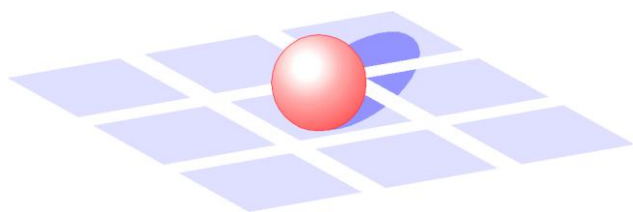


Bijlage 7 – Viewsheds



VAN GRINSVEN ADVIES

Pondera Services BV
De Bendels 9
5391 GD Nuland
tel: (073) 534 10 53
fax: (073) 534 10 28
E: info@ponderaservices.nl

milieuadvies
akoestisch onderzoek
slagschaduw
fotovisualisaties
viewsheds
opbrengstberekeningen

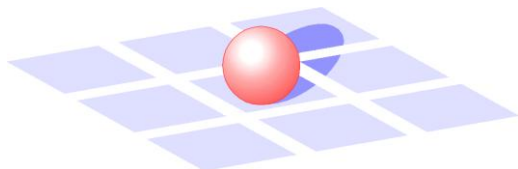
Opdrachtgever: Pondera Consult BV
Welbergweg 49
7556 PE Hengelo (Ov.)

Kenmerk: S10001 ZVI windparken Dintel.docx

Betreft: Onderzoek naar de zichtbaarheid door middel van viewsheds
van dertien windturbines ten behoeve van het MER Windparken
Dintel.

Contactpersoon opdrachtgever:
de heer S. van de Bilt,
tel: (074) 248 99 43.

Behandeld door:
P. Janssen en L. van Grinsven,
januari 2011.



Inhoud

1.	Inleiding	1
1.1	Beschrijving van de locatie	1
1.2	Opzet en leeswijzer	2
2.	Zichtbaarheid van windturbines	3
2.1	Inleiding.....	3
2.2	Zichtbaarheid en zichtbereik	3
2.3	Uitgangspunten viewsheds	8
2.4	Onderzoeksopzet	10
3.	Conclusies	12

Bijlagen

bijlage 1	: coördinaten turbines.....	13
bijlage 2	: zichtafstanden KNMI	14

Figuren

figuur 1	: hoogtecontouren	15
figuur 2	: viewshed SurveyCom turbines.....	16
figuur 3	: viewshed alle turbines	17
figuur 4	: viewshed inclusief zichtafstanden.....	18



1. Inleiding

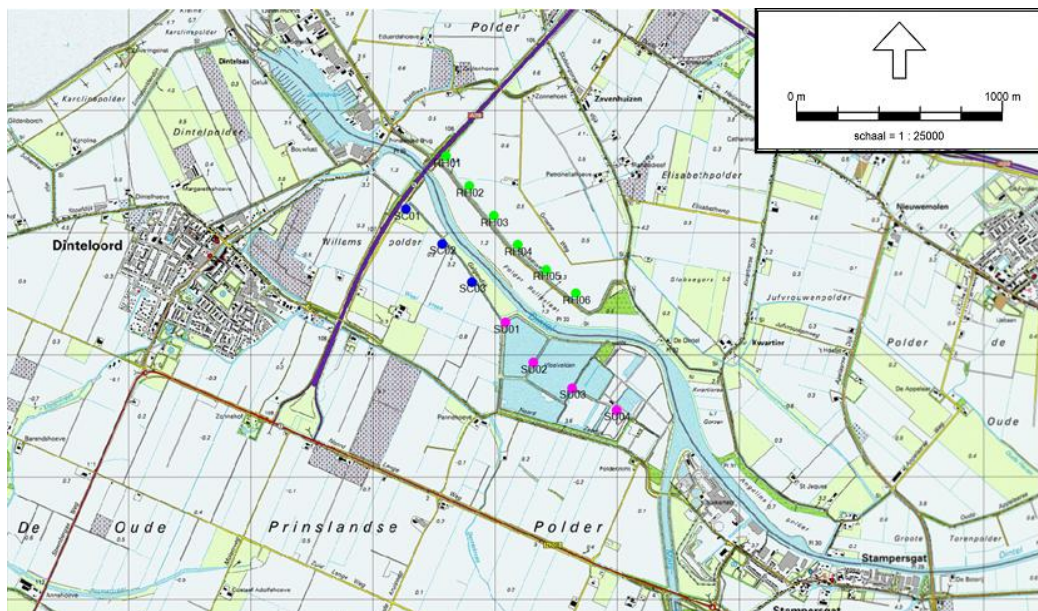
Zichtbaarheid speelt bij nagenoeg ieder windenergieproject op land een prominente rol. Door de omvang van windturbines vallen ze vaak op in het landschap. Beoordelen van de zichtbaarheid en beoordelen van de invloed op het landschap is in objectieve zin lastig. Iedereen neemt immers subjectief waar. Om de zichtbaarheid van windturbines te objectiveren is een methode beschikbaar, de zogenaamde *viewshed*.

Een *viewshed* is een kaart waarop de zichtbaarheid wordt aangegeven. Met behulp van een programma wordt berekend vanaf waar de turbines wel of niet zichtbaar zijn. Gebouwen, bomen, of reliëf kunnen het zicht belemmeren. Op een kaart kan worden weergegeven hoe 'zichtbaar' de turbines zijn in een bepaalde omgeving. In hoofdstuk 2 wordt uitgebreid ingegaan op de uitgangspunten van de *viewshed*.

1.1 Beschrijving van de locatie

Aan weerszijden van de Dintel, in de gemeenten Steenberg en Moerdijk, zijn drie partijen (Raedthuys Windenergie B.V, Suiker Unie en SurveyCom BV) voornemens om drie windparken te ontwikkelen. Deze bestaan uit drie lijnopstellingen langs de rivier de Dintel (zie figuur 1 op pagina 15).

Afbeelding 1-1: locatie.





Er worden op dit moment verschillende varianten onderzocht, waarbij totaal twaalf of dertien windturbines worden geplaatst, afhankelijk van het type turbine. In bijlage 1 zijn de coördinaten van de turbines opgenomen.

Tabel 1-1: varianten.

Varianten	Grote rotorklasse turbine*			Kleine rotorklasse turbine**		
	Aantal	Locatie	nummer	Aantal	Locatie	nummer
Windpark Raedthuys	5	Parallel aan de Rolleplaatweg	1 t/m 5	6	Parallel aan de Rolleplaatweg	01 t/m 06
Suiker Unie	4	Diagonaal over de vloeivelden	1 t/m 4	4	1 alternatief	1 t/m 4
SurveyCom	3	2 alternatieven parallel aan de Galgendijk: Binnendijks Deels buitendijks	1 t/m 3	3	2 alternatieven parallel aan de Galgendijk: Binnendijk Deels buitendijks	1 t/m 3

* Voor de turbines in de grote rotorklasse is de Vestas V112 met een ashoogte van 94 m gebruikt.

** Voor de turbines in de kleine rotorklasse is de Vestas V90 met een ashoogte van 105 m gebruikt

1.2 Opzet en leeswijzer

Na dit inleidende hoofdstuk wordt in hoofdstuk 2 ingegaan op de zichtbaarheid van windturbines en de technische uitgangspunten en achtergronden die daarbij een rol spelen. Hierin worden de uitgangspunten en aannames bij het opstellen van de *viewsheds* toegelicht. Tot slot worden de verschillende *viewsheds* gepresenteerd en conclusies getrokken.



2. Zichtbaarheid van windturbines

2.1 Inleiding

Zichtbaarheid is een ruim begrip en niet eenvoudig te bepalen. Het hangt van een aantal factoren af of iets zichtbaar is. Het menselijke oog heeft beperkingen. Hoewel we scherp kunnen zien en op grote afstand objecten kunnen onderscheiden, zijn er grenzen aan wat we kunnen waarnemen. Ook zijn er meteorologische omstandigheden die de zichtbaarheid beperken. Deze en andere beperkingen die van belang zijn om de term *zichtbaarheid* te begrijpen, worden in paragraaf 2.2 toegelicht. Vervolgens worden de uitgangspunten voor het opstellen van de *viewsheds* toegelicht in paragraaf 2.3. Tot slot volgt hieruit de onderzoeksopzet voor het opstellen en interpreteren van de *viewsheds*.

2.2 Zichtbaarheid en zichtbereik

De afstand waarop een object nog kan worden waargenomen wordt het zichtbereik genoemd. Dit bereik hangt van een viertal factoren af: de eigenschappen van het object, de kromming van de aarde, de visus van het menselijk oog en de meteorologische omstandigheden. Hieronder worden deze factoren kort toegelicht.

2.2.1 Eigenschappen van het object

De afmetingen, materiaal en kleur van elk object bepalen de zichtbaarheid ervan. Een groter object is beter zichtbaar dan een klein object, dat spreekt voor zich. Maar ook de kleur en het materiaalgebruik zijn van belang. Een lichtblauw of wit object valt minder op tegen een lichte achtergrond dan een donker object. Ook zal een object waarvan het materiaal weinig licht reflecteert (ofwel absorbeert), minder goed zichtbaar zijn¹. De turbines zijn voorzien van een matte coating.

Bovendien trekt een bewegend object extra aandacht, doordat een deel van de zenuwen in onze ogen extreem gevoelig zijn voor beweging². Een draaiende windturbine valt daarom meer op dan bijvoorbeeld een radiomast van gelijke omvang.

2.2.2 Kromming van de aarde

Doordat de aarde geen plat vlak is maar een bol, moet rekening gehouden worden met de curve van deze bol, ofwel de kromming van de aarde. Door de kromming van de aarde verdwijnen objecten achter de horizon naarmate de afstand tussen de waarnemer en het object groter wordt (zie schematische weergave in Afbeelding 2-2), ook wel kimduiking genaamd. Bij een waarnemingshoogte van 1,6 m (ooghoogte), is dit effect merkbaar vanaf ongeveer 4,5 km. Verder weg zal steeds een groter deel aan de onderzijde van het object niet meer te zien zijn ('x' in Afbeelding 2-1).

¹ Lörzing et al, 2007: zichtbaarheid van de Belle van Zuylen-toren

² Martinez-Condo & Macknick, 2007: Venster op de Geest



De theoretische afstand waarop een object geheel zal verdwijnen is als volgt te berekenen:

$$x = \frac{r}{\sin \beta} - r$$

Waarin:

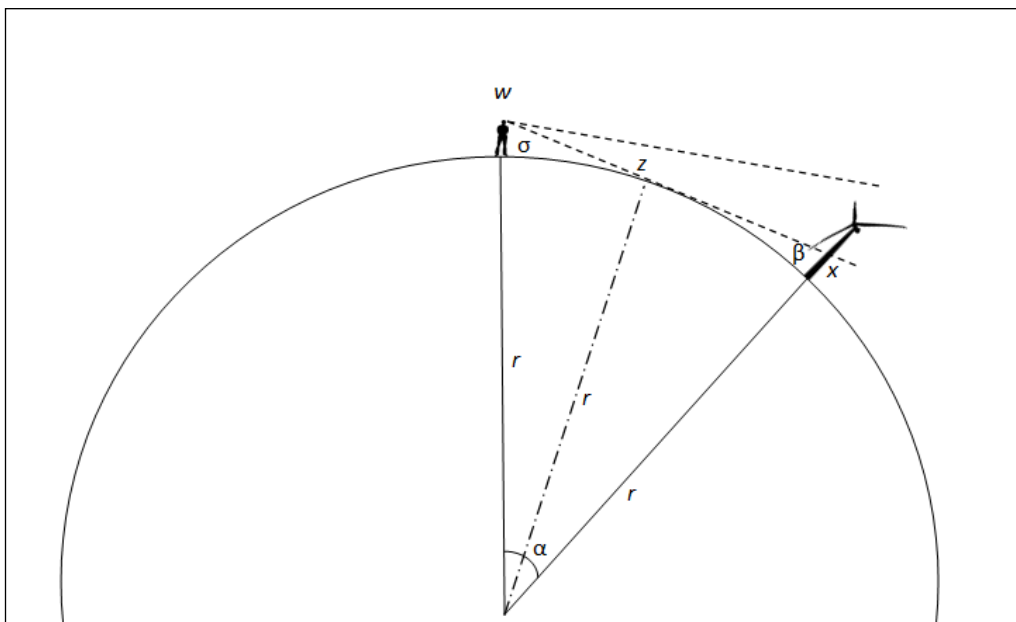
$$\beta = 180^\circ - \alpha - \sigma \quad \alpha = \frac{d * 360^\circ}{2 \pi r} \quad \sigma = \arcsin \left[\frac{r}{r+w} \right]$$

d = kijkafstand in m

r = straal van de aarde (6.378.000 m)

w = ooghoogte waarnemer (1,60 m)

Afbeelding 2-1 schematische weergave kromming van de aarde en kimduiking



Bron: Lörzing et al, 2007

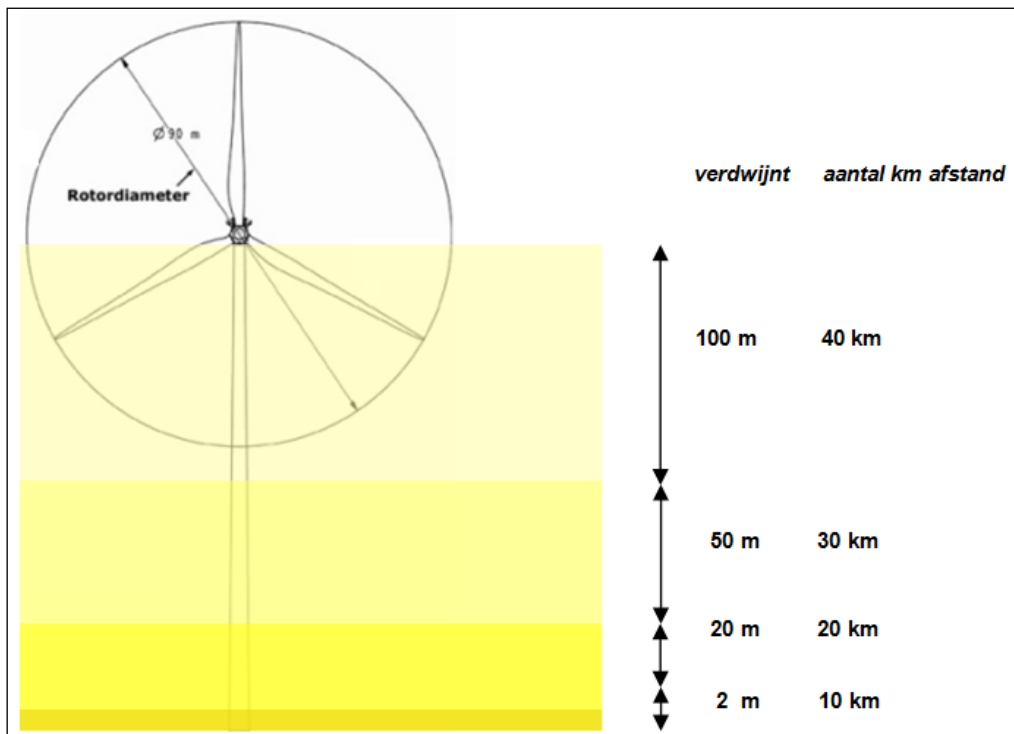
In de volgende tabel zijn enkele kernwaarden bij benadering weergegeven voor verschillende afstanden, waarbij opvalt dat het deel van de windturbine dat niet meer te zien is snel groter wordt naarmate de afstand toeneemt. Een windturbine met 150 m tiphoogte is op een afstand van ongeveer 48 km geheel aan het zicht onttrokken.

Tabel 2-1: verdwijnafstanden door kromming van de aarde.

Afstand tot object	Deel niet meer zichtbaar
10 km	2 m vanaf aardoppervlak
20 km	20 m vanaf aardoppervlak
30 km	50 m vanaf aardoppervlak
40 km	100 m vanaf aardoppervlak
48 km	150 m vanaf aardoppervlak

De verdwijnafstand uit Tabel 2-1 kan ook schematisch worden weergegeven, zie Afbeelding 2-2.

Afbeelding 2-2: kimduiking windturbine.



2.2.3 Visus van het menselijk oog

Het menselijk oog is een zeer gevoelig instrument met een scherp waarnemingsvermogen. Om te bepalen wat het maximale zichtbereik is, moet rekening gehouden worden met de gezichtsscherpte ofwel 'visus' van het menselijk oog. Uit de literatuur kan worden afgeleid dat onder optimale omstandigheden (hoog contrast en goede lichtomstandigheden) het menselijk oog van een jong en gezond persoon, twee objecten van elkaar kan onderscheiden (middenin het blikveld) wanneer deze 0,3 boogminuten uit elkaar liggen³. Dit betekent dat een voorwerp van 1 m breed omgerekend nog zichtbaar is op 10 km. Een windturbinemast van 4 m doorsnede kan dus theoretisch, bij optimale omstandigheden, op 40 km afstand nog worden onderscheiden van de achtergrond.

Echter niet alle onderdelen van de windturbine hebben een gelijke omvang en zijn dus niet op dezelfde afstand nog zichtbaar. De belangrijkste onderdelen van de turbine worden daarom onderscheiden, waarbij wordt uitgegaan van de afmeting van een bepaald onderdeel:

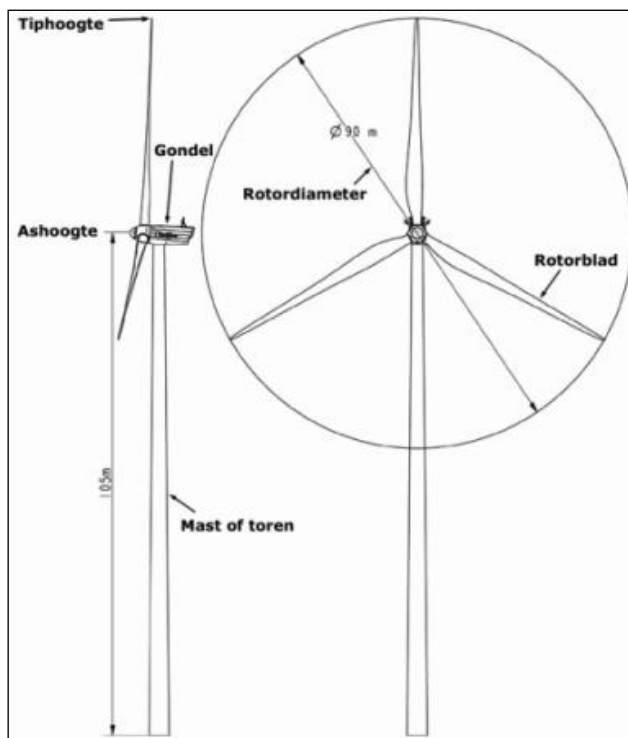
Tabel 4: verdwijnafstand turbineonderdelen Vestas V90 en V112.

Turbineonderdeel	Afmeting onderdeel [m]*		Verdwijnafstand [km]	
	V90	V112	V90	V112
Mast (gemiddelde Ø)	3,0	3,6	30	36
Gondel (hoogte)	3,9	4,0	39	40
Rotorbladen (max. breedte)	3,5	4,0	35	40
Rotortip	1,0	1,0	10	10

* Bron: Vestas, 2010

³ Clarkvision, 2009

Afbeelding 2-3: afmetingen windturbine.



Bron: Vestas, 2010

Deze afmetingen zijn van belang bij het berekenen van de *viewshed*. Hierbij wordt namelijk uitgegaan van het hoogste zichtbare punt van de turbine, de tip van de rotor in de hoogste stand. Tot een afstand van 10 km is het hele rotorblad zichtbaar, daarna zal de zichtbaarheid echter afnemen. De berekening wordt uitgevoerd tot op maximaal 20 km, omdat de windturbine daarbuiten een dusdanig klein object aan de horizon is dat het niet meer relevant is voor deze analyse. De omstandigheden zijn echter niet altijd goed genoeg om dit maximale zichtbereik ook daadwerkelijk te kunnen waarnemen.

2.2.4 Meteorologische zichtomstandigheden

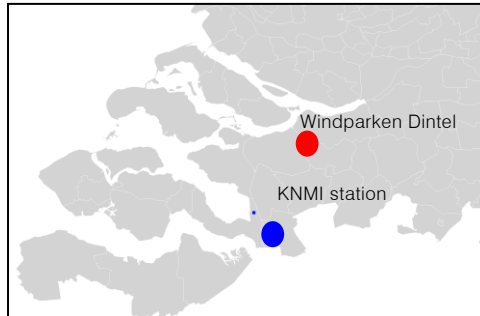
De belangrijkste beperkende factor naast de omvang van het object, zijn de meteorologische omstandigheden. Het zicht wordt vaak beperkt door (waterstof)deeltjes in de lucht, welke de doorlaatbaarheid van de lucht verminderen en daarmee het zicht verkleinen⁴. Het KNMI berekent uit dagelijkse metingen voor 26 weerstations in Nederland de maximale zichtafstand. De langjarige gemiddelden gemeten over 2001-2010 hiervan voor station Woensdrecht zijn in Tabel 2-2 opgenomen.

Tabel 2-2: langjarig gemiddelde zichtafstand, KNMI station Woensdrecht periode 2001-2010.

Zichtafstand	Percentage van de tijd
> 5 km	84,6%
> 10 km	55,8%
> 20 km	44,7%
> 30 km	15,9%

⁴ KNMI (2010)

Afbeelding 2-4: KNMI station Woensdrecht.



Dit kan visueel worden weergegeven door afstandscirkels op kaart te tekenen met de verschillende zichttijden. Afbeelding 2-5 geeft deze weer rond de windparken Dintel. Er is in deze weergave geen rekening gehouden met seizoensvariabelen, maar een langjarig gemiddelde berekend in verschillende bandbreedtes. De verschillende zichtafstanden zouden eigenlijk vloeiend in elkaar over moeten lopen, maar er is vanwege de eenvoud

gewerkt met de zichtbaarheid binnen 5, 10 en 20 km. Gedurende 84,6% van het jaar is het zicht > 5 km, ofwel de straal van de binnenste gele cirkel. Een persoon die aan de rand van deze cirkel staat kan dus gedurende 84,6% van de tijd minimaal één turbine zien.

Afbeelding 2-5: zichtafstanden rond windparken Dintel⁵.



Legenda:

- 84,6% van de tijd > 5 km zicht
- 55,8% van de tijd > 10 km zicht
- 44,7% van de tijd > 20 km zicht
- Windturbines

De afbeelding geeft dus aan binnen welk gebied (gele cirkels) gedurende welk percentage van het jaar, het zicht theoretisch goed genoeg is om één of meer turbines te kunnen zien, vanwege meteorologische omstandigheden. Dit betekent echter ook dat het maximale theoretische zicht berekend vanuit de visus van het menselijk oog (en de kromming van de aarde) niet of nauwelijks gehaald wordt in de praktijk. De meteorologische omstandigheden vormen dus de voornaamste

⁵ Zie de figuren achterin voor grotere weergave van kaartmateriaal



beperkende factor, naast obstakels in het landschap. Hierop wordt in de volgende paragraaf verder ingegaan.

2.3 Uitgangspunten viewsheds

In de vorige paragraaf zijn de theoretische beperkingen besproken ten aanzien van de zichtbaarheid, die in acht moeten worden genomen bij de interpretatie van de *viewsheds* in dit onderzoek. In deze paragraaf zal worden ingegaan op deze *viewsheds* en de uitgangspunten die hiervoor worden gehanteerd.

Zoals in de inleiding aangegeven zal een computerprogramma worden gebruikt voor de berekeningen. Dit programma creëert een puntengrid van 5x5 m² en zendt vanaf ieder punt in de omgeving (punt *w*) een denkbeeldige lichtstraal naar de turbine en analyseert vervolgens of deze straal ook bij de turbine 'aankomt'. De tiphoogte van de turbine is hierbij het referentiepunt (zie Afbeelding 2-3). Komt de straal aan, dan is de turbine dus zichtbaar voor een waarnemer die zich op punt *w* bevindt. Echter wanneer de waarnemer zich achter een obstakel bevindt, wordt het zicht belemmerd en zal een achtergelegen object aan het oog onttrokken worden (Afbeelding 2-6).

2.3.1 TOP10NL

Voor het opstellen van de *viewshed* worden deze obstakels in het landschap gedefinieerd op basis van het TOP10NL bestand van de topografische dienst van het Kadaster in een straal van 25 km rondom de windparken. Dit kaartmateriaal bevat de meest gedetailleerde en actuele topografische informatie die beschikbaar is in schaal 1 op 10.000. Ieder perceel en object in deze kaart is apart gedefinieerd en heeft afzonderlijke eigenschappen. Voor het opstellen van de *viewshed* zijn verschillende objecten en percelen met gelijke eigenschappen gegroepeerd, waarvoor vervolgens universele hoogtes worden gedefinieerd vanuit het TOP10NL bestand (zie Tabel 2-3).

Tabel 2-3: hoogten van obstakels TOP10NL.

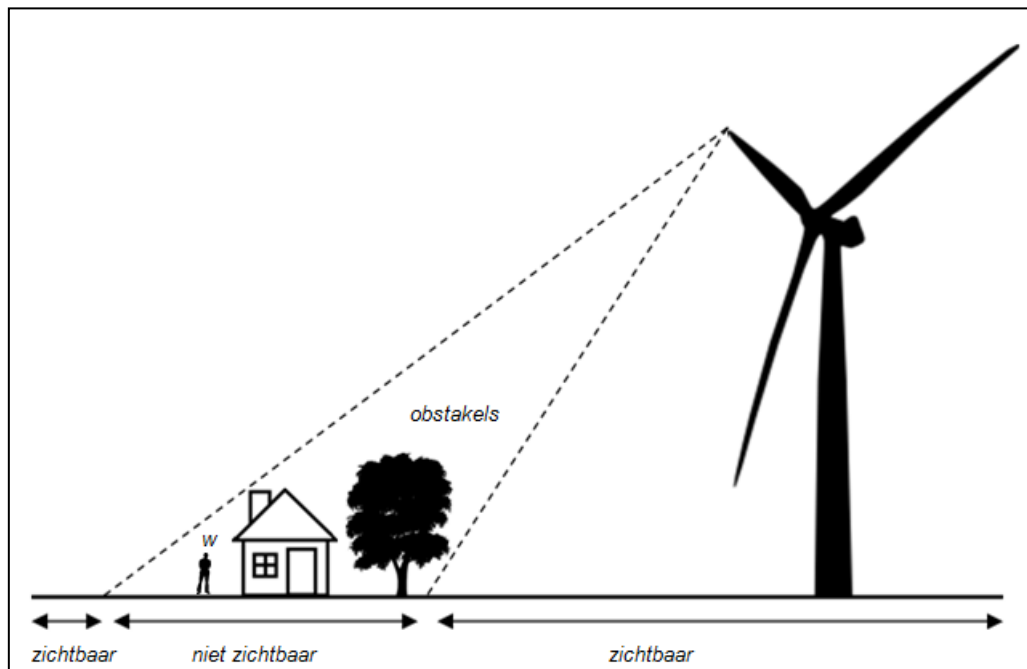
TOP10NL	Omschrijving	Hoogte [m]
Vlakken TD	Woonhuis, bebouwing of schuur	8
	Flatgebouw meer dan 2 verdiepingen	30
	Glazen gebouw voor teelt van gewassen	10
	Naaldbos/loofbos/gemengd bos	15
	Boomgaard, boomkwekerij of fruitbomen	3
Punten TD	Individuele bomen	15
Lijnen TD	Dijk of verhoging > 1,0 m boven maaiveld	2
	Dijk of verhoging > 2,5 m boven maaiveld	5
	Afscheiding van steen of plantaardig materiaal	2
	Geluidswal of geluidscherm (niet doorzichtig)	5
	Boombeplanting in rijen langs wegen	15

Uiteraard kunnen de hierboven aangegeven hoogten in individuele gevallen afwijken. Om het grote databestand toch werkbaar te houden worden standaardhoogten gekozen, welke een gemiddeld beeld geven van de verschillende typen objecten/groepen.

2.3.2 Beperkingen objecten en nauwkeurigheid

Er bestaan enkele beperkingen aan de gekozen methoden. Zo worden alle beplantingen (bomen) als massief gezien en wordt geen rekening gehouden met de seizoenen (blad aan de boom). Dit is echter niet bezwaarlijk om de volgende redenen: ten eerste is het schaalniveau van de *viewshed* te groot om dergelijk relatief geringe verschillen mee te nemen. Ten tweede zou dit dan ook voor agrarische gewassen moeten worden bepaald. Maïs kan het zicht bijvoorbeeld aanzienlijk beperken. Nu zijn alle agrarische percelen gedefinieerd als maaiveldhoogte nul.

Afbeelding 2-6: schematische weergave zichtbeperking door obstakels (niet op schaal).



Bron: Lörzing, et al, 2007 (bewerking Pondera Services)

Ook is bij het opstellen van de *viewshed* geen rekening gehouden met de vraag of de waarnemer (w) wel op ieder willekeurig punt in het berekende grid kan staan, met andere woorden, of dit punt wel relevant is voor de beoordeling van de zichtbaarheid. Denk hierbij aan een punt middenin het water of middenin een agrarisch perceel.

2.3.3 Hoogtekaarten reliëf

Naast objecten is natuurlijk ook het reliëf van de bodem van belang. Ondanks het feit dat Nederland relatief geringe hoogteverschillen kent, kunnen lokale verschillen van enkele (tientallen) meters wel een groot effect hebben. Een stuwwal kan het zicht over een groot gebied gedeeltelijk belemmeren en moet dus worden meegenomen in de *viewshed* berekening. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de hoogte-informatie uit het TOP10NL lijnbestand.

Afbeelding 2-7: hoogtelijnen omgeving Dinteloord (zie ook figuur 1 op pagina 15).



Legenda:

- Hoogtelijnen
- Perceelgrenzen
- Windturbines

Dit bestand definieert enkele hoogtelijnen met een onderlinge afstand van 2,5 m. Deze gegevens worden vervolgens gecombineerd met Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data uit een hoogtemodel van NASA. Hierin is het reliëf van het aardoppervlak in een grid van 16x20 m² in kaart gebracht voor vrijwel alle landoppervlak van de aarde. In Afbeelding 2-7 is een uitsnede van de kaart opgenomen met daarin de hoogtecontouren.

2.4 Onderzoeksopzet

Het zichtbaarheidsonderzoek bevat de volgende stappen:

2.4.1 Input data

Met behulp van het computerprogramma WindPro en een GIS programma worden de TOP10NL Data en hoogtekaarten ingeladen en worden de windturbines geplaatst en gedefinieerd.

2.4.2 Opstellen varianten

Er zijn vele varianten mogelijk voor de windparken, zoals ook uit Tabel 1-1 blijkt. Omdat de verschillende opstellingen in tiphoogte gelijk zijn en dit als uitgangspunt dient voor de berekening, zullen de uitkomsten van de berekeningen niet verschillen voor de V112 en de V90 turbine binnen een straal van 10 km. Daarbuiten kunnen wel geringe verschillen optreden, echter de omvang van de turbine ten opzichte van de horizon neemt zodanig af dat deze verschillen verwaarloosbaar zijn. Er is gekozen voor een *worst case*, *best case*-benadering, waarbinnen alle andere varianten vallen. In de *worst case* worden alle dertien turbines meegenomen en wordt de tiphoogte aangehouden als meethoogte. Vervolgens wordt ook een 'best case' op dezelfde manier gerund, waarbij alleen de kleinst mogelijke



opstelling is gebruikt. Dit betreft alleen de drie turbines van SurveyCom binnendijks.

De uitkomsten van de modellen geven twee *viewsheds* (zie figuur 2 en figuur 3) met een minimale en maximale variant en maken vergelijkingen onderling mogelijk. Hierbij moet wel vermeldt worden dat de schaal van de kaarten dusdanig is, dat verschillen minimaal en lastig definieerbaar zijn.

2.4.3 Correctie

Het computerprogramma houdt bij het opstellen van de *viewsheds* echter geen rekening met de in 2.2 opgenomen beperkingen als visus, meteorologische omstandigheden en kimduiking. Dit moet dus door een correctie achteraf worden uitgevoerd. Hier is gekozen voor een correctie voor visus en meteorologische omstandigheden.

De visus verschilt voor de verschillende turbines in de varianten (een V112 heeft eenzelfde tiphoogte als een V90, echter de omvang van bepaalde onderdelen is groter). Op basis van Tabel 2-1 kan worden vastgesteld dat turbines V90 en V112 respectievelijk niet meer geheel zichtbaar zijn op een afstand groter dan 10 km. Dit wordt gehanteerd als buitenste grenscirkel, voor de beoordeling van de zichtbaarheid.

Vervolgens wordt een correctie voor de meteorologische zichtafstand toegepast door drie afstandscirkels (gelijk aan die in Afbeelding 2-5) toe te voegen. Door beide correcties op dezelfde kaart te laten zien, wordt een realistisch scenario weergegeven van de zichtbaarheid van de turbines in het project Dintel.



3. Conclusies

Voor het project Dintel zijn een tweetal *viewsheds* opgesteld, op basis van een *worst case* en een *best case*-benadering. Uit de opgestelde *viewsheds* blijkt dat de zichtbaarheid sterk afneemt naarmate de afstand toeneemt. Met name in het zuidoosten en zuidwesten is dit duidelijk zichtbaar. In dit gebied zorgt vooral reliëf voor de afname van zichtbaarheid. Ook is te zien dat vanuit vlakke, open gebieden zoals de omliggende weilanden en het open water van het Volkerak en het Hollands Diep de turbines goed zichtbaar zullen zijn.

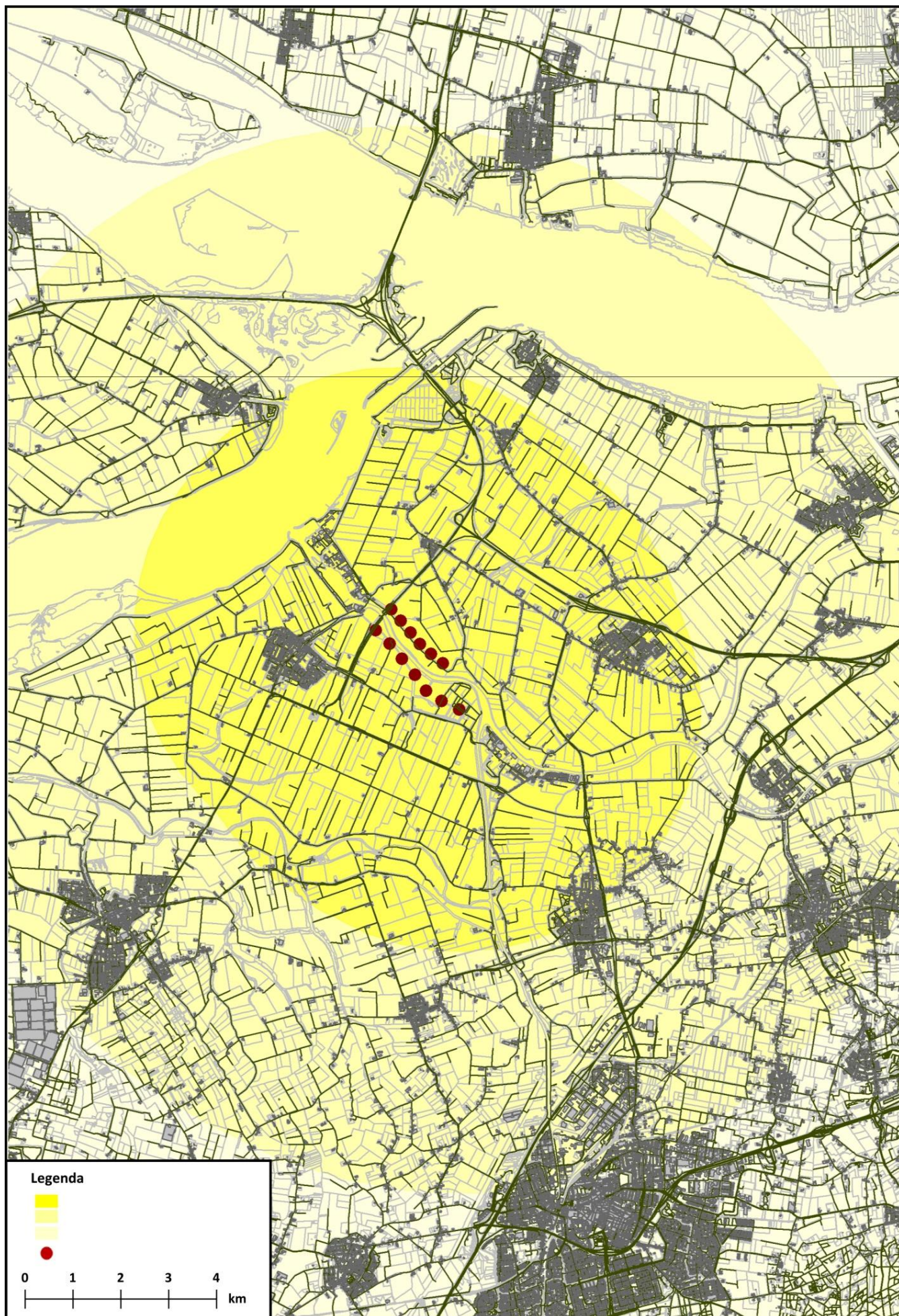
Tot slot kan worden opgemerkt dat de varianten op een dergelijke grote schaal weinig onderscheidend zijn en slechts in de details enige verschillen vertonen. Dit is verklaarbaar doordat de obstakels de grootste belemmering vormen voor de zichtbaarheid en deze uiteraard voor beide varianten gelijk blijven. Het maakt voor de kwantitatieve zichtbaarheid weinig verschil of drie of dertien turbines worden gerealiseerd.



Windturbine nummer	RD Coördinaten	
	X	Y
SurveyCom 01	86816	405589
SurveyCom 02	86569	405901
SurveyCom 03	86274	406184
Raedthuys 01	86602	406618
Raedthuys 02	86796	406376
Raedthuys 03	86995	406133
Raedthuys 04	87190	405893
Raedthuys 05	87423	405691
Raedthuys 06	87664	405496
Suiker Unie 01	87088	405259
Suiker Unie 02	87317	404931
Suiker Unie 03	87636	404720
Suiker Unie 04	88000	404542



Ondergrond: Topografische Dienst, 2010





Ondergrond: Topografische Dienst, 2010





Ondergrond: Topografische Dienst, 2010

Legenda



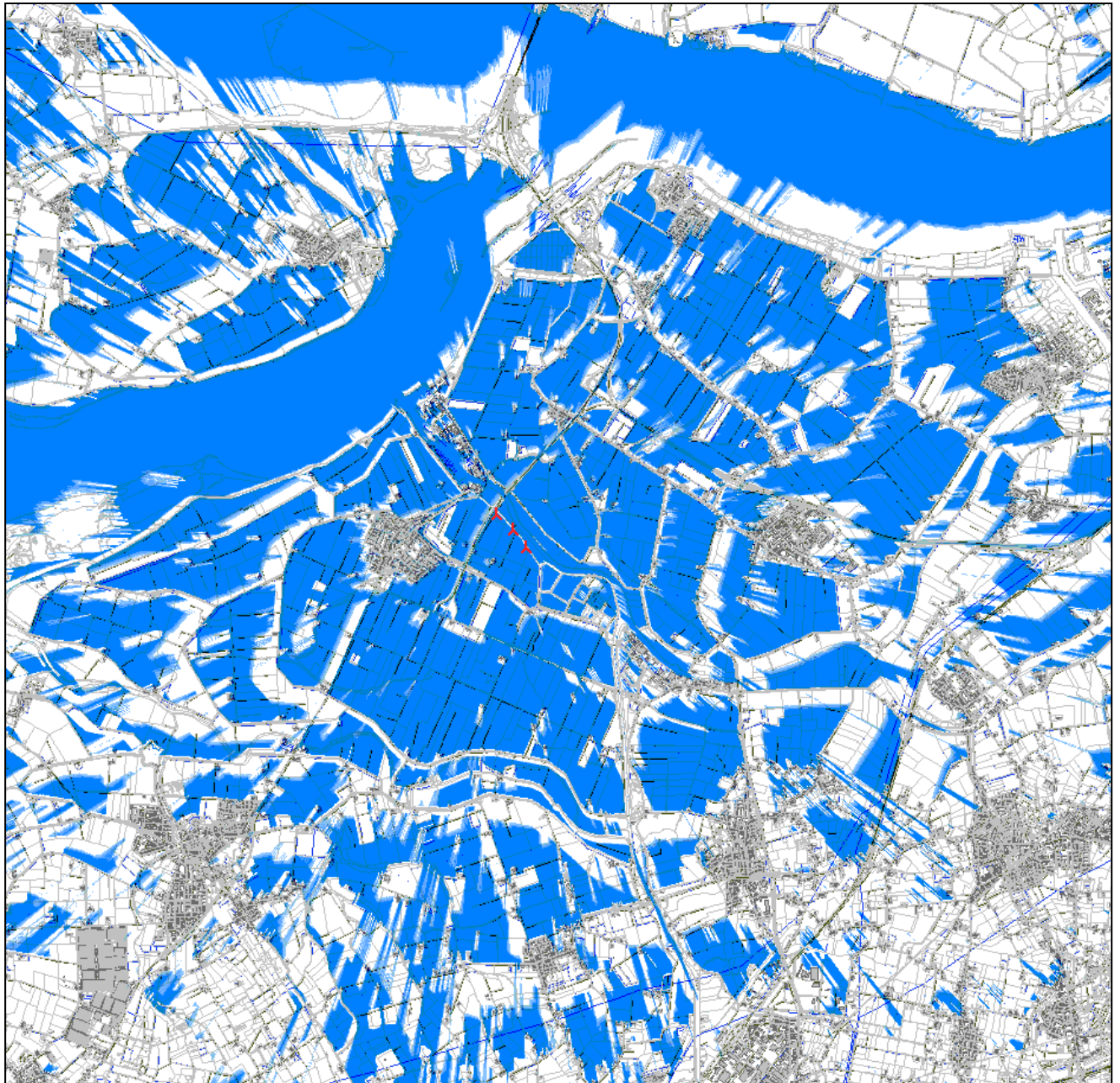
Aantal turbines zichtbaar (0-3)

Geen

13



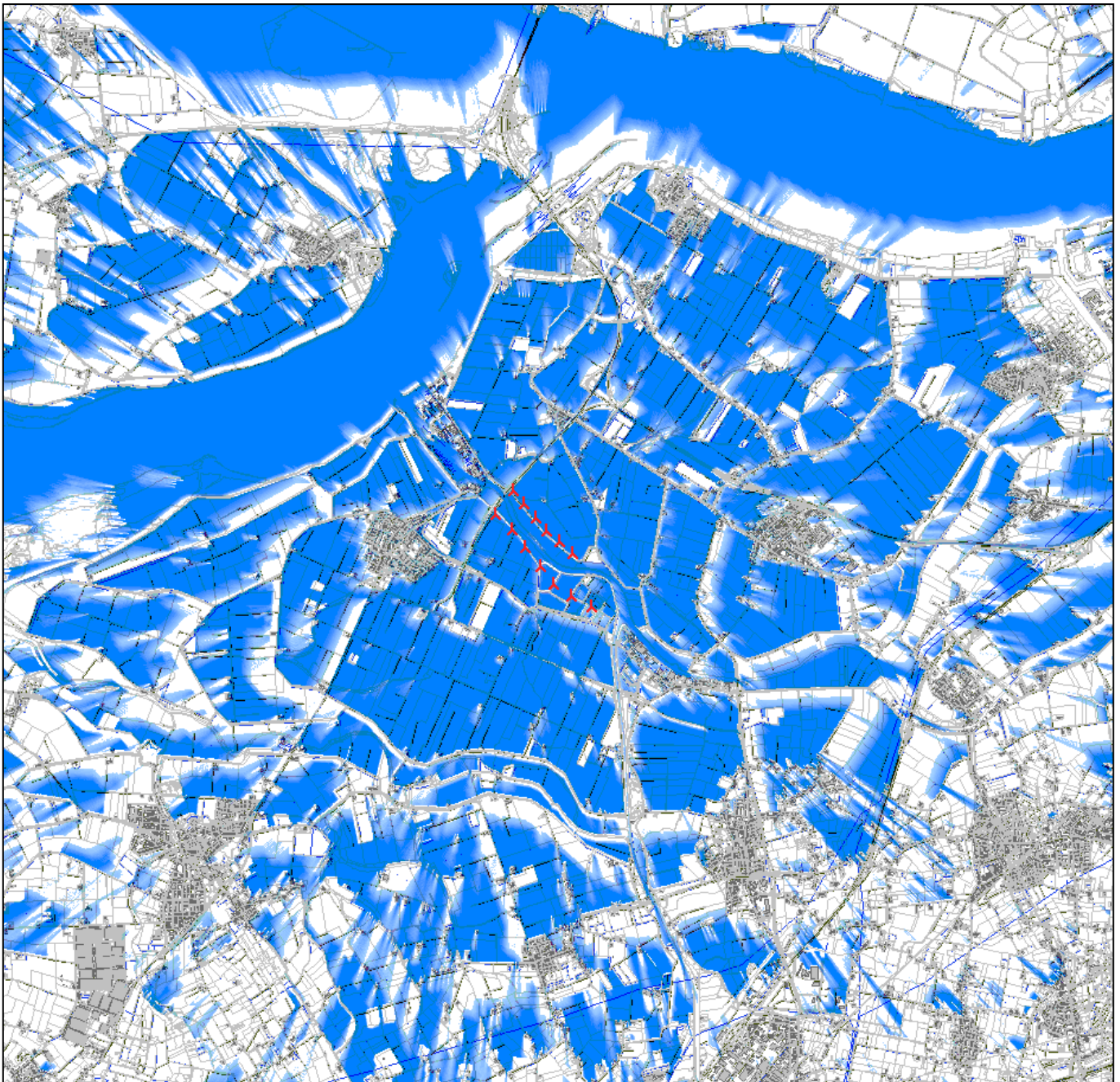
Windturbine





Ondergrond: Topografische Dienst, 2010

Legenda





Ondergrond: Topografische Dienst, 2010

Legenda



Geen

13



Aantal turbines zichtbaar (0-13)

55,8% van de tijd > 10 km zicht

Windturbine

Binnenste contour: 84,6% van de tijd > 5 km zicht

Buitenste contour: 55,8% van de tijd > 10 km zicht

