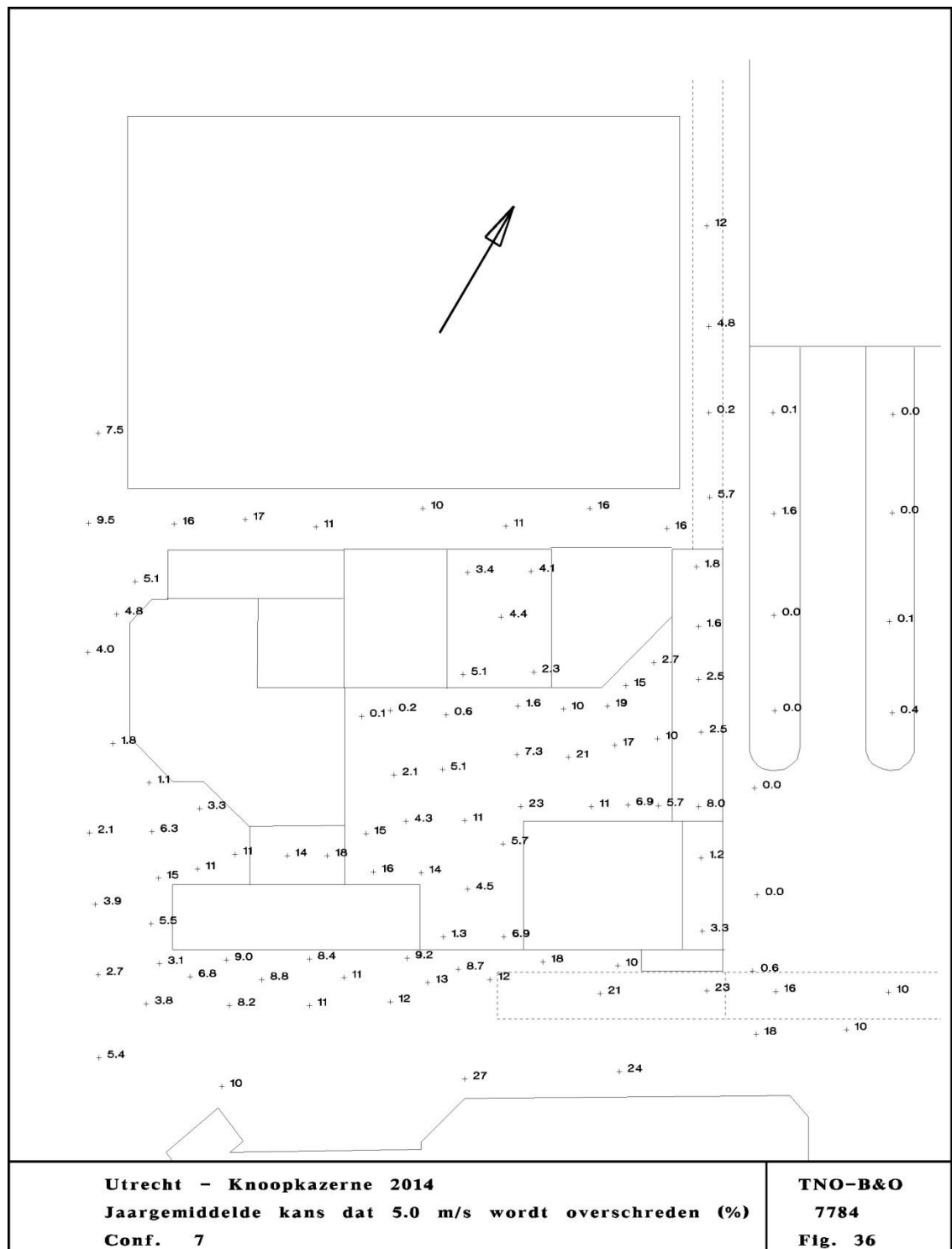
Figuur 33 Jaargemiddelde kans dat 15 m/s wordt overschreden in configuratie 6.



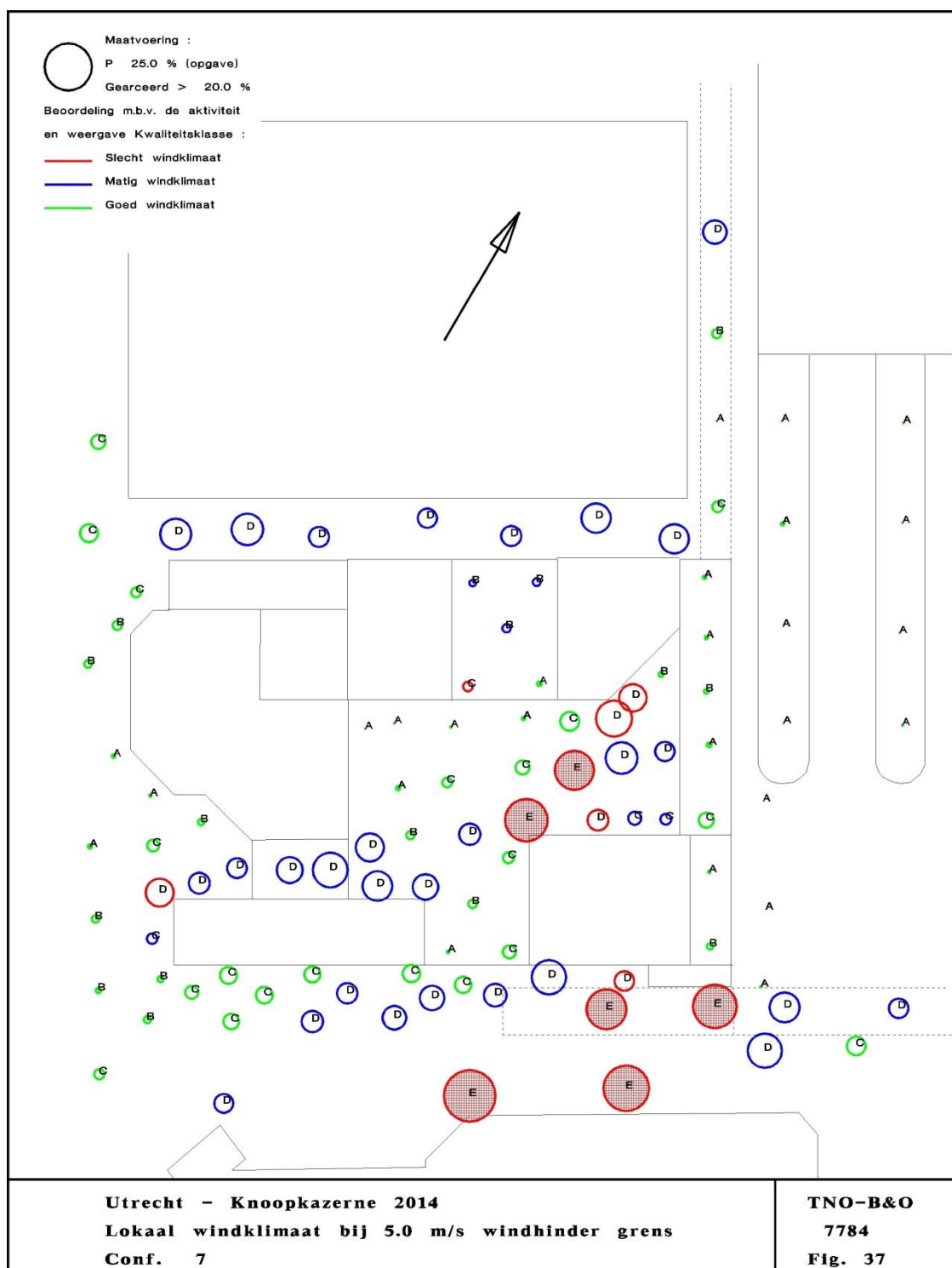
Figuur 34 Kans op windgevaar in configuratie 6.



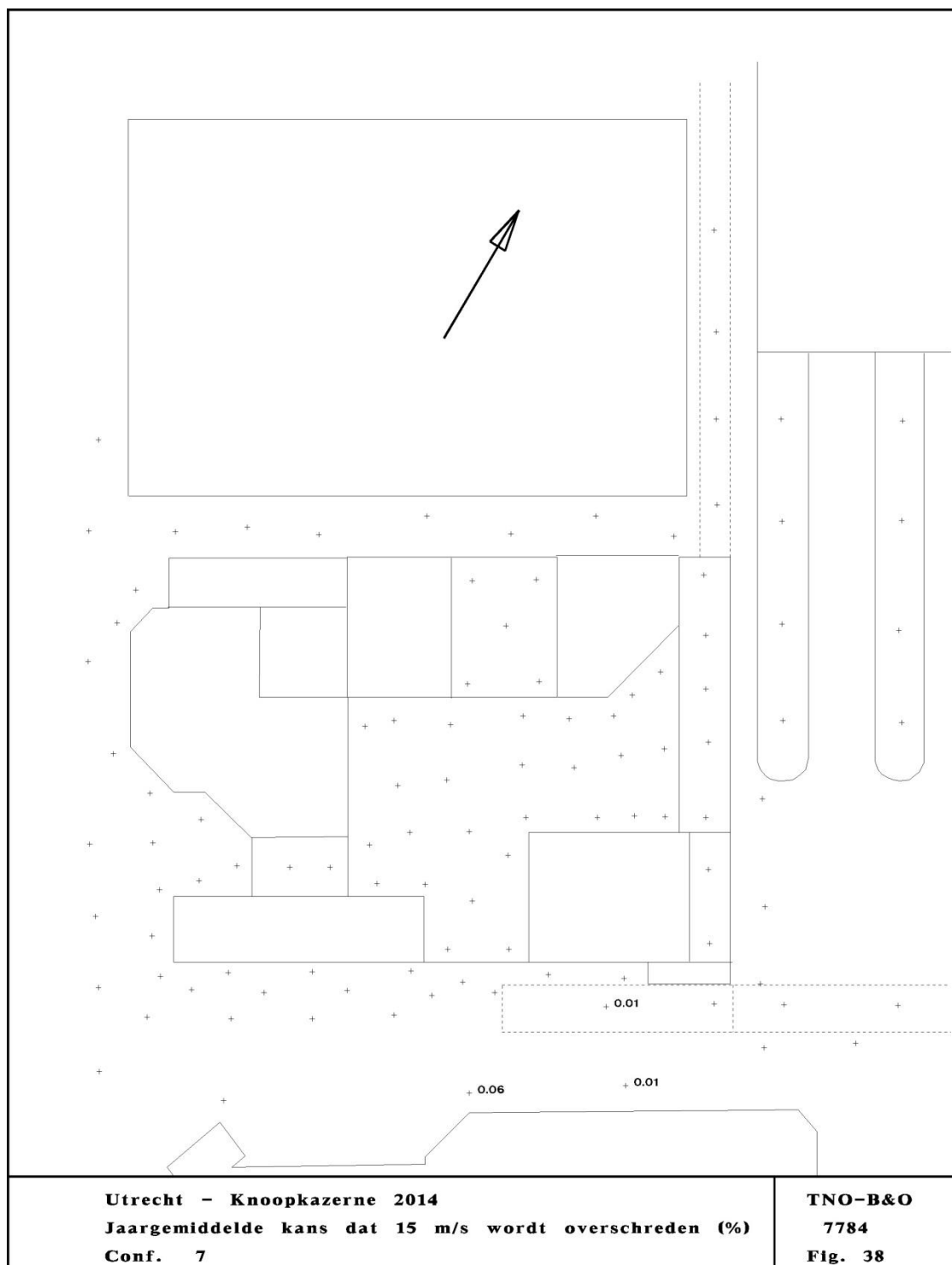
Figuur 35 Configuratie 7, detail gezien vanuit het noordoosten.



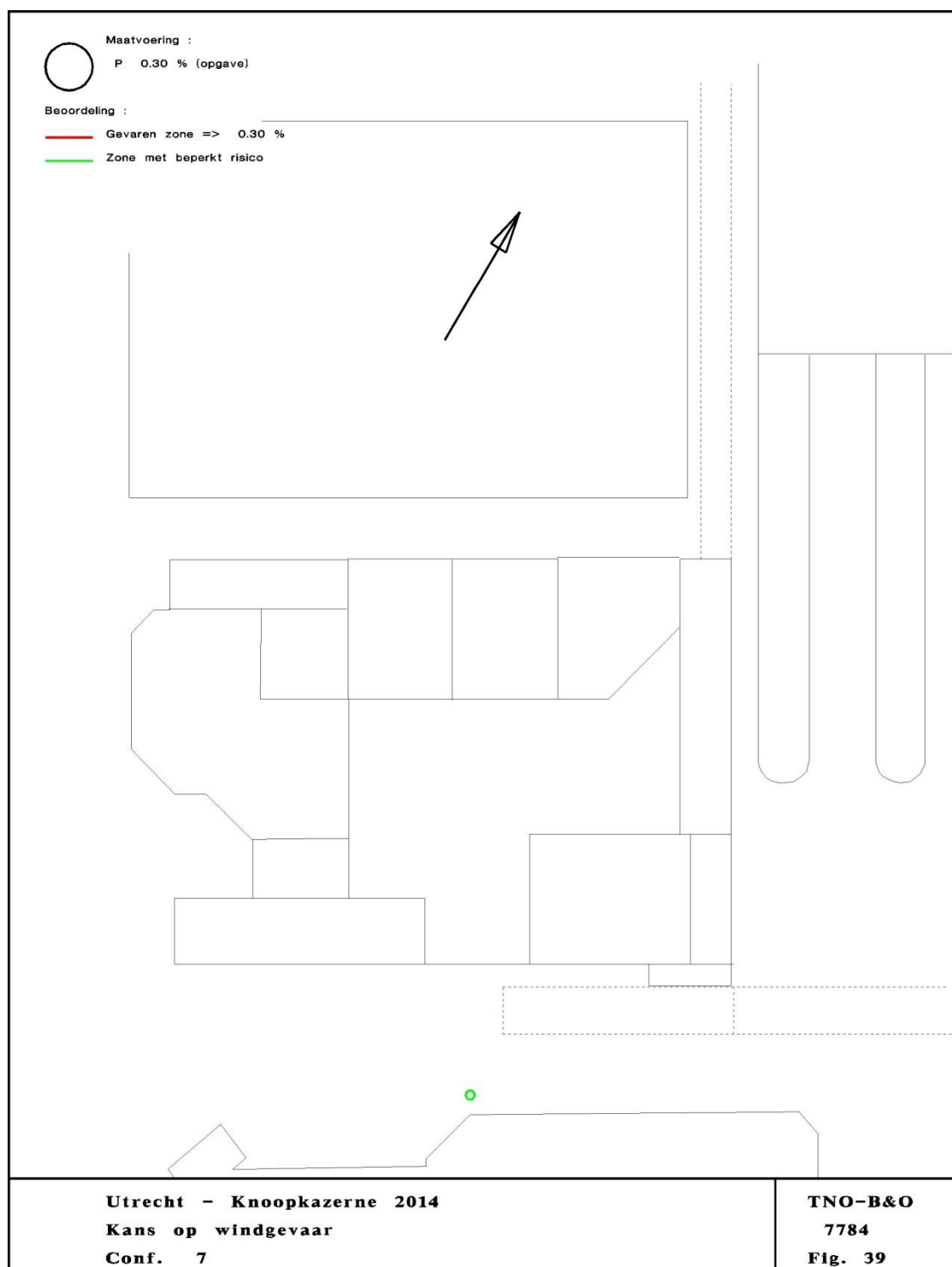
Figuur 36 Jaargemiddelde kans dat 5,0 m/s wordt overschreden configuratie 7.



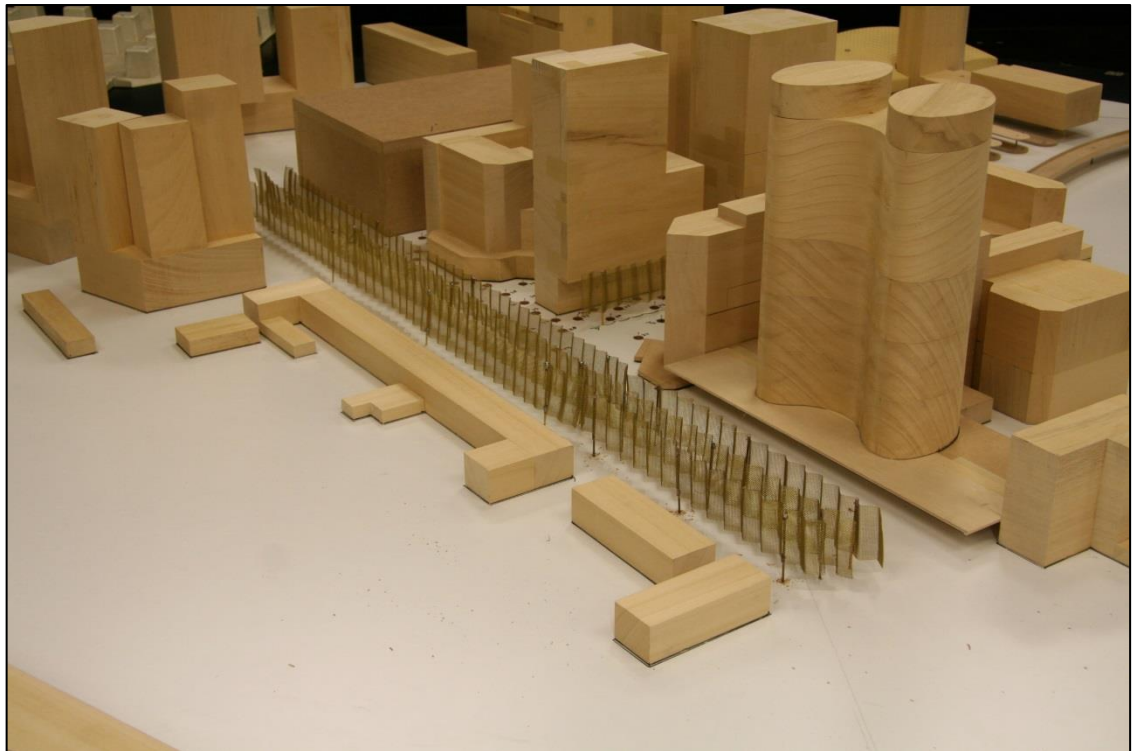
Figuur 37 Lokaal windklimaat bij 5,0 m/s in configuratie 7.



Figuur 38 Jaargemiddelde kans dat 15 m/s wordt overschreden in configuratie 7.



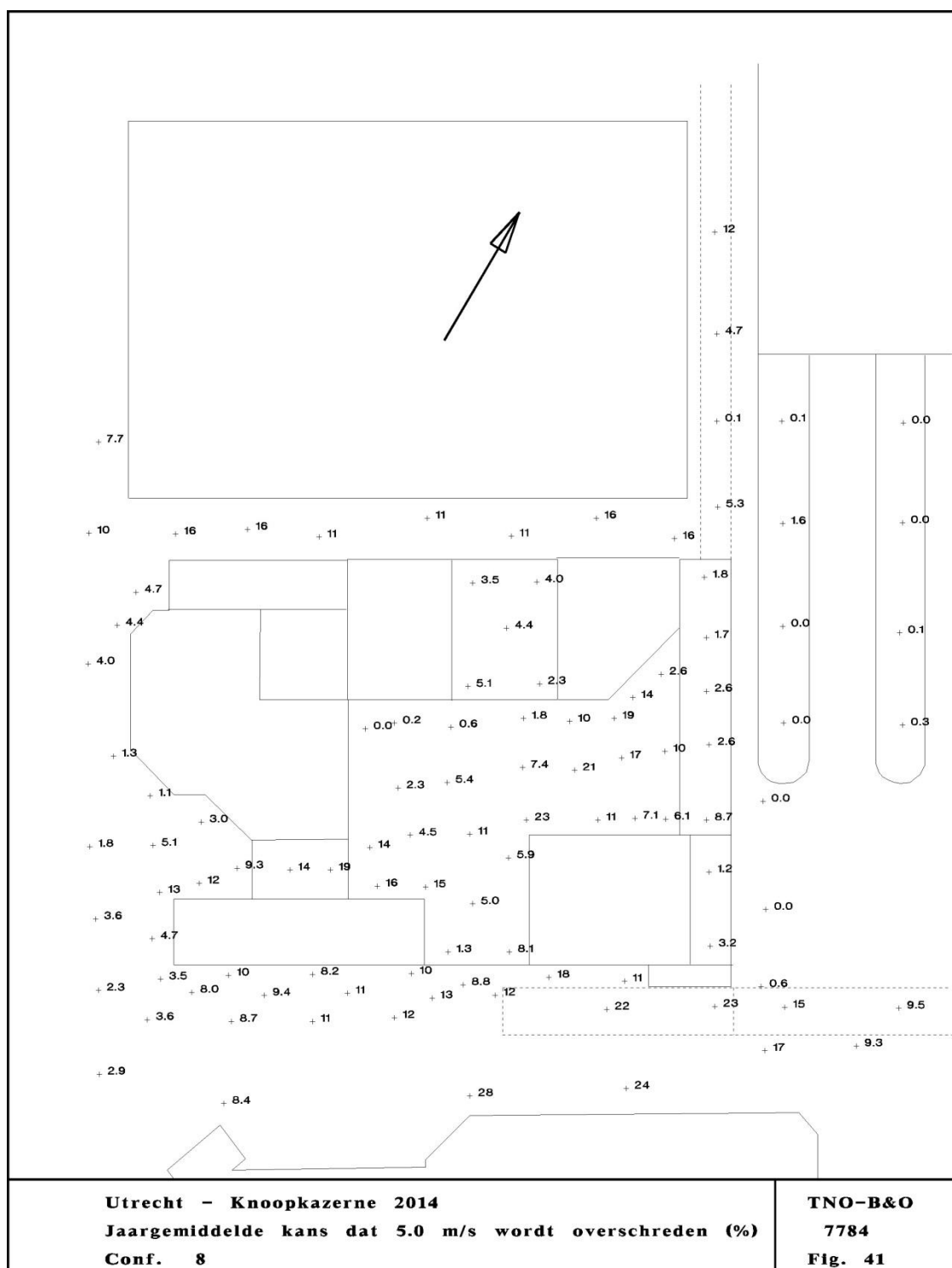
Figuur 39 Kans op windgevaar in configuratie 7.



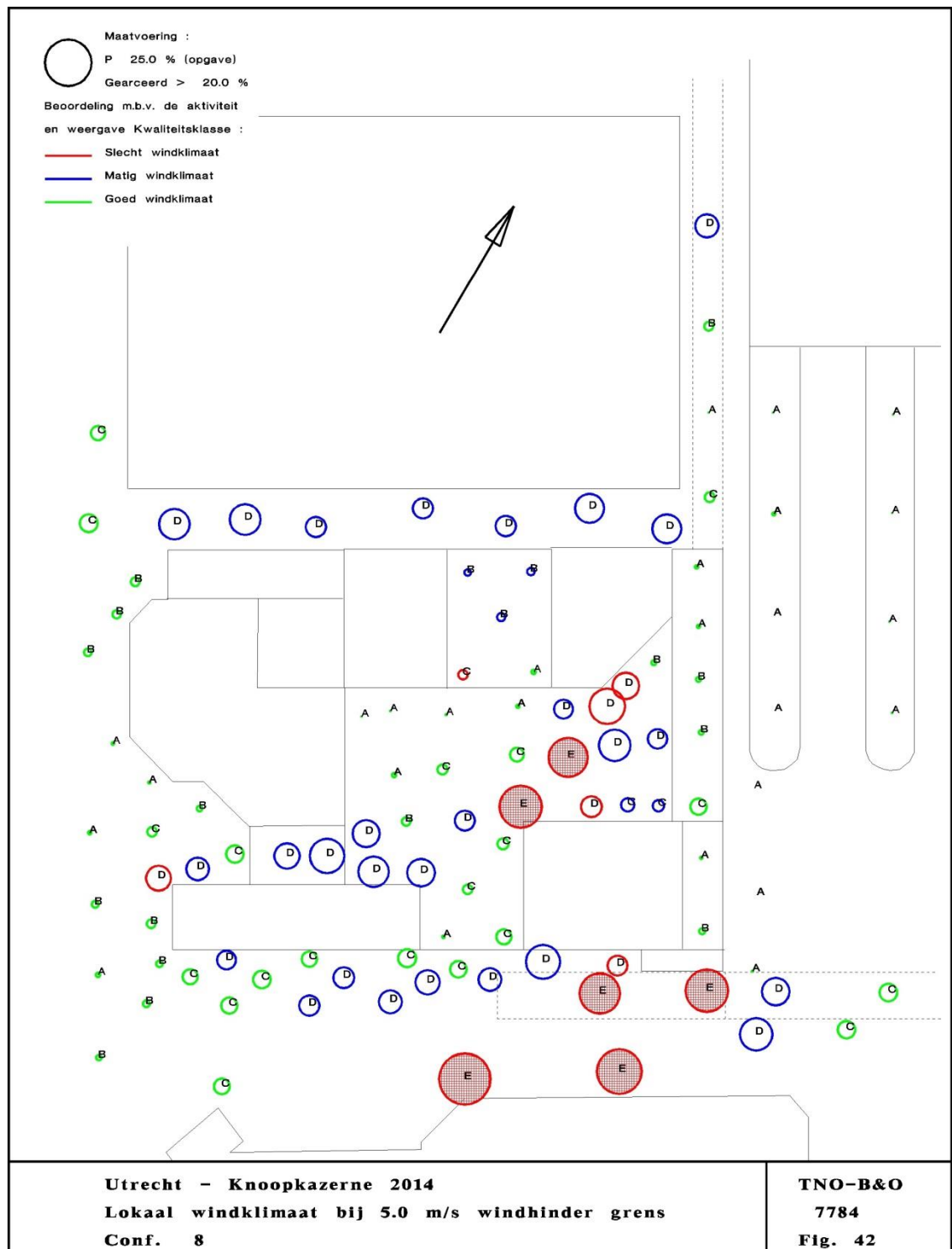
Figuur 40a Configuratie 8, gezien vanuit het zuiden.



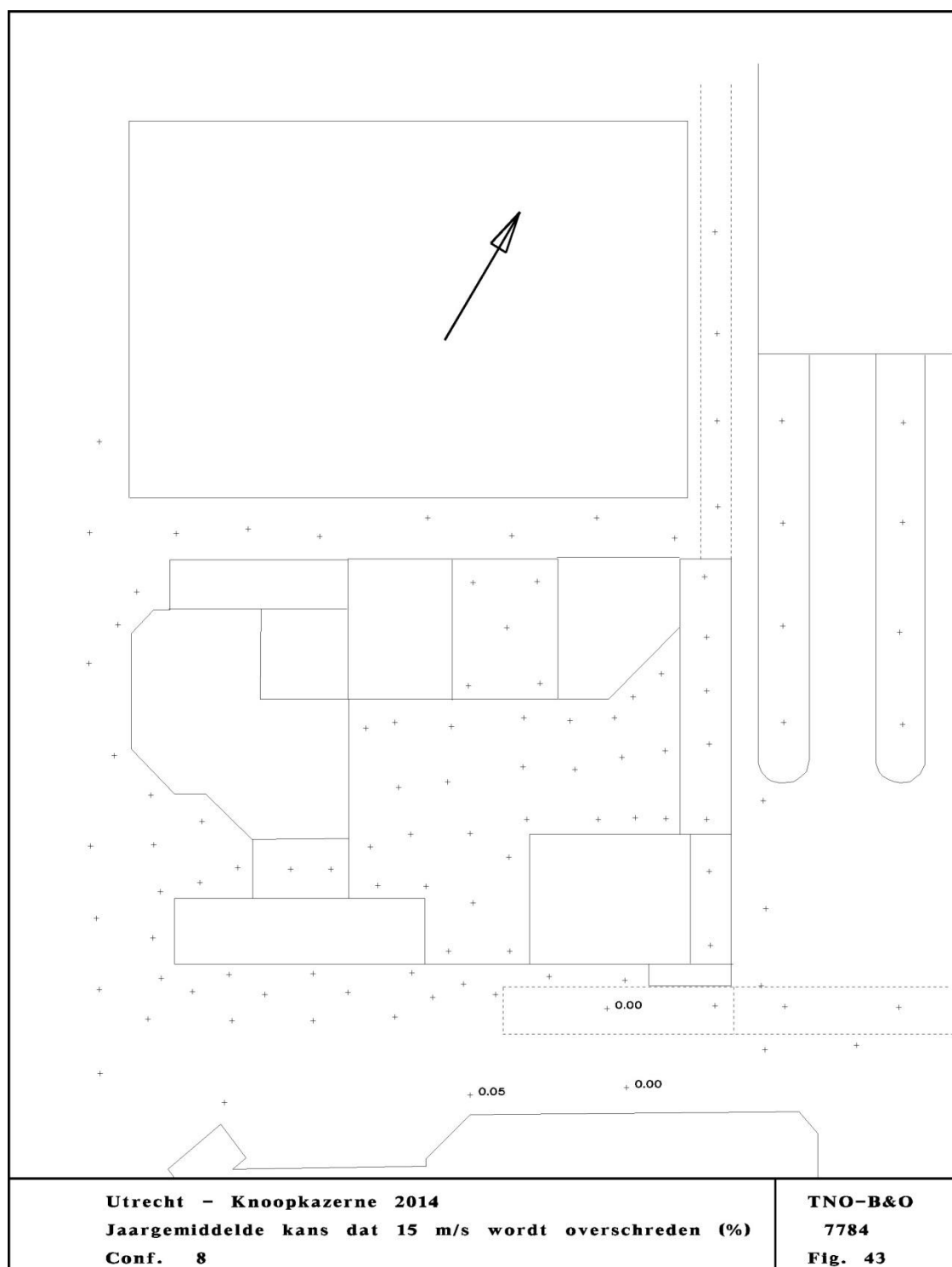
Figuur 40b Configuratie 8, gezien vanuit het zuidwesten.



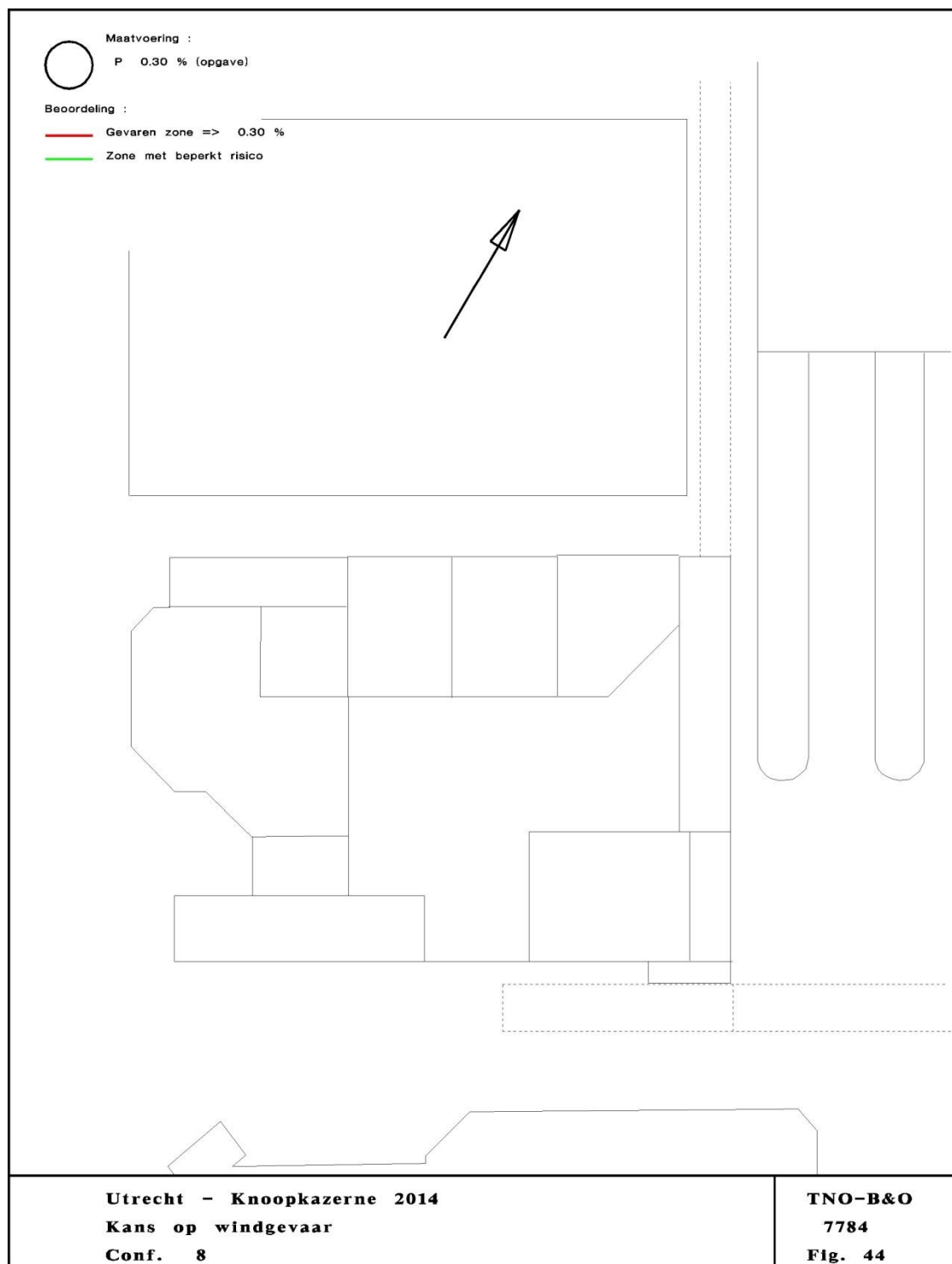
Figuur 41 Jaargemiddelde kans dat 5,0 m/s wordt overschreden configuratie 8.



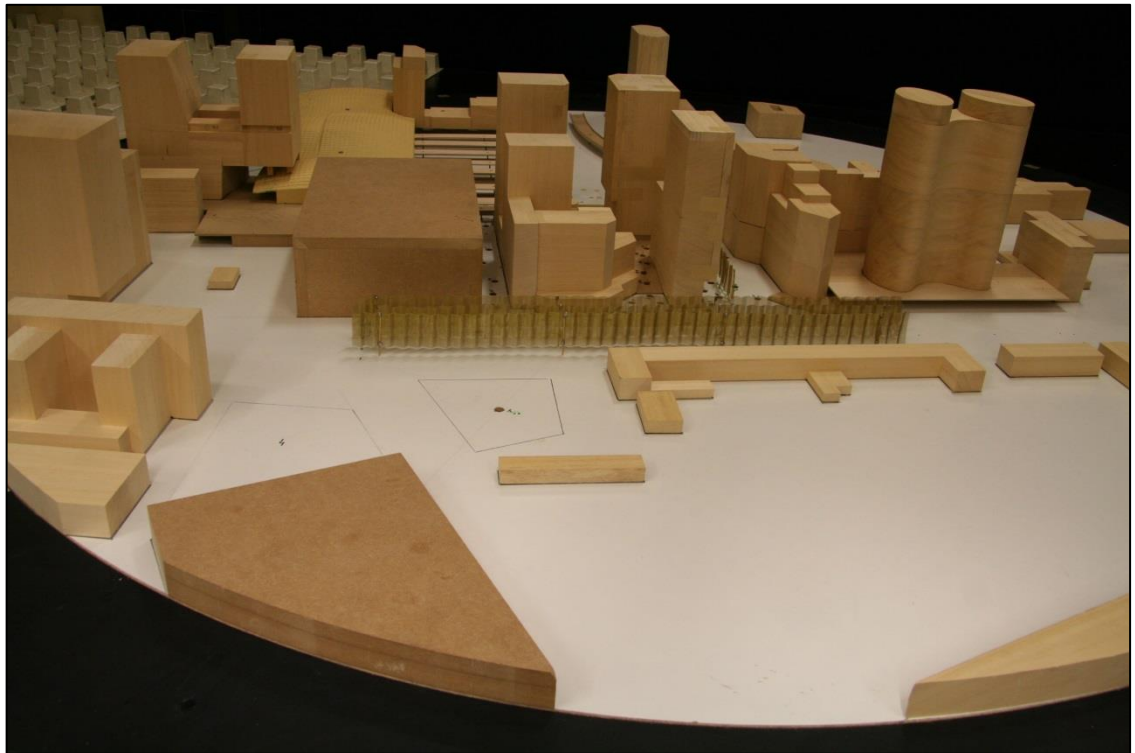
Figuur 42 Lokaal windklimaat bij 5,0 m/s in configuratie 8.



Figuur 43 Jaargemiddelde kans dat 15 m/s wordt overschreden in configuratie 8.



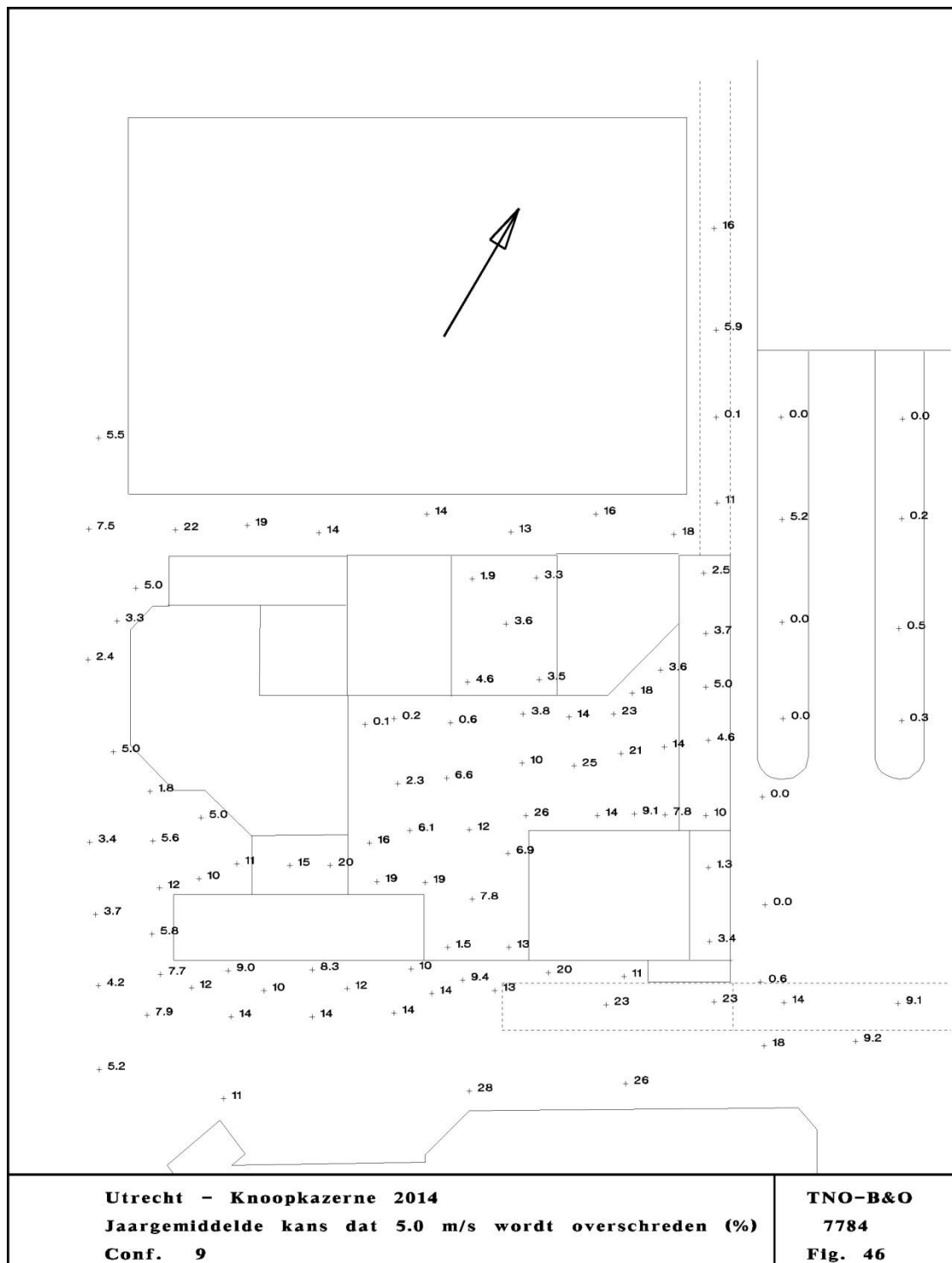
Figuur 44 Kans op windgevaar in configuratie 8.



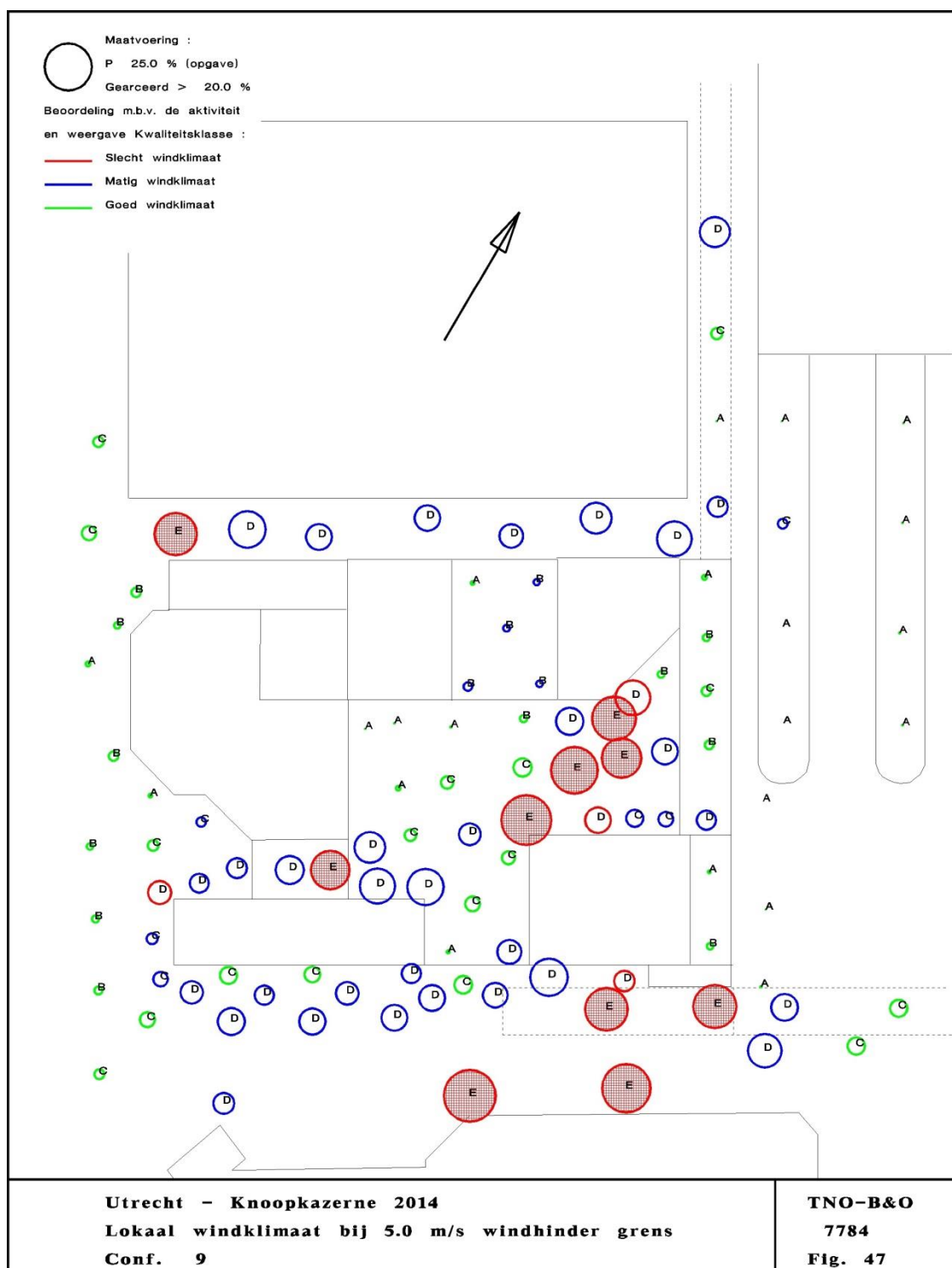
Figuur 45a Configuratie 9, gezien vanuit het zuidwesten.



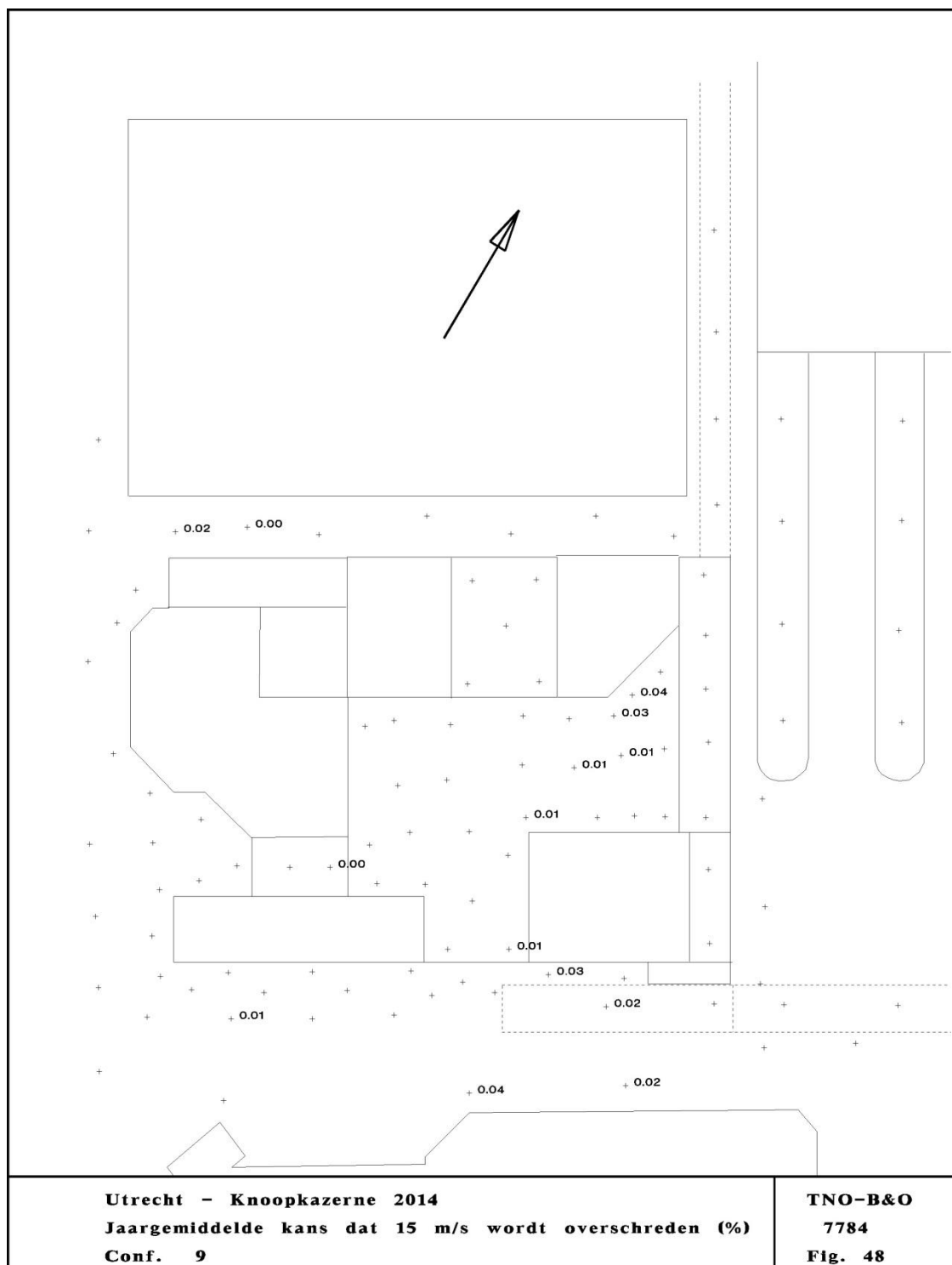
Figuur 45b Configuratie 9, gezien vanuit het noordoosten.



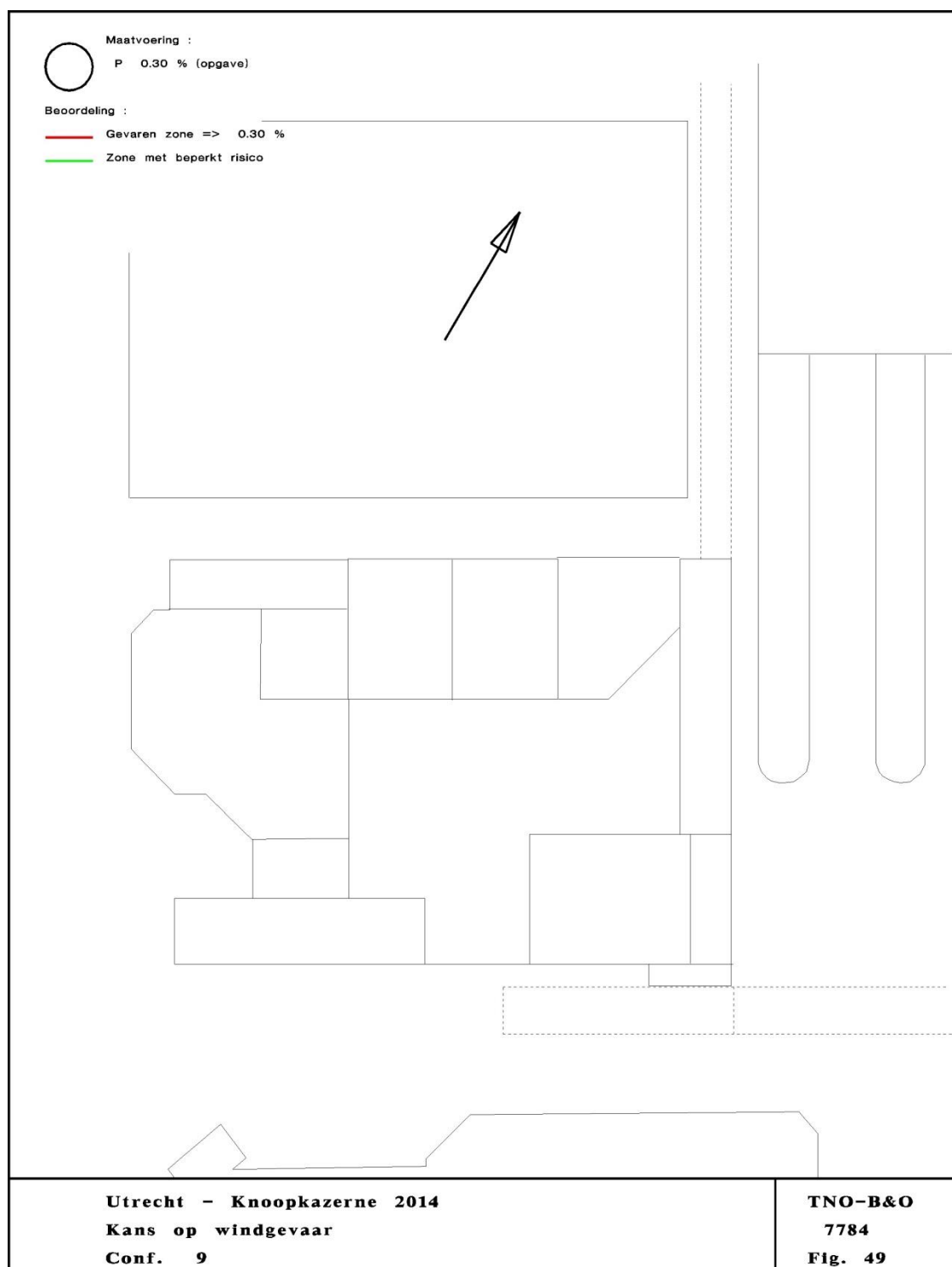
Figuur 46 Jaargemiddelde kans dat 5,0 m/s wordt overschreden configuratie 9.



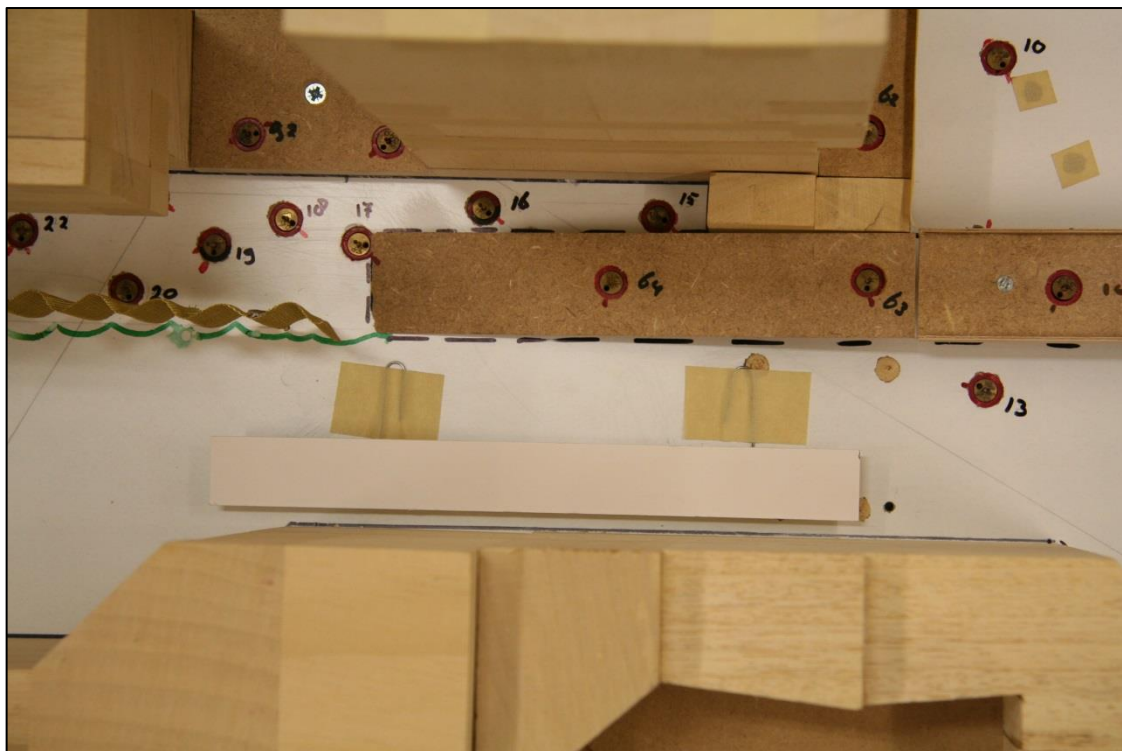
Figuur 47 Lokaal windklimaat bij 5,0 m/s in configuratie 9.



Figuur 48 Jaargemiddelde kans dat 15 m/s wordt overschreden in configuratie 9.



Figuur 49 Kans op windgevaar in configuratie 9.



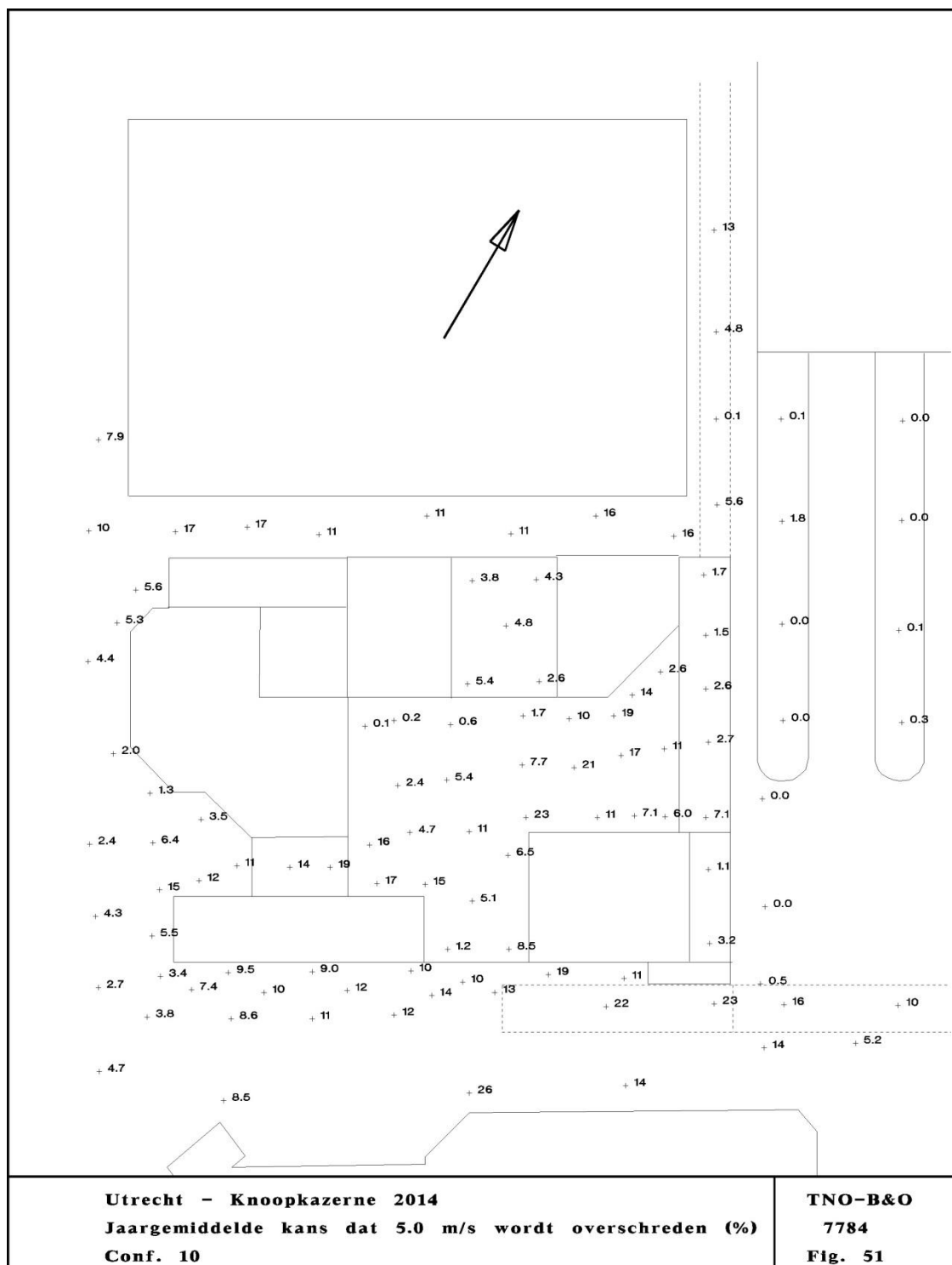
Figuur 50a Configuratie 10 gezien van bovenaf.



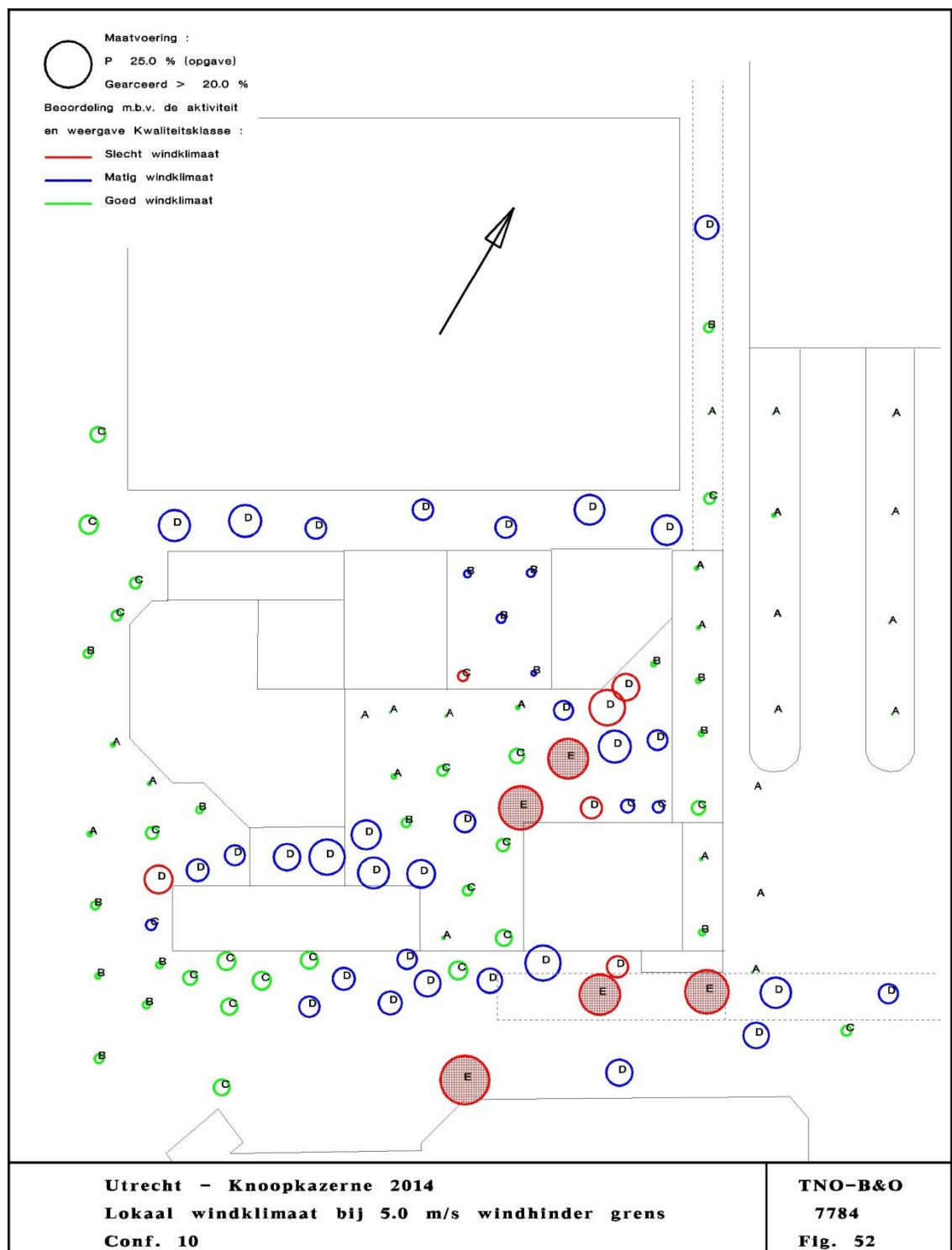
Figuur 50b Configuratie 10, gezien vanuit het noorden.



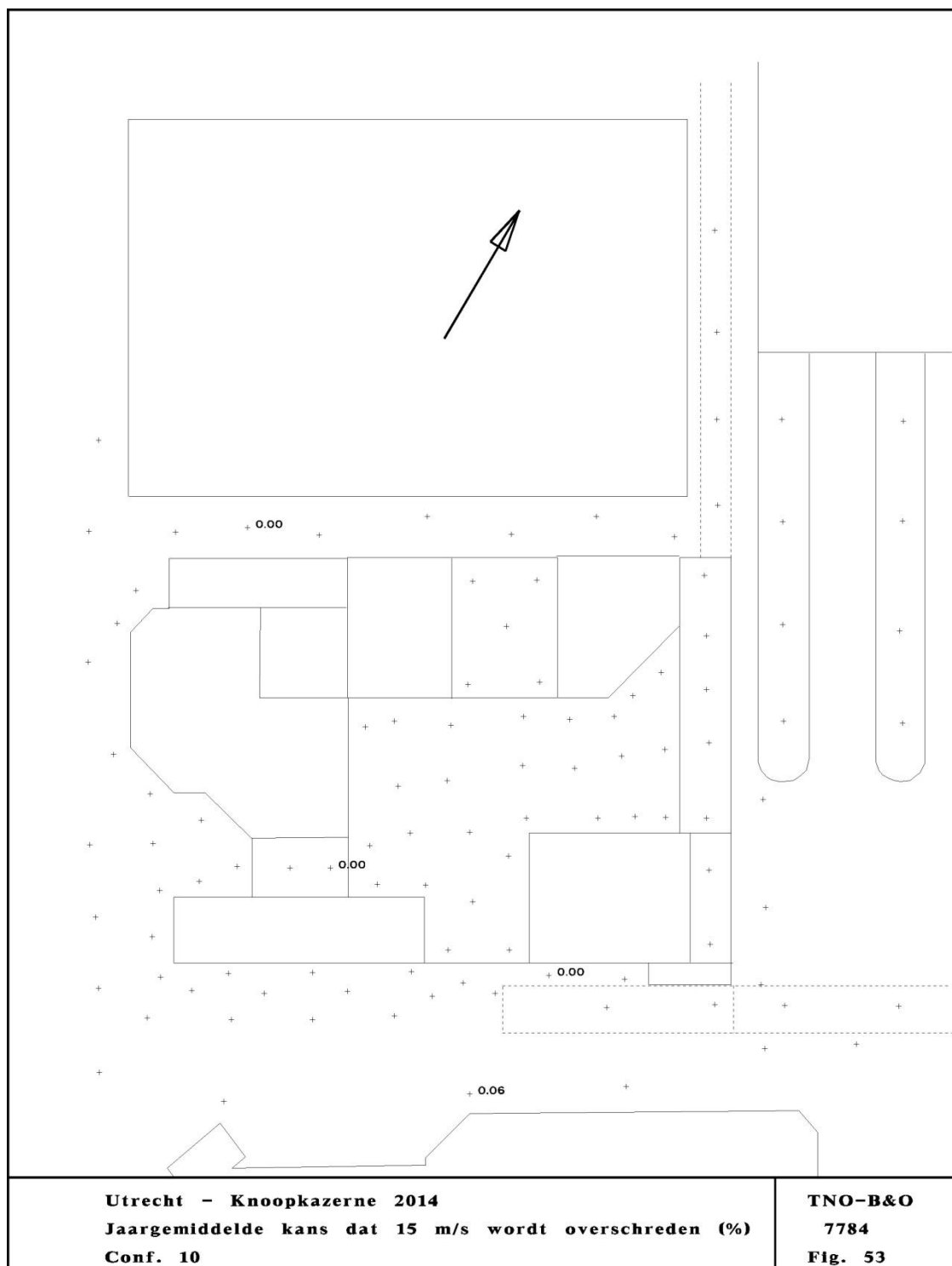
Figuur 50c Configuratie 10, gezien vanuit het noordoosten.



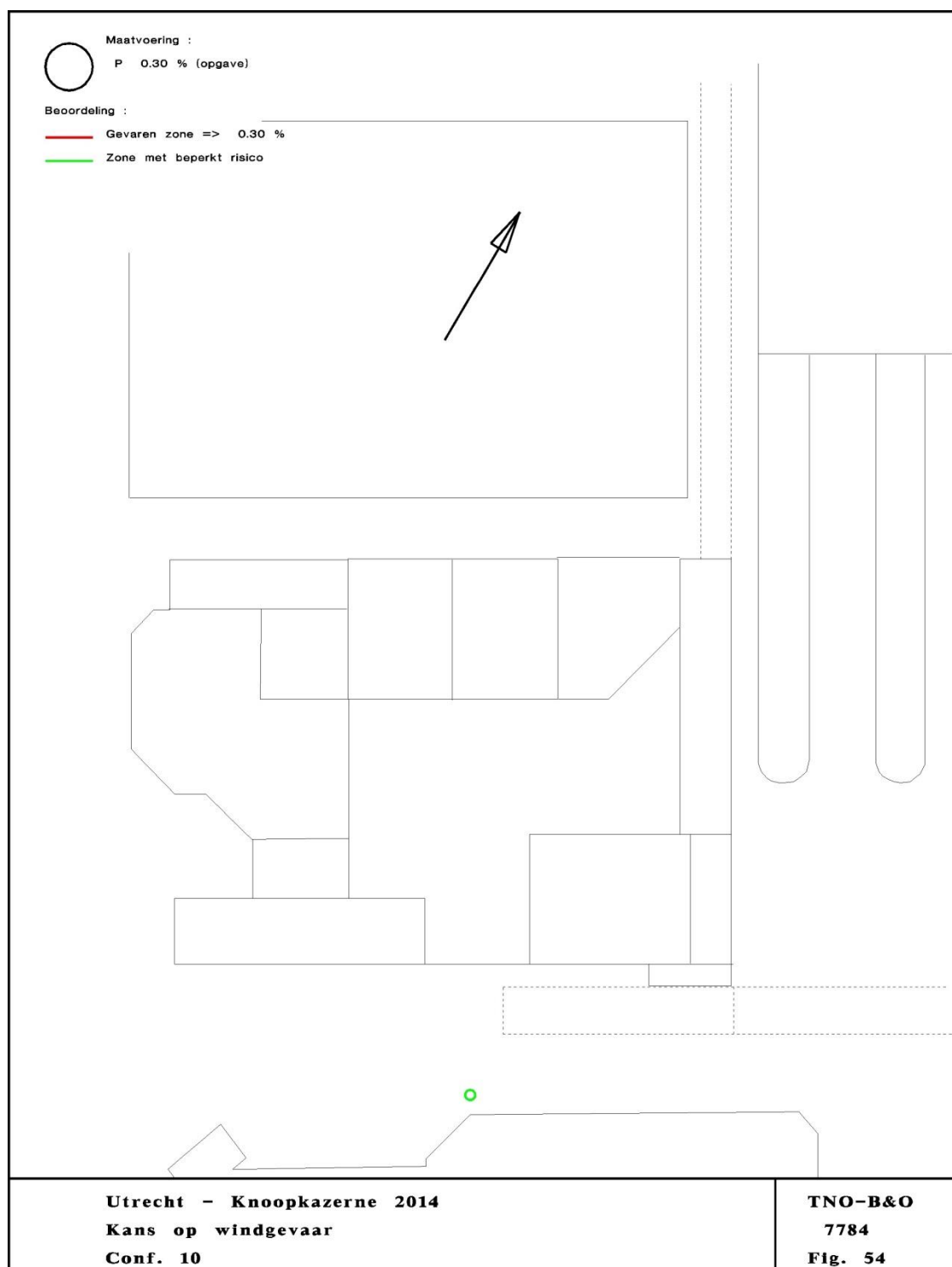
Figuur 51 Jaargemiddelde kans dat 5,0 m/s wordt overschreden configuratie 10.



Figuur 52 Lokaal windklimaat bij 5,0 m/s in configuratie 10.



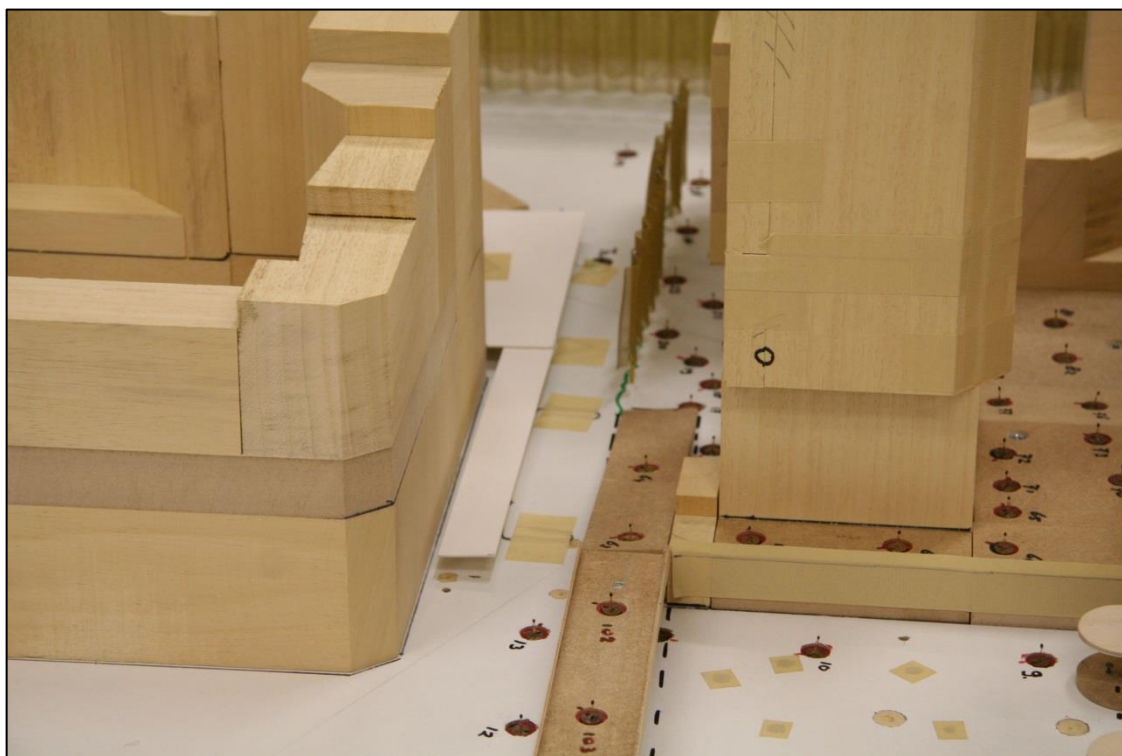
Figuur 53 Jaargemiddelde kans dat 15 m/s wordt overschreden in configuratie 10.



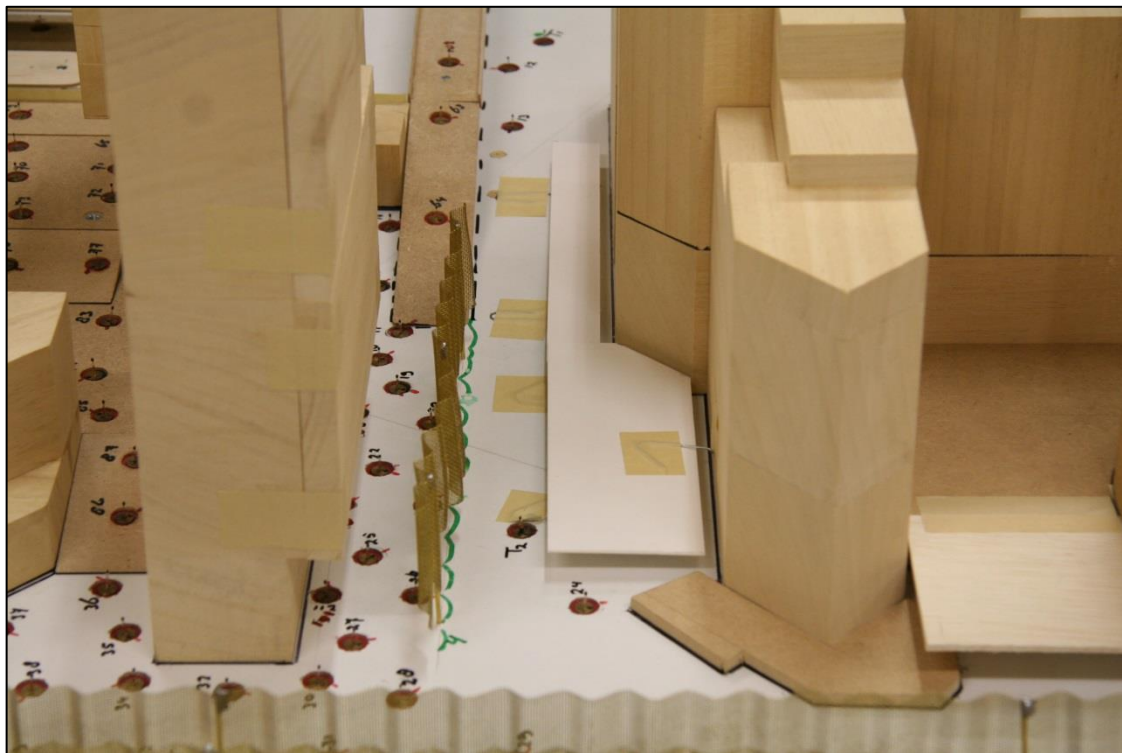
Figuur 54 Kans op windgevaar in configuratie 10.



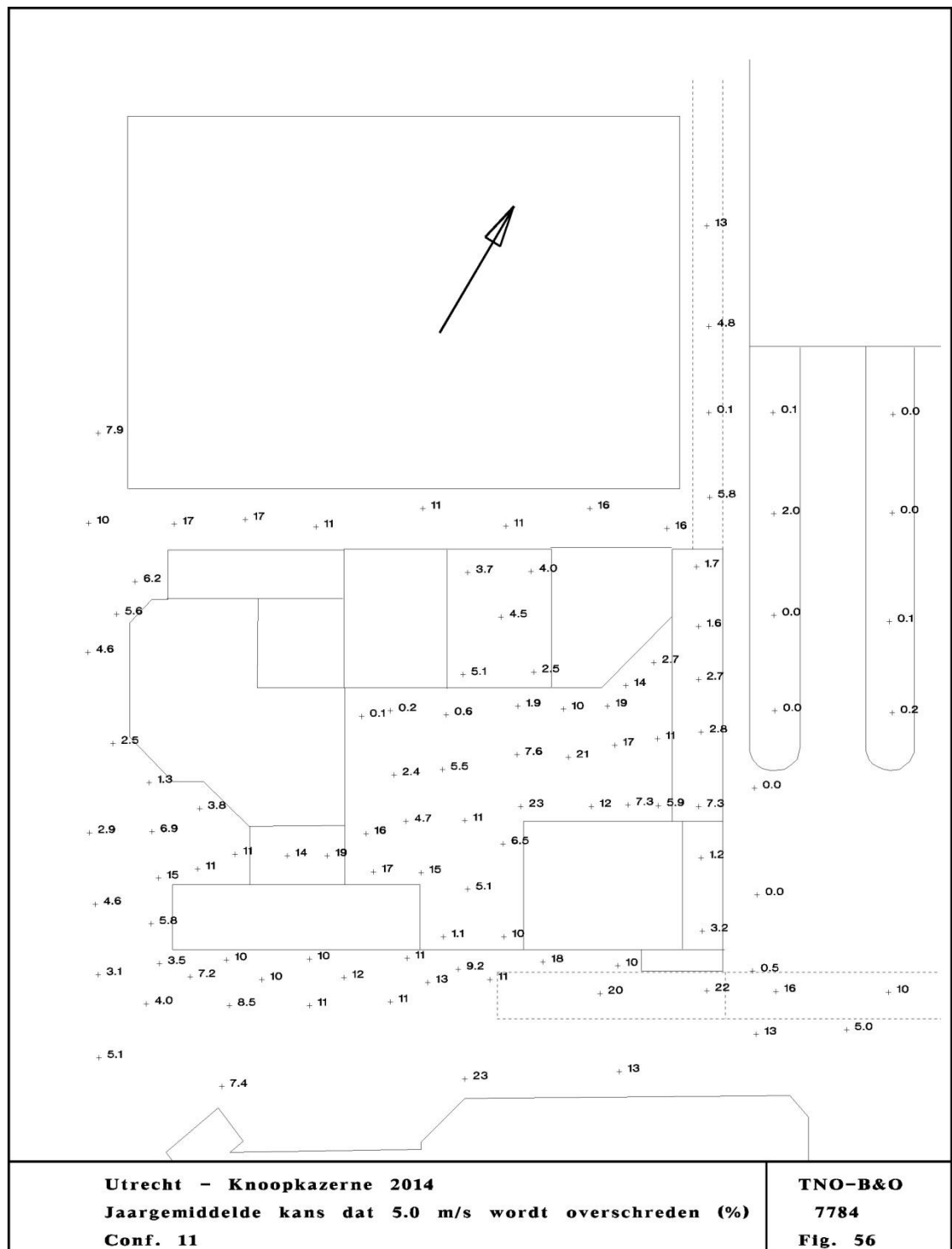
Figuur 55a Configuratie 11 gezien van bovenaf.



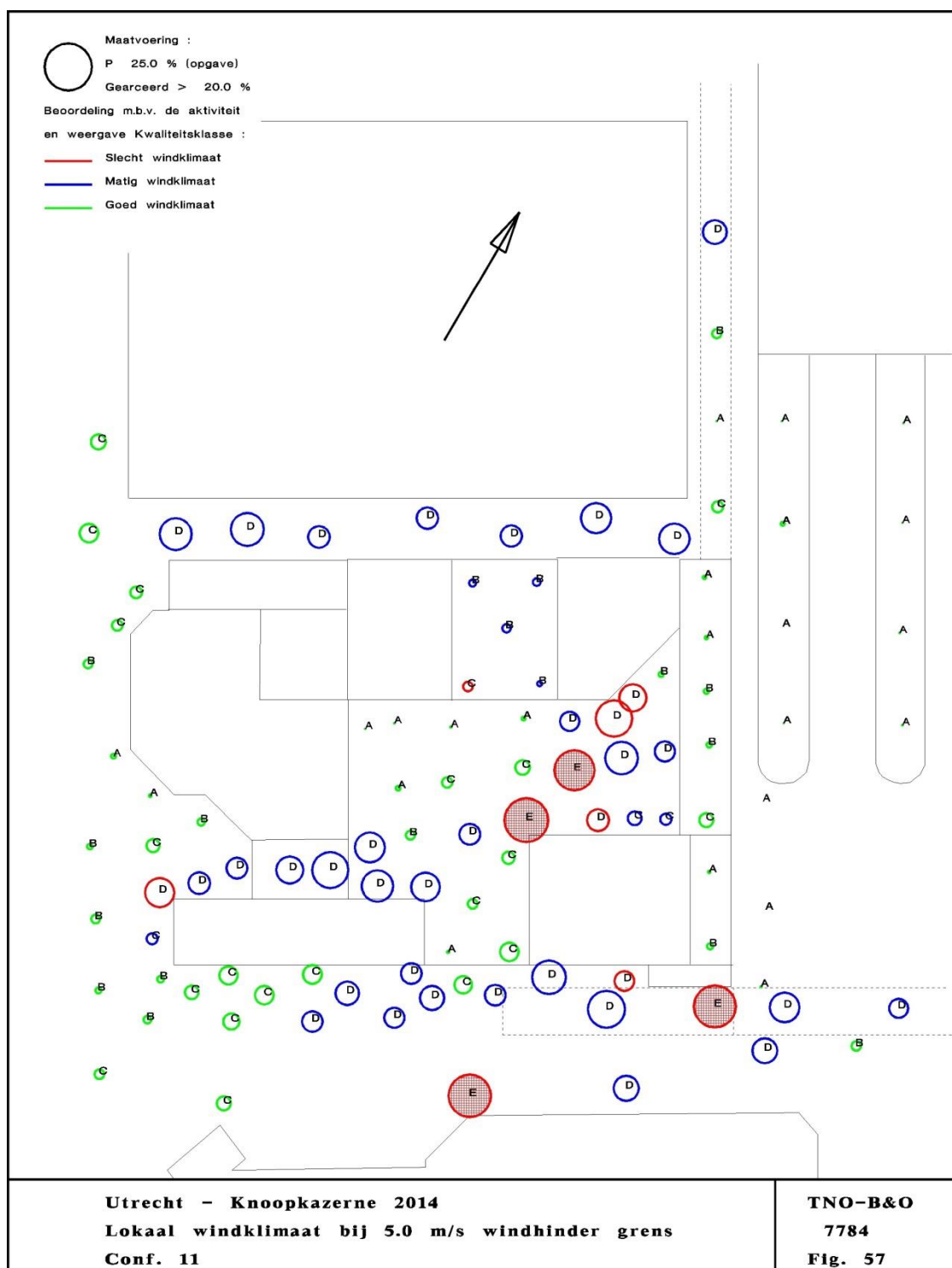
Figuur 55b Configuratie 11, gezien vanuit het noorden.



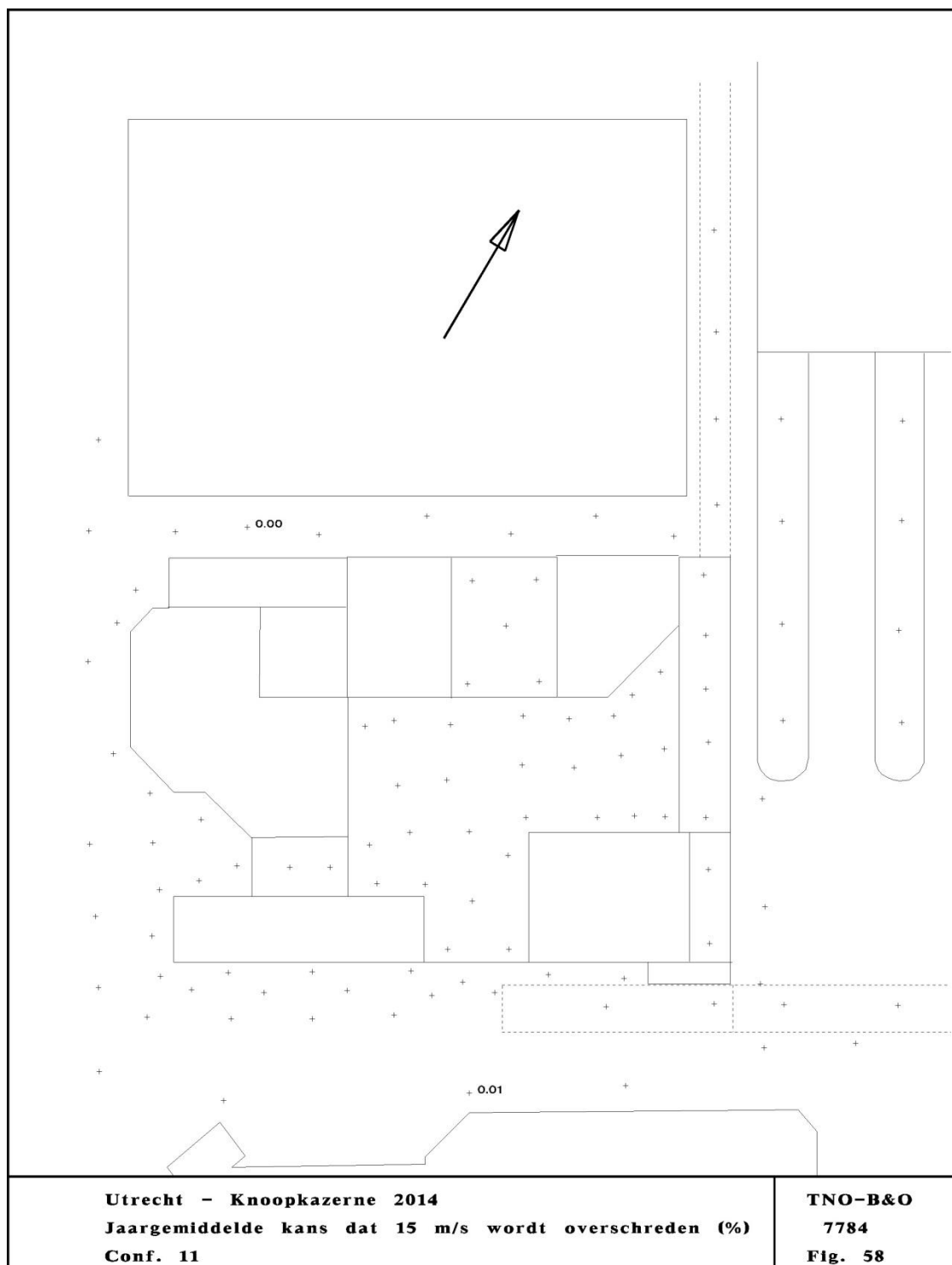
Figuur 55c Configuratie 11, gezien vanuit het noordwesten.



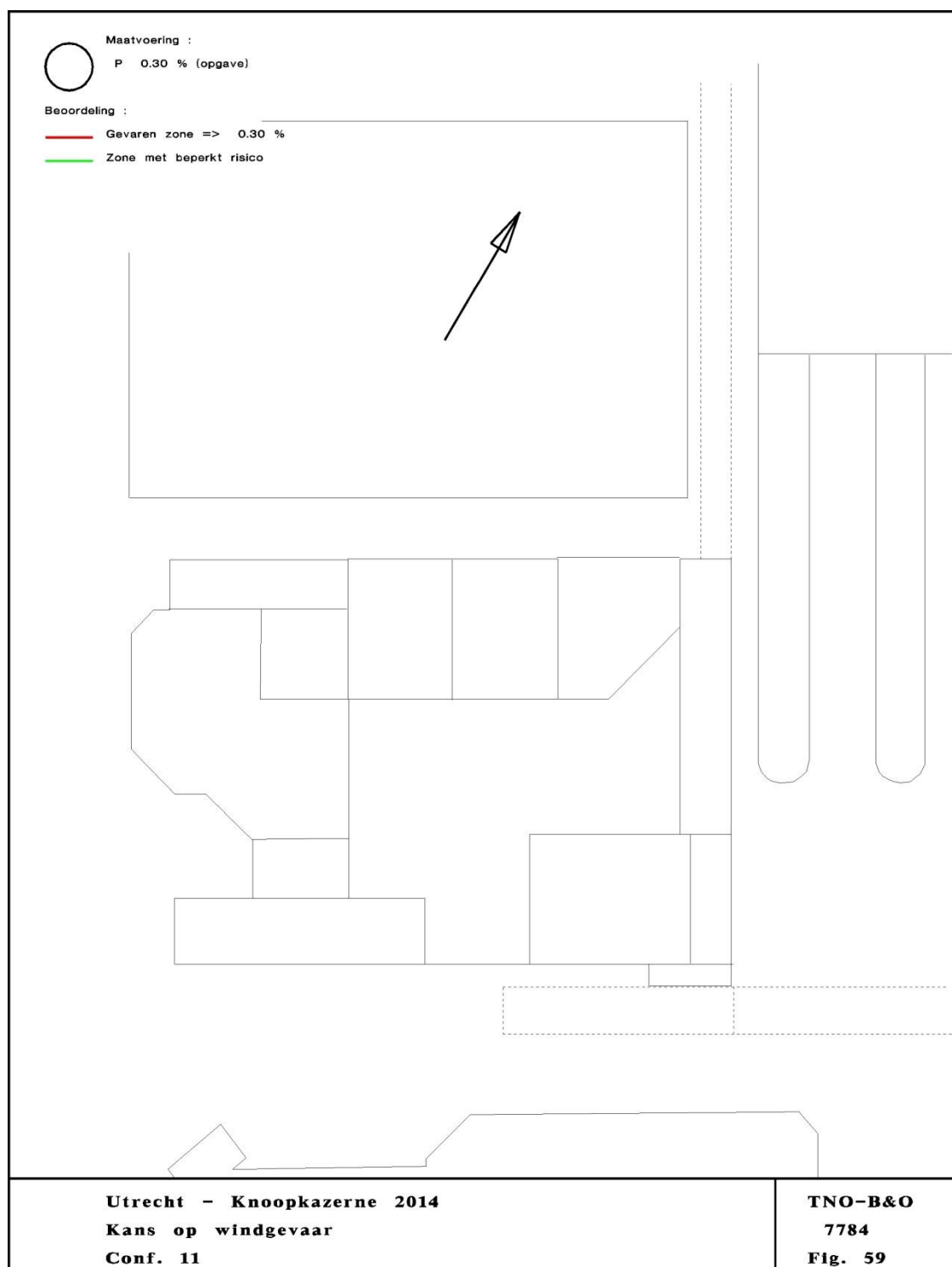
Figuur 56 Jaargemiddelde kans dat 5,0 m/s wordt overschreden configuratie 11.



Figuur 57 Lokaal windklimaat bij 5,0 m/s in configuratie 11.



Figuur 58 Jaargemiddelde kans dat 15 m/s wordt overschreden in configuratie 11.



Figuur 59 Kans op windgevaar in configuratie 11.

B Technisch inlegvel windtunnelonderzoek

Project	Projectgegevens			
Projectnaam	Aanvullend windhinderonderzoek Knoopkazerne complex te Utrecht			
Opdrachtgever	Gemeente Utrecht – Projectorganisatie Stationsgebied			
Projectleider	W.W.R. Koch			
Datum	27 januari 2014			
Model	Algemene gegevens van het model			
schaal	1:300			
blokkeringsgraad	Circa 4,5%			
omvang gemodelleerd gebied	Straal van 350m rond het midden van de Knoopkazerne			
kerngebied	Knoopkazerne te Utrecht			
Omgeving	Zie figuur 1			
gemodelleerd groen	Nabij verschillende wegen in de vorm van zig-zag gevouwen half doorlatend gaas; gemiddelde zomer/winter.			
onderzochte configuraties	11			
Meetopstelling	Informatie over de meetopstelling			
gesimuleerde grenslaag • kalibratie datum	$z_o = 1,0m$ 30-9-1987			
Meetpunten en meethoogte	105 meetpunten op 1,75m t.o.v. maaiveld. De meetpunten 54 t/m 98 liggen op hoogte, evenals de meetpunten 102 t/m 105.			
Onderzochte windrichtingen (minimaal 12 over de windroos)	12; tussen 0° en 330° in stappen van 30°			
Tunnelregeling • kalibratie datum • kalibratie instantie	15-6-2006 intern			
Instrumenten • Kalibratie datum	Thermistoren Laatste controle oktober 2011			
Data verwerking en beoordeling	Informatie met betrekking tot locatie en beoordeling windklimaat			
Amersfoortse coördinaten van de locatie		x=087.478 y=453.456		
toegepaste criteria	V_{dr} (m/s)	Gewenste kwaliteitsklasse ¹	Overschrijdingskans P ($V_{loc} > 5$ m/s (%))	Beoordeling
voor comfort				
Doorlopen	5	D	< 20	matig
Slenteren	5	C	< 10	matig
Zitten	5	B	< 5	matig
¹ regionale correctie		nee		
voor gevaar				
Kwetsbare groepen	15	n.v.t.	0	geen gevaar
Niet kwetsbare groepen	15	n.v.t.	< 0,05	beperkt risico

Niet kwetsbare groepen	15	n.v.t	< 0,3	gevaarlijk
Afgegeven resultaten	Figuren met windklimaat; foto's van de verschillende configuraties			
Opmerkingen & eventuele conclusies van proef overschrijdend belang	-			