



> Solid wind modelling & Engineering

Berekeningen windturbines m.b.t slagschaduw,
mitigerende maatregelen en vermeden emissies.

Windpark Koningspleij (Pleij B.V. / Raedthuys Pure
Energie)

Arnhem, Gelderland

Rapport

Doc. nr.: REP20160923TAUv1.4

Opdrachtgever: Tauw B.V.

Solidwinds: Dominique Deen

Datum: 20-12-2016 Nijmegen

Over Solidwinds | Solid Wind Modelling & Engineering

Solidwinds is een onafhankelijk technisch adviesbureau dat zich richt op windenergieprojecten.

Door specifieke kennis en ervaring biedt Solidwinds haar opdrachtgevers heldere antwoorden op vragen over bijvoorbeeld selectie van projectlocaties, lokaal windaanbod, het opzetten van een windmeetcampagne, windturbineselectie, parkontwerp, opbrengst, parkoptimalisatie, geluid, slagschaduw en landschapsvisualisaties.

Solidwinds beoordeelt daarnaast windmeetcampagnes en (financierings-) P50/P90 windstudies van andere partijen en is gespecialiseerd in het verantwoord en optimaal benutten van incomplete of beschadigde winddata.

Solidwinds opereert onder gunstige condities en tarieven door te kiezen voor een kleine, doeltreffende organisatie en een groot extern netwerk. Solidwinds streeft naar de kernwaarden kwaliteit, betrouwbaarheid en flexibiliteit tijdens al haar activiteiten.

Voor meer informatie over Solidwinds, diensten en portfolio, zie www.solidwinds.com.



Dominique Deen

Solidwinds

Toernooiveld 200
6525 EC, Nijmegen
Netherlands

T: +31 (0)6 832 17 832

E: dominique.deen@solidwinds.com

W: www.solidwinds.com

Dienst: Berekeningen windturbines m.b.t. slagschaduw, mitigerende maatregelen en vermeden emissies

Site: Windpark Koningspleij, Arnhem, Gelderland

Offerte nr.: OFF20160718BTAU+OFF20160902TAU+OFF20161214TAU

Rapport nr.: REP20160923TAUv1.4

Status: Definitief rapport

Opdrachtgever: Tauw B.V.

Contactpersoon: Martijn van Eck (Tauw B.V.), Martijn Gerritsen (Tauw B.V.), Lex Bekker (Tauw B.V.), Lucy Talens (Tauw B.V.)

Auteur: Dominique Deen (Solidwinds)

Getekend: Dominique Deen

Datum: 20/12/2016, Nijmegen

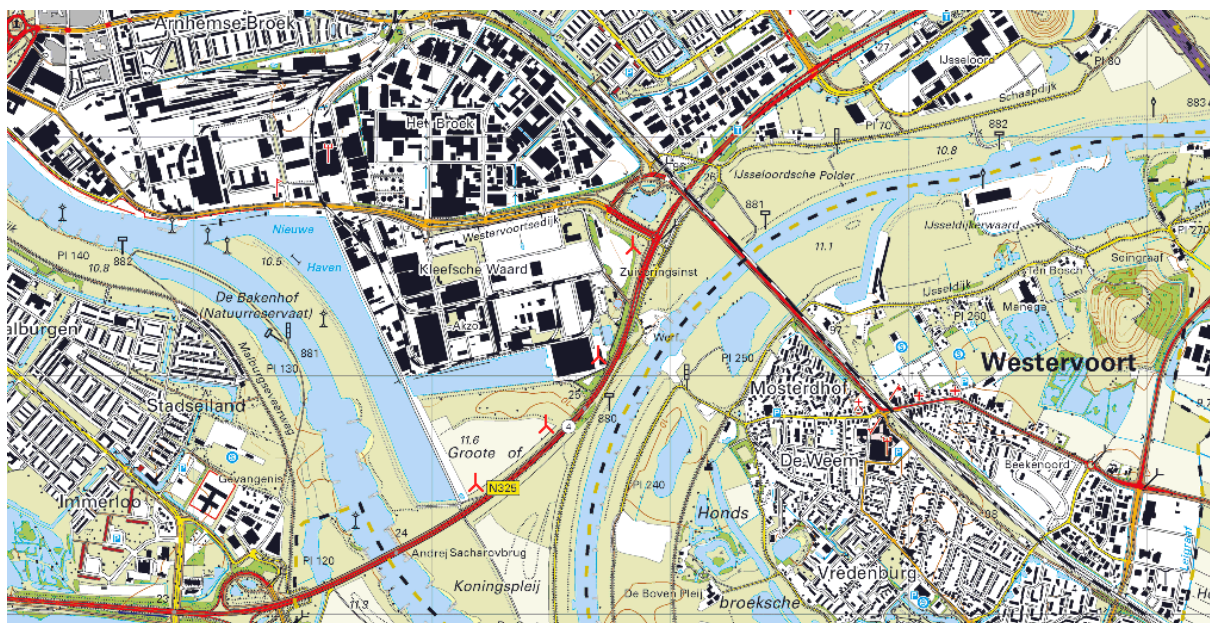


Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding	10
2 Project informatie en data invoer	11
2.1 Beschrijving van het project en de project locatie	11
2.2 Beschrijving en evaluatie van meteorologische data	13
3 Lange termijn opbrengstvoorspelling (AEP P50)	14
3.1 Data invoer en methodiek	14
3.2 Invoer meteorologische data	14
3.3 Beschrijving van methode voor generatie windstatistiek	14
3.4 Lange termijn correctie	14
3.5 Mitigerende maatregel: stilstand t.b.v. dagelijkse vogeltrek wulp	17
3.6 Vaste verliezen en lange termijn P50 opbrengst (AEP P50)	17
4 Slagschaduw	21
4.1. Beschrijving scope slagschaduwberekeningen	21
4.2. Toetsingskader en rekenmethode slagschaduw	21
4.3. Resultaat en conclusie slagschaduwberekeningen	22
5 Vermeden emissies	25
5.1 Vermeden CO ₂ emissie	25
5.2 Vermeden NO _x , PM en SO _x emissie	26
Referenties	28
Bijlage A: Verklaring van gebruikte databron(nen) en hun oorsprong	29
Bijlage B: WindPRO berekeningen opbrengst	30
Bijlage C: WindPRO berekeningen slagschaduw	39

Samenvatting

De beoogde projectsite van windpark (WP) Koningspleij is gelegen te Arnhem, en bestaat uit 4 turbines. De projectsite bevindt zich deels op en ten zuidoosten van Industrie Park Kleefse Waard (IPKW). De site bevindt zich direct ten noorden van autoweg N325 (ook wel aangeduid als Pleijweg) en de rivier de IJssel. Ten zuidwesten van de projectsite loopt de rivier de Rijn. Een overzicht van de projectlocatie is weergegeven in figuur S1.



Figuur S1: Beoogde turbineposities WP Koningspleij, Arnhem (rood), detail

Turbineposities worden weergegeven in tabel S1.

Tabel S1: Coördinaten beoogde turbineposities

WT nr.	Coörd. X *	Coörd. Y *	Hoogte basis [m]
1	193.181	441.547	11,7
2	193.474	441.794	10,0
3	193.702	442.104	14,1
4	193.839	442.540	12,3

*Coördinatensysteem: Dutch Stereo-RD/NAP 2000

Turbinetypes en -configuraties welke in onderhavige studie geëvalueerd worden, worden weergegeven in tabel S2.

Meetmastdata wordt geëvalueerd en geëxtrapoleerd om te komen tot een lange termijn windstatistiek op de projectsite, zoals samengevat in tabel S3.

Het effect van mitigerende maatregelen t.b.v. stilstand tijdens dagelijkse vogeltrek van de wulp wordt berekend. Uitgangspunt hierbij is het uitsluiten van significant negatieve effecten op de populatie, ofwel het garanderen van behoud van de populatie wulpen. Resultaten zijn samengevat in tabel S4.

Op basis van de lange termijn windstatistiek worden opbrengstberekeningen uitgevoerd voor alle turbintypen. Resultaten worden samengevat in tabel S5 en S6.

Tabel S2: Geëvalueerde turbintypen en -configuraties

WT type	Rotordiam. [m]	Nom. Vermogen [MW]	Ashoogte [m]
Lagerwey L100 2.5	100	2,5	99
Enercon E101 3.05	101	3,05	99
Enercon E103 2.35	103	2,35	98
Siemens SWT 108 3.0	108	3,0	115
GE 120 2.75	120	2,75	110
Siemens SWT 113 3.0	113	3,0	115
Siemens SWT 113 3.2	113	3,2	115
Vestas V117 3.3	117	3,3	116,5
Senvion 114 3.4	114	3,4	119

Tabel S3: Berekende Weibull factoren (A,k) voor ashoogten 100 m en 119 m, op de projectsite

Ashoogte [m]	Weibull A-factor ¹⁾	Weibull k-factor ²⁾
100	7,22	2,314
119	7,63	2,299

¹⁾ De Weibull A-factor is de schaalfactor van de Weibull verdeling

²⁾ De Weibull k-factor is de vormfactor van de Weibull verdeling

Tabel S4: Resultaten berekende productievermindering t.g.v. stilstand (dagelijkse vogeltrek wulp)

Turbine type	Productieverlies t.g.v. mitigerende maatregel (stilstand t.b.v. dagelijkse vogeltrek wulp)
	(%)
Lagerwey L100 2.5	-4,55
Enercon E101 3.05	-4,65
Enercon E103 2.35	-4,56
Siemens SWT 108 3.0	-4,61
GE 120 2.75	-4,54
Siemens SWT 113 3.0	-4,58
Siemens SWT 113 3.2	-4,60
Vestas V117 3.3	-4,64
Senvion 114 3.4	-4,64

Tabel S5: Samenvatting berekende resultaten: producties en verliezen

Turbines (#/type/ashoogte)	BRUTO productie ¹⁾ [MWh/j]	PARK productie ²⁾ [MWh/j]	Vaste verliezen [MWh/j]	Verliezen t.g.v. stilstand vogeltrek [MWh/j]	AEP P50 ³⁾ productie [MWh/j]
4 x Lagerwey L100 2.5 @ 99m	26.828	25.489	-1.529	-1.147	22.812
4 x Enercon E101 3.05 @ 99m	29.821	27.471	-1.648	-1.291	24.532
4 x Enercon E103 2.35 @ 98m	25.964	24.482	-1.469	-1.126	21.887
4 x Siemens SWT 108 3.0 @ 115m	35.540	33.232	-1.994	-1.529	29.709
4 x GE120 2.75 @ 110m	38.005	35.655	-2.139	-1.604	31.911
4 x Siemens SWT 113 3.0 @ 115m	38.633	35.922	-2.155	-1.652	32.115
4 x Siemens SWT 113 3.2 @ 115m	39.343	36.561	-2.194	-1.682	32.685
4 x Vestas V117 3.3 @ 116,5m	39.515	36.781	-2.207	-1.692	32.883
4 x Senvion 114 3.4 @ 119m	40.387	37.812	-2.269	-1.739	33.804

¹⁾ Bruto lange termijn jaargemiddelde park productie, zonder vaste verliezen, zonder park effect

²⁾ Jaargemiddelde lange termijn park productie, zonder vaste verliezen, met park effect

³⁾ Jaargemiddelde lange termijn park productie, met vaste verliezen, met park effect

Tabel S6: Samenvatting resultaten: AEP P50 opbrengst, efficiëntie, capaciteitsfactor en vollasturen

Turbines (#/type/ashoogte)	AEP P50 ¹⁾ productie [MWh/j]	Park efficiën- tie (%)	Capaciteits factor ²⁾ (%)	Vollast uren ²⁾ [h/j]	LT gem. windsnelheid op ashoogte ³⁾ [m/s]
4 x Lagerwey L100 2.5 @ 99m	22.812	95,0	26,0	2.281	6,3
4 x Enercon E101 3.05 @ 99m	24.532	92,1	22,9	2.011	6,3
4 x Enercon E103 2.35 @ 98m	21.887	94,3	26,6	2.328	6,3
4 x Siemens SWT 108 3.0 @ 115m	29.709	93,5	28,2	2.476	6,6
4 x GE120 2.75 @ 110m	31.911	93,8	33,1	2.901	6,6
4 x Siemens SWT 113 3.0 @ 115m	32.115	93,0	30,5	2.676	6,6
4 x Siemens SWT 113 3.2 @ 115m	32.685	92,9	29,1	2.554	6,6
4 x Vestas V117 3.3 @ 116,5m	32.883	93,1	28,4	2.491	6,7
4 x Senvion 114 3.4 @ 119m	33.804	93,6	28,4	2.486	6,7

¹⁾ Jaargemiddelde lange termijn park productie, met vaste verliezen, met park effect

²⁾ Gebaseerd op geschatte vaste verliezen van 6,0 % en turbine-specifieke aftrek voor stilstand (vogeltrek wulp)

³⁾ LT jaargemiddelde windsnelheid voor turbines op ashoogte zonder parkeffect

Slagschaduwberekeningen worden uitgevoerd voor het genereren van 6 u/j en 15 u/j contouren. De 6 u/j contour volgt uit een beschreven vertaling van de wettelijke norm. Tevens wordt per contour en voor de minimale (best case) en maximale (worst case) slagschaduw situatie het aantal woningen dat binnen deze contouren ligt, bepaald. Resultaten zijn samengevat in tabel S7.

Tabel S7: Berekende aantal woningen binnen 6 u/j en 15 u/j slagschaduwcontouren voor L100 2.5 MW (best case) en GE120 2.75 MW (worst case)

Turbines (#/type/ashoogte)	# Woningen binnen 6 u/j contour	# Woningen binnen 15 u/j contour
4 x Lagerwey L100 2.5 @ 99m	365 ²⁾	11 ¹⁾
4 x GE 2.75-120 @ 110m	709 ³⁾	36 ²⁾

¹⁾ In 9 gevallen gaat het om toegewezen ligplaatsen voor woonboten, ligplaatsen zijn niet geverifieerd

²⁾ In 13 gevallen gaat het om toegewezen ligplaatsen voor woonboten, ligplaatsen zijn niet geverifieerd

³⁾ In 16 gevallen gaat het om toegewezen ligplaatsen voor woonboten, ligplaatsen zijn niet geverifieerd

Gesteld wordt dat slagschaduwbeperkende voorzieningen nodig zijn om voor alle woning aan de maximaal 6 u/j slagschaduw norm te voldoen. Berekend wordt dat aan deze norm voldaan wordt voor de worst case turbine m.b.t. slagschaduw, de GE120 2.75, indien alle turbines 13 u/j stilgezet worden, gedurende perioden waarin anders slagschaduw zou optreden. Aangepaste slagschaduwcontouren worden berekend.

Berekend wordt hoeveel uren per jaar slagschaduw van toepassing is op de middellijn van de Pleijweg (N325), naast iedere turbine en gemiddeld tijdens het afleggen van het traject langs alle vier turbines. Het gemiddelde bedraagt ca. 110 u/j.

Volgens de zgn. referentiepark methode kan de vermeden CO₂ emissie bepaald worden, welke zonder realisatie van het beoogde windpark via conventionele (niet duurzame) productiemiddelen vrij zou komen.

Tabel S8 geeft per turbinetype een samenvatting van zowel de jaarlijkse als de totale hoeveelheid vermeden CO₂ emissie over een operationele periode van 20 jaar.

Tabel S9 geeft per turbinetype een samenvatting van zowel de jaarlijkse als de totale hoeveelheid vermeden NO_x, PM en SO_x emissies over een operationele periode van 20 jaar.

Tabel S8: Overzicht vermeden CO₂ emissie; jaarlijks en gedurende een periode van 20 jaar.

Turbines (#/type/ashoogte)	AEP P50 ¹⁾ productie [MWh/j]	Jaarlijks vermeden CO ₂ emissie [ton CO ₂]	In 20 jaar vermeden CO ₂ emissie [ton CO ₂]
4 x Lagerwey L100 2.5 @ 99m	22.812	34.960	699.202
4 x Enercon E101 3.05 @ 99m	24.532	37.596	751.921
4 x Enercon E103 2.35 @ 98m	21.887	33.542	670.850
4 x Siemens SWT 108 3.0 @ 115m	29.709	45.530	910.599
4 x GE120 2.75 @ 110m	31.911	48.905	978.091
4 x Siemens SWT 113 3.0 @ 115m	32.115	49.217	984.344
4 x Siemens SWT 113 3.2 @ 115m	32.685	50.091	1.001.815
4 x Vestas V117 3.3 @ 116,5m	32.883	50.394	1.007.884
4 x Senvion 114 3.4 @ 119m	33.804	51.806	1.036.113

Tabel S9: Overzicht vermeden NO_x, PM en SO_x emissies; jaarlijks en gedurende een periode van 20 jaar.

Turbines (#/type/ashoogte)	Vermeden NO _x emissie		Vermeden PM emissie		Vermeden SO _x emissie	
	[ton NO _x]		[ton PM]		[ton SO _x]	
	Jaar	20 j	Jaar	20 j	Jaar	20 j
4 x Lagerwey L100 2.5 @ 99m	38,0	760	1,6	32	20,9	418
4 x Enercon E101 3.05 @ 99m	40,9	818	1,7	35	22,5	449
4 x Enercon E103 2.35 @ 98m	36,5	730	1,5	31	20,0	401
4 x Siemens SWT 108 3.0 @ 115m	49,5	990	2,1	42	27,2	544
4 x GE120 2.75 @ 110m	53,2	1.064	2,2	45	29,2	584
4 x Siemens SWT 113 3.0 @ 115m	53,5	1.071	2,3	45	29,4	588
4 x Siemens SWT 113 3.2 @ 115m	54,5	1.090	2,3	46	29,9	598
4 x Vestas V117 3.3 @ 116,5m	54,8	1.096	2,3	46	30,1	602
4 x Senvion 114 3.4 @ 119m	56,3	1.127	2,4	48	30,9	619

1 Inleiding

Tauw B.V. heeft Solidwinds verzocht en studie uit te voeren m.b.t. het opstellen van een MER. t.b.v. windpark Koningspleij te Arnhem. Solidwinds voert hiertoe een studie uit naar de onderdelen:

- Effect mitigerende maatregelen op jaarlijkse productie (AEP P50)
- Slagschaduw
- Vermeden emissies

2 Project informatie en data invoer

2.1 Beschrijving van het project en de project locatie

De beoogde projectsite van windpark (WP) Koningspleij is gelegen te Arnhem, en bestaat uit 4 turbines. De projectsite bevindt zich deels op en ten zuidoosten van Industrie Park Kleefse Waard (IPKW). De site bevindt zich direct ten noorden van autoweg N325 (ook wel aangeduid als Pleijweg) en de rivier de IJssel. Ten zuidwesten van de projectsite loopt de rivier de Rijn.

M.u.v. het industrieterrein aan de noordwestzijde en de Pleijweg aan de zuidoostzijde, wordt de projectsite direct omsloten door uiterwaarden en agrarisch gebied. Op grotere afstand, startend vanaf ca. 700 m aan de oostzijde, bevinden zich enkele woonkernen. Overig gebied rondom de site op grotere afstand wordt gekenmerkt als agrarisch gebied. Er bevinden zich geen andere (1 MW+) turbines in de nabije omgeving van de site.

De projectsite is nagenoeg vlak, het omringende landschap wordt gekenmerkt als agrarisch gebied met verspreide woonkernen en een lage oppervlakteruwheid. Een overzicht van de projectlocatie is weergegeven in figuur 1a en 1b.

Turbineposities worden weergegeven in tabel 1. Turbinetypes en -configuraties welke in onderhavige studie geëvalueerd worden, worden weergegeven in tabel 2.

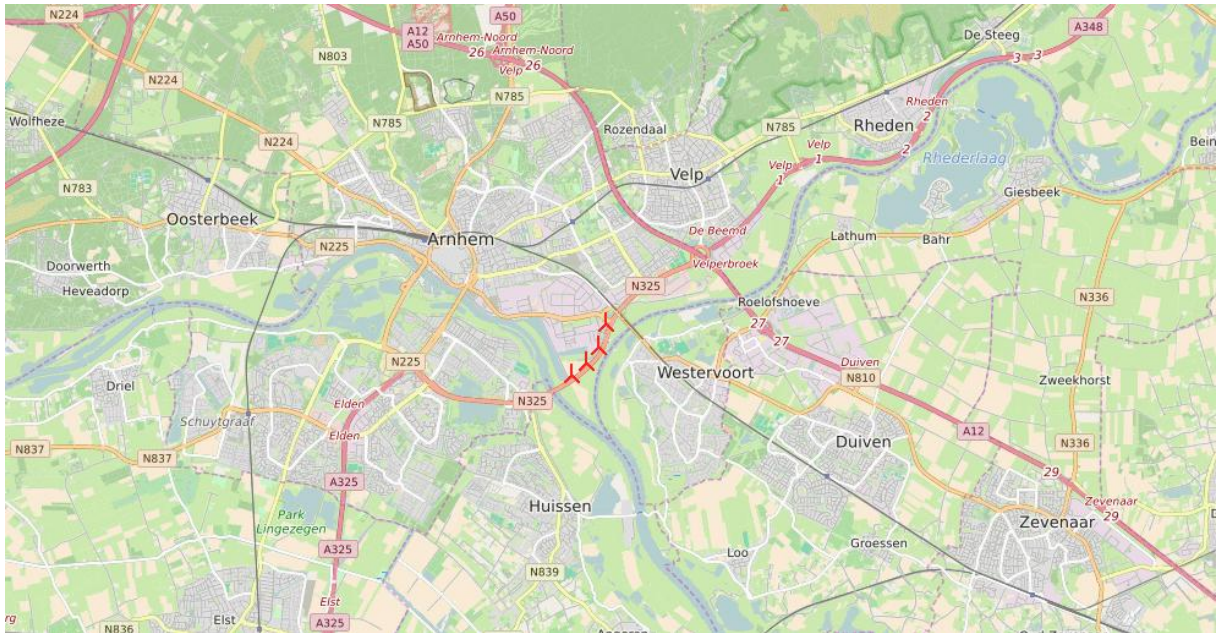
Tabel 1: Coördinaten beoogde turbineposities

WT nr.	Coörd. X *	Coörd. Y *	Hoogte basis [m]
1	193.181	441.547	11,7
2	193.474	441.794	10,0
3	193.702	442.104	14,4
4	193.839	442.540	12,3

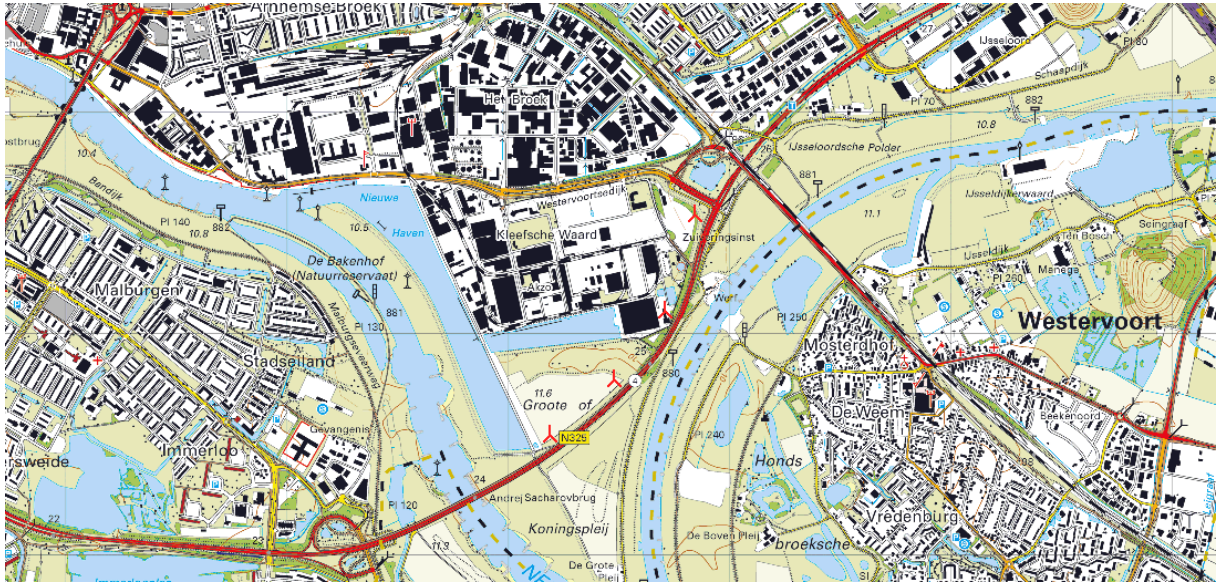
*Coördinatensysteem: Dutch Stereo-RD/NAP 2000

Tabel 2: Geëvalueerde turbinetypen en -configuraties

WT type	Rotordiam. [m]	Nom. Vermogen [MW]	Ashoogte [m]
Lagerwey L100 2.5	100	2,5	99
Enercon E101 3.05	101	3,05	99
Enercon E103 2.35	103	2,35	98
Siemens SWT 108 3.0	108	3,0	115
GE 2.75-120	120	2,75	110
Siemens SWT 113 3.0	113	3,0	115
Siemens SWT 113 3.2	113	3,2	115
Vestas V117 3.3	117	3,3	116,5
Senvion 114 3.4	114	3,4	119



Figuur 1a: Beoogde turbineposities WP Koningspleij, Arnhem (rood)



Figuur 1b: Beoogde turbineposities WP Koningspleij, Arnhem (rood), detail

2.2 Beschrijving en evaluatie van meteorologische data

Voor het genereren van een windstatistiek voor opbrengstberekningen wordt idealiter windmeetdata op de site over een minimale aaneengesloten periode van een jaar geanalyseerd. Indien deze gemeten winddata op de site ontbreekt, evenals productiedata van nabijgelegen windturbines (WT's) kan gebruik gemaakt worden van modeldata of meteorologische data op een nabijgelegen locatie.[3],[4]

Beschikbaar gemaakte meteorologische data is afkomstig van een meetmast in de omgeving op ca. 12 km afstand en is gebaseerd op een onafgebroken meetserie van 1 jaar. De meetdata is gecontroleerd en gefilterd op storingen en/of fouten.

3 Lange termijn opbrengstvoorspelling (AEP P50)

3.1 Data invoer en methodiek

Hoogte- en oppervlakteruwheid informatie worden geladen in WindPRO v. 3.1.579, respectievelijk uit de SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) en de CLC2006 (Corine Land Cover 2006) dataset, ca. 100m x 100m gridresolutie) database als best bruikbare data.

3.2 Invoer meteorologische data

Beschikbaar gemaakte meteorologische data is afkomstig van een meetmast in de omgeving en is gebaseerd op een onafgebroken meetserie van 1 jaar. De meetdata is gecontroleerd en gefilterd op storingen en/of fouten.

3.3 Beschrijving van methode voor generatie windstatistiek

Het genereren van een windstatistiek is noodzakelijk om middels de WAsP methode het windklimaat ter plaatse van de windmeetmast te vertalen naar het windklimaat op de projectlocatie.

Deze vertaling vindt plaats d.m.v. verticale extrapolatie (van meetmasthoogte naar ashoogte turbine) en horizontale extrapolatie (van meetmastlocatie naar turbine locatie).

Een windstatistiek legt door gebruikmaking van een zgn. Weibull verdeling het windklimaat vast voor alle windsectoren. Het WAsP programma berekent op basis van een gemeten windstatistiek, orografie en oppervlakteruwheid de windstatistiek voor een andere locatie.

3.4 Lange termijn correctie

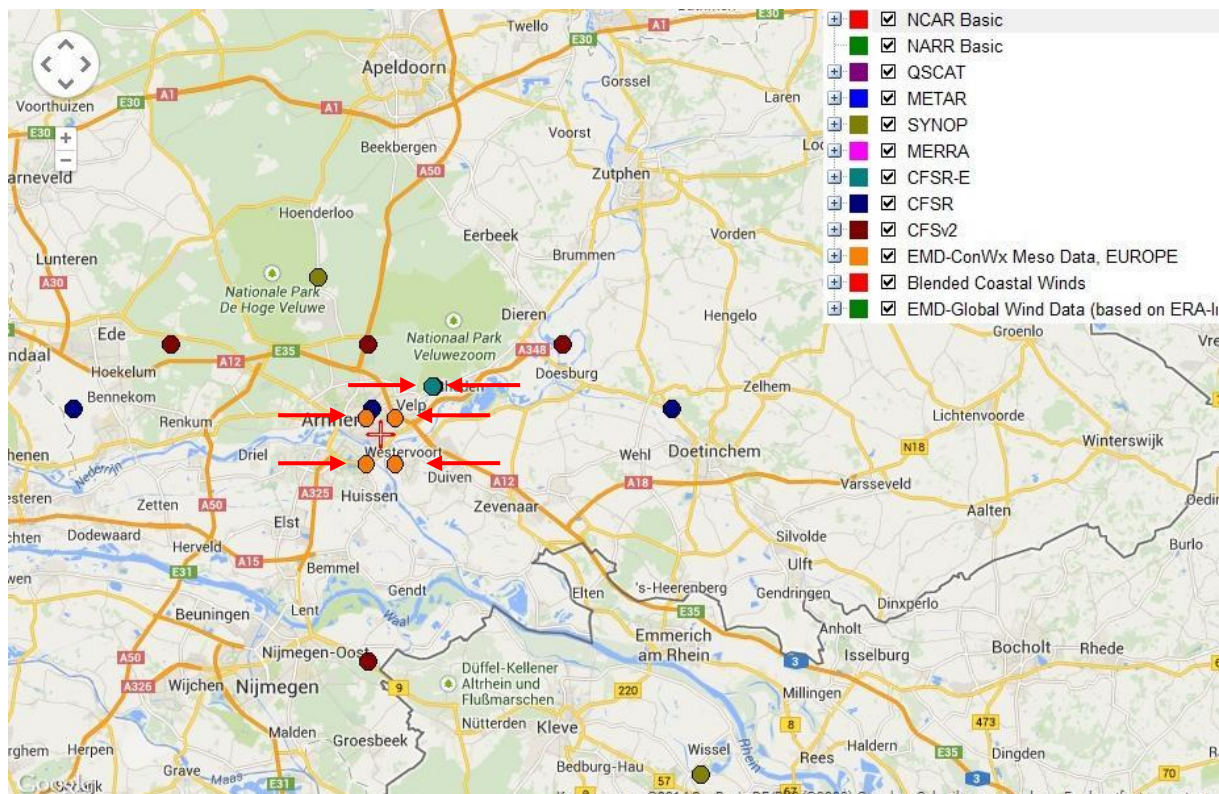
De minimale meetduur voor het bepalen van het lokale windklimaat bedraagt 4 volledige seizoenen, m.a.w. 1 aaneengesloten jaar. Aangezien de jaargemiddelde windsnelheid per jaar significant kan verschillen, dient een lange termijn gemiddelde bepaald te worden, via lange termijn correctie van de bestaande eenjarige meetdata.

Lange termijn correctie geschiedt d.m.v. correlatie aan naburige langjarige meetdata of modeldata. Bestaande meetdata wordt vervolgens via een overdrachtsfunctie verlengd tot de lengte van de langjarige meetdata of modeldata.

Om te kunnen beoordelen welke langjarige databron het beste overeenkomt met de gemeten data, worden alle beschikbare databronnen geëvalueerd. O.a. de correlatiecoëfficiënt tussen de

datareeksen wordt bepaald. Hoe hoger de correlatiecoëfficiënt, hoe beter de gelijkheid tussen de reeksen. Figuur 2 toont een overzicht van beschikbaarheid en locaties van langjarige databronnen.

Voor een gedetailleerde omschrijving en herkomst van de bronnen wordt verwezen naar bijlage A.



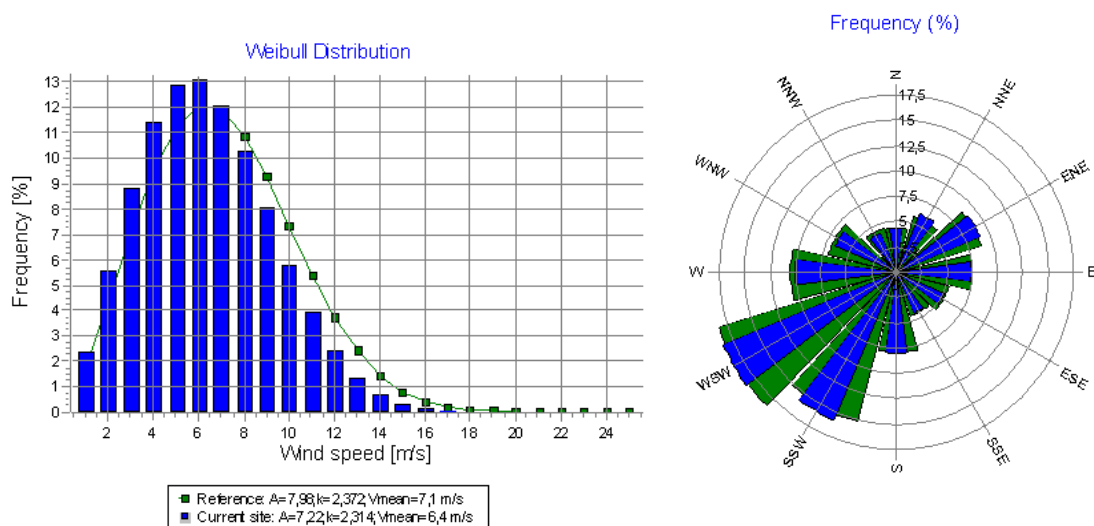
Figuur 2: Beschikbaarheid en locaties van langjarige databronnen

Tabel 3 geeft de resultaten van correlatie meetdata met verschillende langjarige databronnen weer. De MERRA modeldata toont uitstekende en tevens de beste correlatie en daarmee gelijkheid met de meetdata en wordt daarom gebruikt als basis voor lange termijn extrapolatie. Middels lineaire regressie en een te berekenen overdrachtsfunctie wordt de korte termijn meetdata geëxtrapoleerd naar een lange termijn dataserie (30 jr). De lange termijn gecorrigeerde winddata wordt gebruikt als basis voor de WASP procedure, om te komen tot windstatistieken op de locaties van de turbines.

De berekende lokale lange termijn windstatistiek wordt weergegeven in figuur 3 en tabel 4.

Tabel 3: Resultaten van correlatie meetdata met verschillende langjarige databronnen

Bron voor correlatie	Afstand tot site (km)	Duur (j)	Hoogte van LT-bron (m)	Tijd-resolutie (u)	Correlatie-factor r (dag-gemiddeld) (-)	Correlatie-factor r (week-gemiddeld) (-)
CFSR (E06.000_N52.000)	5,5	30	10	1	0,946	0,9611
MERRA-basic (E06.001_N52.000)	5,5	30	50	1	0,9673	0,9829
EMD/ConWX (N51.950_E5.930)	1,9	20	75	1	0,9584	0,9776
EMD/ConWX (N51.980_E5.930)	1,9	20	75	1	0,9579	0,9773
EMD/ConWX (N51.980_E5.960)	2,0	20	75	1	0,9583	0,9775
EMD/ConWX (N51.950_E5.960)	2,0	20	75	1	0,9586	0,9777



Figuur 3: Berekende Weibull verdeling en windroos op 100 m hoogte op de projectsite, o.b.v. geëxtrapoleerde windmeetdata

Tabel 4: Berekende Weibull factoren (A,k) voor ashoogte 100 m en 119 m, op de projectsite

Ashoogte [m]	Weibull A-factor ¹⁾	Weibull k-factor ²⁾
100	7,22	2,314
119	7,63	2,299

¹⁾ De Weibull A-factor is de schaalfactor van de Weibull verdeling

²⁾ De Weibull k-factor is de vormfactor van de Weibull verdeling

3.5 Mitigerende maatregel: stilstand t.b.v. dagelijkse vogeltrek wulp

In het kader van een passende beoordeling op basis van de Natuurbeschermingswet 1998, is een vogelstudie uitgevoerd in de directe omgeving van het beoogde windpark. [5]

Uit deze studie blijkt dat om significante negatieve effecten op de populatie wulpen te voorkomen een stilstandvoorziening nodig is. Maatgevend hierbij is een mortaliteitsratio < 1%. In de studie wordt een stilstand scenario voorgesteld waarbij, afgestemd op het dagelijks vlieggedrag van de groep wulpen, een significant negatief effect op de populatie wulpen uitgesloten wordt. Behoud van de populatie wordt hiermee gegarandeerd. Dit scenario houdt in dat de 3 meest zuidelijke turbines gedurende de maanden september t/m maart (7 maanden) dagelijks 2 uur stilgezet worden; vanaf een half uur voor zonsopkomst tot een half uur na zonsopkomst en vanaf zonsondergang tot een uur na zonsondergang.

Bovenstaande voorgestelde mitigerende maatregel is per turbintype doorgerekend door een gesimuleerde lange termijn tijdserie met turbineproducties (10-min. intervallen) te combineren met de jaarlijkse zonsopkomst- en zonsondergangstabel. Indien de productie van de desbetreffende turbine valt binnen de condities zoals genoemd in het stilstand scenario, dan wordt deze gelijk aan 0 gesteld. De aldus verkregen resultaten m.b.t. productievermindering worden weergegeven in tabel 5.

Het verschil in verlies wordt verklaard door zowel verschillen in PV-curve als windaanbod t.g.v. verschillende ashoogtes.

Tabel 5: Resultaten berekende productievermindering t.g.v. stilstand (vogeltrek)

Turbine type	Productieverlies t.g.v. mitigerende maatregel (stilstand t.b.v. vogeltrek)
	(%)
Lagerwey L100 2.5	-4,55
Enercon E101 3.05	-4,65
Enercon E103 2.35	-4,56
Siemens SWT 108 3.0	-4,61
GE 120-2.75	-4,54
Siemens SWT 113 3.0	-4,58
Siemens SWT 113 3.2	-4,60
Vestas V117 3.3	-4,64
Senvion 114 3.4	-4,64

3.6 Vaste verliezen en lange termijn P50 opbrengst (AEP P50)

Aan de hand van de lange termijn windstatistiek wordt een lange termijn gecorrigeerde productieberekening uitgevoerd. Hierbij wordt tevens rekening gehouden met de geschatte vaste verliezen voor het totale windpark. Met vaste verliezen worden de verliezen aangeduid, welke met redelijke zekerheid ingeschat kunnen worden aan de hand van (algemene) operationele gegevens of fabrikantenspecificaties. Vaste verliezen worden voornamelijk veroorzaakt door beperkte

turbinebeschikbaarheid (storingen), gepland onderhoud, bladvervuiling, kabel- en transformatorverliezen en eventueel toegepaste mitigerende maatregelen (geluid, slagschaduw, sectormanagement, leveringsvoorwaarden, vleermuizen, (dagelijkse) vogeltrek). Vaste verliezen treden op naast de zgn. parkverliezen, welke veroorzaakt worden door remmende werking op de wind tussen de onderlinge turbines. Tabel 6 geeft een overzicht van de geschatte vaste verliezen per verliespost.

Tabel 6: Overzicht geschatte vaste verliezen per verliespost

Categorie:	Toelichting:	Verlies (%)	Factor (-)
1. Beschikbaarheid	Turbine beschikbaarheid	3,0	0,97
	Balance of Plant beschikbaarheid	0,3	0,997
	Beschikbaarheid elektriciteitsnet	0,1	0,999
2. Elektrische efficiëntie	Operationele elektrische efficiëntie	2,0	0,98
	Wind park eigen consumptie	0,1	0,999
3. Turbine prestatie	Generieke PV-curve wijziging	0	1,0
	PV-curve hysteresis	0	1,0
	Site specifieke PV-curve aanpassingen	0	1,0
4. Omgevingsfactoren	Prestatievermindering (niet-ijsaangroei gerelateerd)	0,5	0,995
	Prestatievermindering (ijsaangroei gerelateerd)	0,1	0,999
	Stopzetten t.g.v. ijsaangroei	0	1,0
	Stopzetten t.g.v. extreme temperaturen	0	1,0
5. Mitigatie productie	Wind sector management	0	1,0
	Mitigatie t.b.v. netinpassing	0	1,0
	Mitigatie t.b.v. geluid, slagschaduw of fauna ^{1),2)}	0	1,0
	Totaal: ³⁾		0,940

¹⁾ Fauna: aangezien mitigatie t.g.v. stilstand voor dagelijkse vogeltrek per turbine verschilt en berekend dient te worden, wordt deze per turbine afzonderlijk vermeld in het productieoverzicht.

²⁾ Evt. mitigerende maatregelen t.b.v. geluid- of slagschaduwbeperking worden buiten beschouwing gelaten aangezien deze buiten de scope van dit rapport vallen.

³⁾ Optelling d.m.v. factorisatie (vermenigvuldiging van factoren)

Opgetelde totale verliezen (via vermenigvuldiging van factoren) bedragen naar schatting 6,0 %. Naast de parkeffect verliezen zal deze waarde afgetrokken worden van de bruto elektriciteit producties. De zo verkregen waarden vormen de P50 voorspellingen voor jaarlijkse productie.

Tabel 7 geeft per turbine de verkregen bruto, park en P50 producties weer, en verliezen t.g.v. vaste verliezen en stilstand t.b.v. dagelijkse vogeltrek. Tabel 8 geeft per turbine type een samenvatting van de rekenresultaten weer, uitgedrukt in AEP P50, park efficiëntie, capaciteitsfactor en vollasturen. Daarnaast worden per layout de lange termijn gemiddelde windsnelheden, gemiddeld over de turbines op de site weergegeven.

Rekening is gehouden met de mogelijkheid van overlap tussen opgelegde stilstand (dagelijkse vogeltrek), vanaf zonsopkomst tot een half uur na zonsopkomst, en slagschaduw. Uit nader onderzoek blijkt dat de maximale zonnestand een half uur na zonsopkomst gedurende de maanden september t/m maart varieert van 2,6 tot 3,7 graden boven de horizon. Aangezien voor de slagschaduwberekeningen een standaard minimale zonnestand van 3,0 graden boven de horizon toegepast wordt, zal de vermeden slagschaduw door stilstand t.b.v. dagelijkse vogeltrek verwaarloosbaar klein zijn. [9]

Tabel 7: Samenvatting berekende resultaten: producties en verliezen

Turbines (#/type/ashoogte)	BRUTO productie ¹⁾	PARK productie ²⁾	Vaste verliezen	Verliezen t.g.v. stilstand vogeltrek	AEP P50 ³⁾ productie
	[MWh/j]	[MWh/j]	[MWh/j]	[MWh/j]	[MWh/j]
4 x Lagerwey L100 2.5 @ 99m	26.828	25.489	-1.529	-1.147	22.812
4 x Enercon E101 3.05 @ 99m	29.821	27.471	-1.648	-1.291	24.532
4 x Enercon E103 2.35 @ 98m	25.964	24.482	-1.469	-1.126	21.887
4 x Siemens SWT 108 3.0 @ 115m	35.540	33.232	-1.994	-1.529	29.709
4 x GE120 2.75 @ 110m	38.005	35.655	-2.139	-1.604	31.911
4 x Siemens SWT 113 3.0 @ 115m	38.633	35.922	-2.155	-1.652	32.115
4 x Siemens SWT 113 3.2 @ 115m	39.343	36.561	-2.194	-1.682	32.685
4 x Vestas V117 3.3 @ 116,5m	39.515	36.781	-2.207	-1.692	32.883
4 x Senvion 114 3.4 @ 119m	40.387	37.812	-2.269	-1.739	33.804

¹⁾ Bruto lange termijn jaargemiddelde park productie, zonder vaste verliezen, zonder park effect

²⁾ Jaargemiddelde lange termijn park productie, zonder vaste verliezen, met park effect

³⁾ Jaargemiddelde lange termijn park productie, met vaste verliezen, met park effect

Tabel 8: Samenvatting resultaten: AEP P50 opbrengst, efficiëntie, capaciteitsfactor en vollasturen

Turbines (#/type/ashoogte)	AEP P50 ¹⁾ productie [MWh/j]	Park efficiën- tie (%)	Capaciteits factor ²⁾ (%)	Vollast uren ²⁾ [h/j]	LT gem. windsnelheid op ashoogte ³⁾ [m/s]
4 x Lagerwey L100 2.5 @ 99m	22.812	95,0	26,0	2.281	6,3
4 x Enercon E101 3.05 @ 99m	24.532	92,1	22,9	2.011	6,3
4 x Enercon E103 2.35 @ 98m	21.887	94,3	26,6	2.328	6,3
4 x Siemens SWT 108 3.0 @ 115m	29.709	93,5	28,2	2.476	6,6
4 x GE120 2.75 @ 110m	31.911	93,8	33,1	2.901	6,6
4 x Siemens SWT 113 3.0 @ 115m	32.115	93,0	30,5	2.676	6,6
4 x Siemens SWT 113 3.2 @ 115m	32.685	92,9	29,1	2.554	6,6
4 x Vestas V117 3.3 @ 116,5m	32.883	93,1	28,4	2.491	6,7
4 x Senvion 114 3.4 @ 119m	33.804	93,6	28,4	2.486	6,7

¹⁾ Jaargemiddelde lange termijn park productie, met vaste verliezen, met park effect

²⁾ Gebaseerd op geschatte vaste verliezen van 6,0 % en turbine-specifieke aftrek voor stilstand (vogeltrek)

³⁾ LT jaargemiddelde windsnelheid voor turbines op ashoogte zonder parkeffect

4 Slagschaduw

4.1 Beschrijving scope slagschaduwberekeningen

Binnen de scope van de slagschaduwberekeningen vallen het bepalen van de 6 u/j en 15 u/j slagschaduwcontouren per turbinetype. Daarnaast is het aantal woningen dat binnen beide slagschaduwcontouren valt van belang. Aangezien met name de range in het aantal woningen binnen de 6 u/j en 15 u/j slagschaduwcontouren van belang is, is gestart met een vergelijkende berekening voor alle turbines. Resultaten van de meest gunstige (best case) en meest ongunstige turbine (worst case) worden verder belicht. Vooruitlopend op toepassing van een slagschaduwbeperkende stilstandvoorziening (stopzetten van turbines indien slagschaduw optreedt) worden voor deze situatie de aangepaste slagschaduwcontouren berekend, waarbij voldaan wordt aan de 6 u/j slagschaduwnorm, voor het worst case turbinetype. Daarnaast worden voor deze aangepaste situatie en het worst case turbinetype per turbinepositie de slagschaduwcontouren over de middellijn van de Pleijweg (N325) berekend.

4.2 Toetsingskader en rekenmethode slagschaduw

Slagschaduwberekeningen zijn uitgevoerd conform wettelijke richtlijnen zoals beschreven in artikel 3.12 van het Activiteitenbesluit; “ten behoeve van het voorkomen of beperken van slagschaduw en lichtschittering is de windturbine voorzien van een automatische stilstandvoorziening die de windturbine afschakelt indien slagschaduw optreedt ter plaatse van gevoelige objecten voorzover de afstand tussen de windturbine en de gevoelige objecten minder dan 12 maal de rotordiameter bedraagt en gemiddeld meer dan 17 dagen per jaar gedurende meer dan 20 minuten per dag slagschaduw kan optreden en voorzover zich in de door de slagschaduw getroffen uitwendige scheidingsconstructie van gevoelige gebouwen of woonwagens ramen bevinden” [6]. De in het artikel beschreven kritische schaduwduur wordt als volgt vertaald naar een maximaal aantal hele slagschaduwuren per jaar: 17 maal 20 minuten bedraagt 340 minuten, welke overeenkomen met 5,7 uur. Afgerond naar boven bedraagt het kritische aantal hele slagschaduwuren per jaar 6 uren. De gehanteerde interpretatie en afronding naar boven op een heel aantal uren maken dat de gehanteerde norm strenger is dan de wettelijke norm.

De berekeningen worden uitgevoerd m.b.v. softwarepakket WindPRO versie 3.1.579, kadastrale gegevens van gebouwen (Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG)) en turbinegegevens zoals beschikbaar gesteld door de leverancier en/of zoals beschikbaar in WindPRO. De jaarlijkse norm welke gehanteerd wordt voor slagschaduwduur op een woning bedraagt 6 uren per jaar. Bedrijfsmatige bebouwing wordt niet meegenomen in de studie, aangezien deze niet als gevoelig object aangemerkt wordt. Positionering van ramen in woningen wordt buiten beschouwing gelaten, potentiële hinder wordt verondersteld wanneer slagschaduw de woning raakt. Mogelijke reeds aanwezige schaduw van bomen wordt tevens buiten beschouwing gelaten. De berekening is hiermee

conservatief. In aansluiting op richtlijnen zoals bovenstaand vermeld, wordt voor de berekening van slagschaduw altijd een “real case” scenario toegepast. Hierbij wordt, uitgaande van beschikbare statistische gegevens m.b.t. zonne-uren, het werkelijke aantal te verwachten slagschaduwuren berekend. Als bron voor het aantal zonne-uren wordt data van een weerstation te Bocholt toegepast.

4.3 Resultaat en conclusie slagschaduwberekeningen

De resultaten van de 6 u/j en 15 u/j slagschaduw contourberekeningen voor alle turbintypen worden ter vergelijking weergegeven in figuur 4a en 4b. Slagschaduwcontouren worden afzonderlijk per turbine weergegeven in bijlage C.

Uit de berekeningen volgt dat voor de Lagerwey L100 2.5 MW turbine het kleinste aantal woningen binnen de slagschaduwcontouren valt (binnenste contouren) voor de GE120 2.75 MW het grootste aantal (buitenste contouren). De resultaten worden samengevat in tabel 9. Figuur 4c en 4d geven de berekende slagschaduwcontouren aan voor de L100 2.5 MW (best case) en de GE 120 2.75 MW (worst case), inclusief slagschaduwontvangers (woningen), gemarkeerd als rode punten.

Geconcludeerd wordt dat voor een reeks receptoren (woningen) de gehanteerde slagschaduwnorm van 6 u/j overschreden wordt, zowel voor de best case als de worst case situatie. Overschrijding vindt met name plaats in de wijken Mosterdhof, De Weem en Vredenburg, te Westervoort. Een slagschaduwbeperkende voorziening (stilstandvoorziening) dient in dit geval onderdeel van de installatie te zijn. Indien deze voorziening geïnstalleerd en toegepast wordt, zal voldaan worden aan de wettelijke jaarlijkse norm van het Activiteitenbesluit. Het geschatte effect op de productie van stilstand t.b.v. voorkoming slagschaduw is klein (< 0,5 %).

Tabel 9: Berekende aantal woningen binnen 6 u/j en 15 u/j slagschaduwcontouren voor L100 2.5 MW (best case) en GE120 2.75 MW (worst case), zonder stilstandvoorziening

Turbines (#/type/ashoogte)	# Woningen binnen 6 u/j contour	# Woningen binnen 15 u/j contour
4 x Lagerwey L100 2.5 @ 99m	365 ²⁾	11 ¹⁾
4 x GE 2.75-120 @ 110m	709 ³⁾	36 ²⁾

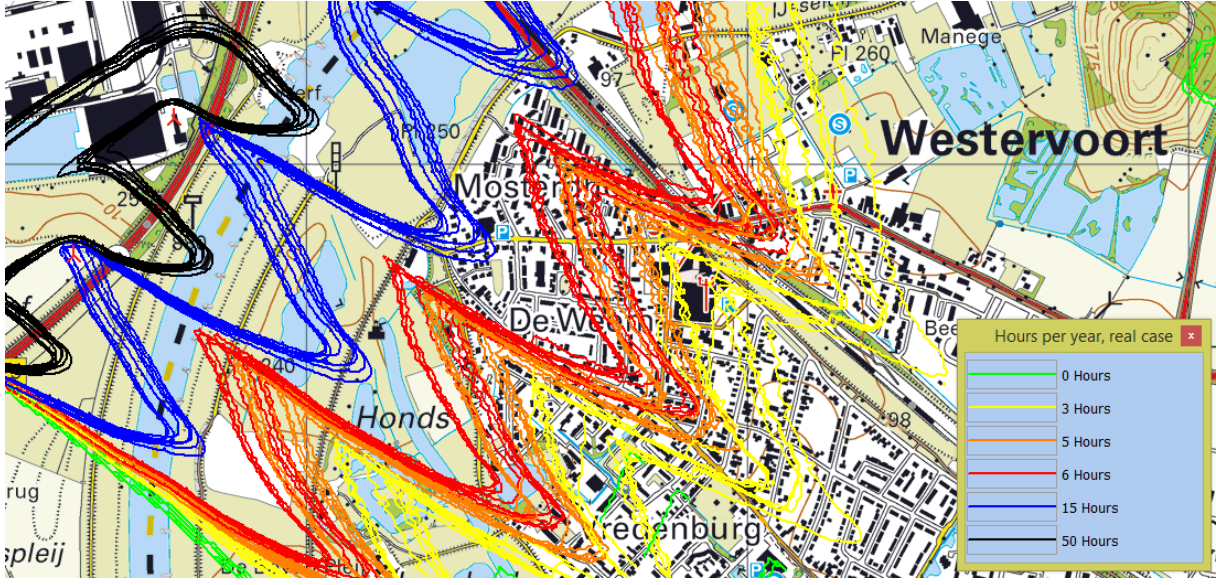
¹⁾ In 9 gevallen gaat het om toegewezen ligplaatsen voor woonboten, ligplaatsen zijn niet geverifiëerd

²⁾ In 13 gevallen gaat het om toegewezen ligplaatsen voor woonboten, ligplaatsen zijn niet geverifiëerd

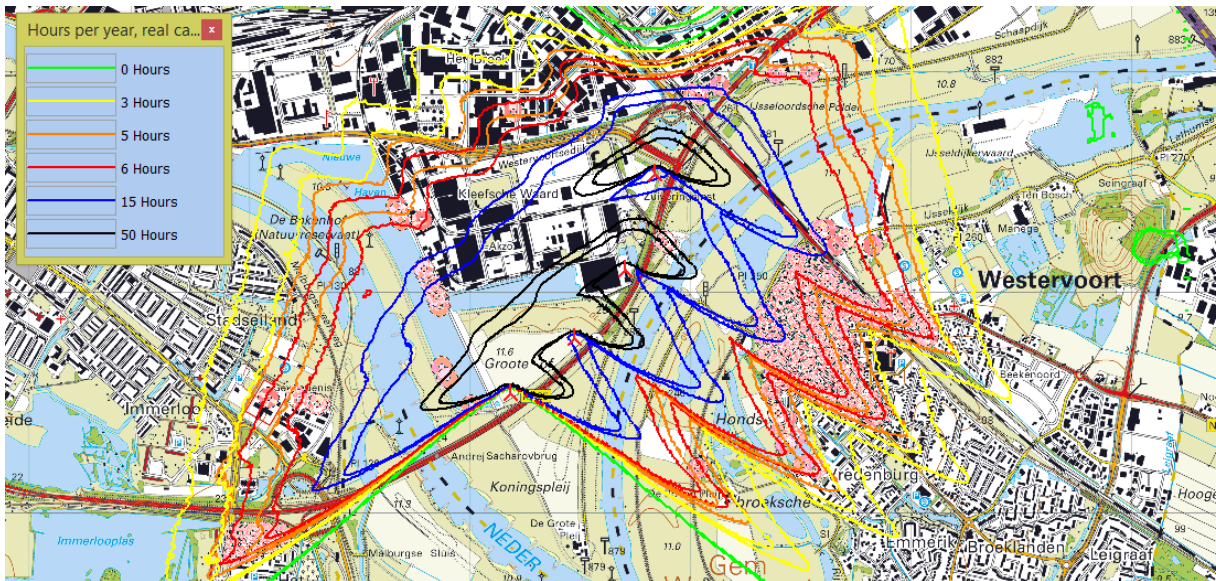
³⁾ In 16 gevallen gaat het om toegewezen ligplaatsen voor woonboten, ligplaatsen zijn niet geverifiëerd



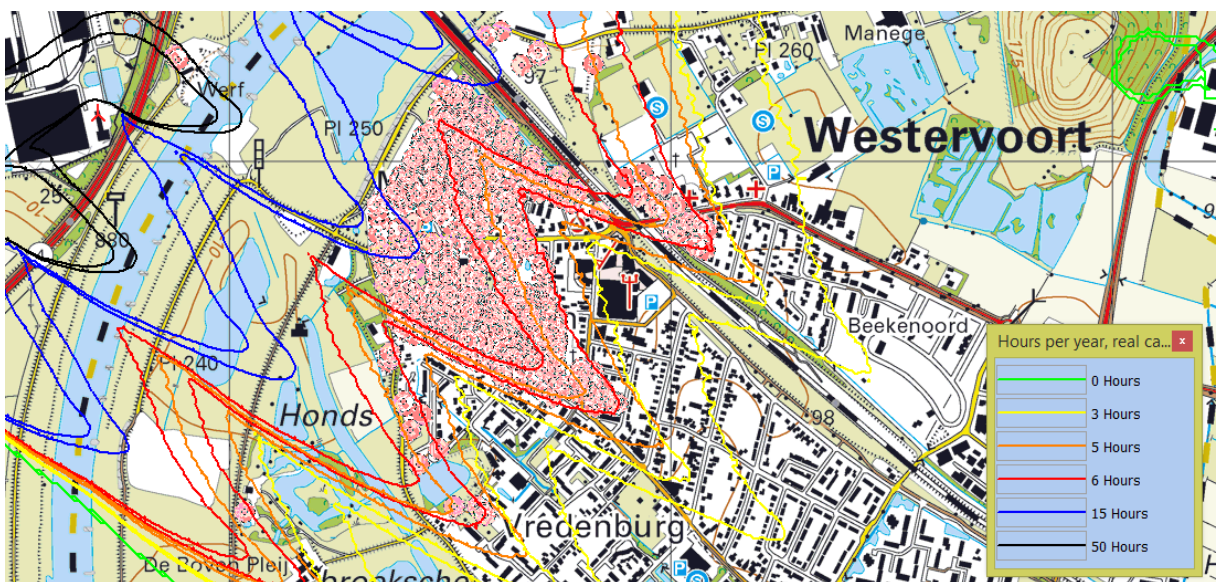
Figuur 4a: Vergelijking slagschaduwcontouren voor alle turbinetypen (uren per jaar)



Figuur 4b: Vergelijking slagschaduwcontouren voor alle turbinetypen (uren per jaar)(detail)



Figuur 4c: Slagschaduwcontouren voor L100 2.5 MW (best case) en GE120 2.75 (worst case), zonder stilstandvoorziening (woningen gemarkeerd als rode punten, uren per jaar)



Figuur 4d: Slagschaduwcontouren voor L100 2.5 MW (best case) en GE120 2.75 (worst case), zonder stilstandvoorziening (woningen gemarkeerd als rode punten, uren per jaar)(detail)

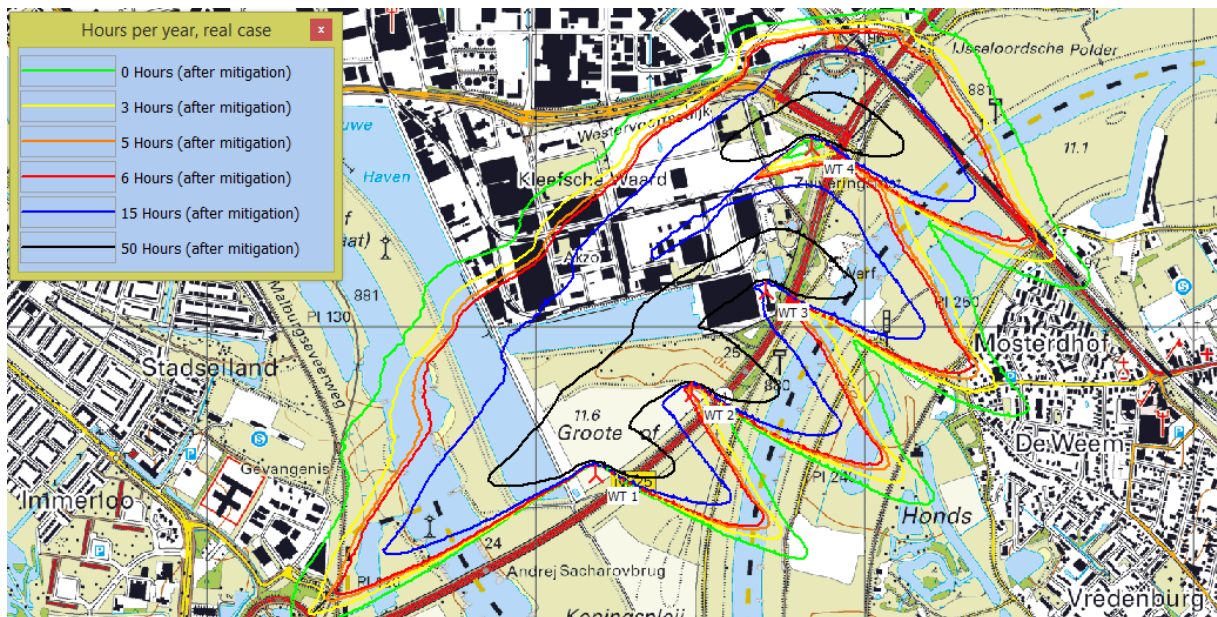
Voor de situatie waarin d.m.v. een stilstandvoorziening het jaarlijkse aantal slagschaduwuren beperkt wordt tot minder dan de slagschaduwnorm van 6 u/j, zijn ter indicatie de nieuwe slagschaduwcontouren berekend voor het worst case turbintype (GE120 2.75). Uitgangspunt hierbij is dat de slagschaduwnorm van 6 u/j toegepast wordt op de positie van de voorheen meest door slagschaduw getroffen woning, gelegen in de wijk Mosterdhof te Westervoort. Opgemerkt wordt hierbij tevens dat dichterbij, in de Nieuwe Haven, enkele woonboten zijn afgemeerd. De woonboten direct afgemeerd aan de oostelijke zijde liggen direct naast de kademuur, waardoor in de praktijk geen sprake zal zijn van slagschaduw. Gemeente Arnhem meldt dat er aan de uiterste zuidwest zijde

(overzijde) van de Nieuwe Haven nog slechts een laatste woonboot (woonark) ligt, waarvoor reeds op zo kort mogelijke termijn een andere ligplaats gezocht wordt. Slagschaduw over woonboten wordt daarmee verondersteld niet meer van toepassing te zijn. [10]

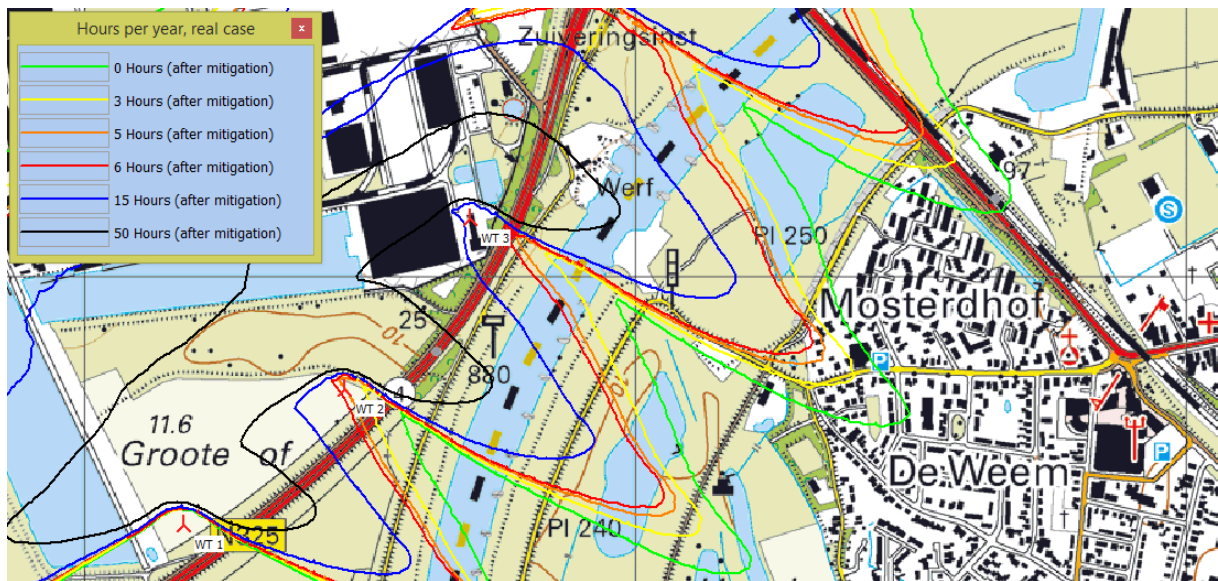
Uit berekeningen volgt dat voldaan wordt aan de 6 u/j slagschaduwnorm indien alle turbines gemiddeld 13 u/j stilgezet worden gedurende potentieel optredende slagschaduw, voor de worst case GE120 2.75 turbine. Opgemerkt wordt dat het hier een statistisch gemiddelde betreft, gebaseerd op langjarige data. De waarde van 13 u/j is een geprojecteerd langjarig gemiddelde en kan per jaar afwijken.

Ter indicatie zijn herziene slagschaduwcontouren, na stilstand van 13 u/j voor de worst case GE120 2.75 turbine afgebeeld in figuur 5a en 5b.

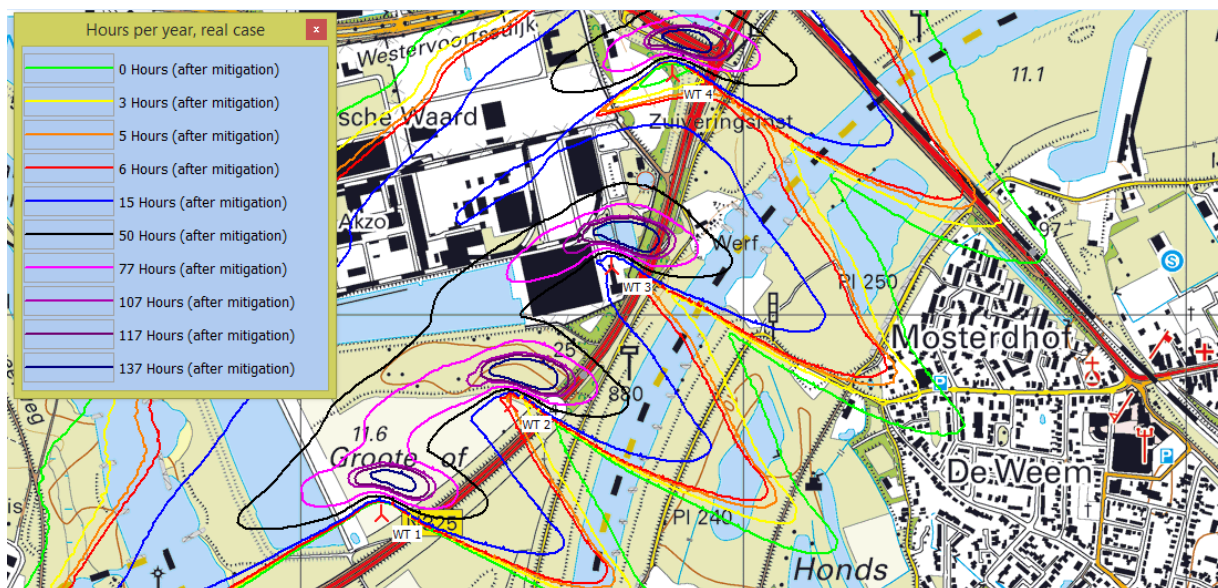
Een indicatie voor het aantal slagschaduwuren, vallend op de middellijn van de Pleijweg (N325) per turbinepositie, voor de worst case GE120 2.75 turbine volgt uit aanvullende berekeningen. Hierbij is rekening gehouden met de bovengenoemde 13 u/j stilstand voor alle turbines. Het jaarlijkse aantal slagschaduwuren op de Pleijweg t.g.v. WT 1, WT 2, WT 3, WT 4 bedraagt respectievelijk ca. 77, 107, 137 en 117 u/j. Een gemiddelde waarde voor verkeer rijdend over het traject langs alle 4 turbines kan daardoor gesteld worden op ca. 110 u/j. Slagschaduwcontouren zijn in meer detail afgebeeld in figuur 5c.



Figuur 5a: Slagschaduwcontouren (indicatief) voor GE120 2.75 (worst case), met ingeschakelde stilstandvoorziening gedurende 13 u/j (uren per jaar)



Figuur 5b: Slagschaduwcontouren (indicatief) voor GE120 2.75 (worst case), met ingeschakelde stilstandvoorziening gedurende 13 u/j (uren per jaar, detail)



Figuur 5c: Slagschaduwcontouren (indicatief) voor GE120 2.75 (worst case), met ingeschakelde stilstandvoorziening gedurende 13 u/j, specifiek voor slagschaduw op Pleijweg traject langs turbines (uren per jaar, detail)

5 Vermeden emissies

5.1 Vermeden CO₂ emissie

Volgens de zogenaamde referentiepark methode kan de vermeden CO₂ emissie bepaald worden, welke zonder realisatie van het beoogde windpark via conventionele (niet duurzame) productiemiddelen vrij zou komen. De referentieparkmethode gaat uit van de centrale elektriciteitsproductie uit aardgas, kolen en kernenergie, uitgezonderd die centrales waarbij de warmteproductie groter is dan 20 procent van de brandstofinzet. Jaarlijks worden door het CBS de CO₂ emissiefactor en het omzettingsrendement herbepaald, aangezien deze afhankelijk zijn van de samenstelling (kolen, gas) van het referentiepark.

De emissiefactor weerspiegelt de hoeveelheid (massa, kg) CO₂ welke per opgewekte hoeveelheid elektrische energie (gebruikelijk uitgedrukt in MWh, GWh of PJ) vrijkomt bij opwekking.

De rendementsfactor geeft het rendement aan waarmee de omzetting van chemische energie (LHV energetische waarde kolen/gas) naar elektrische energie plaatsvindt, voor de mix aan centrales in het referentiepark.

Tabel 10 geeft een overzicht van de meest recente data (2014) zoals gepubliceerd door het CBS.

Tabel 10: Overzicht van rendementsfactor en CO₂ emissiefactor in 2014

Jaar	Rendementsfactor (%)	CO ₂ emissiefactor [kg/kWh] / [ton/MWh]
2014	41,5	0,636

Tabel 11 geeft per turbintype een samenvatting van zowel de jaarlijkse als de totale hoeveelheid vermeden CO₂ emissie over een operationele periode van 20 jaar.

Tabel 11: Overzicht vermeden CO₂ emissie; jaarlijks en voor operationele periode van 20 jaar.

Turbines (#/type/ashoogte)	AEP P50 ¹⁾ productie [MWh/j]	Jaarlijks vermeden CO ₂ emissie [ton CO ₂]	Gedurende periode van 20 jaar vermeden CO ₂ emissie [ton CO ₂]
4 x Lagerwey L100 2.5 @ 99m	22.812	34.960	699.202
4 x Enercon E101 3.05 @ 99m	24.532	37.596	751.921
4 x Enercon E103 2.35 @ 98m	21.887	33.542	670.850
4 x Siemens SWT 108 3.0 @ 115m	29.709	45.530	910.599
4 x GE120 2.75 @ 110m	31.911	48.905	978.091
4 x Siemens SWT 113 3.0 @ 115m	32.115	49.217	984.344
4 x Siemens SWT 113 3.2 @ 115m	32.685	50.091	1.001.815
4 x Vestas V117 3.3 @ 116,5m	32.883	50.394	1.007.884
4 x Senvion 114 3.4 @ 119m	33.804	51.806	1.036.113

Aangezien bij omzetting van wind naar elektrische energie geen emissies vrijkomen, wordt het (chemisch) rendement gesteld op 100 %.

De relatieve waarde voor vermeden CO₂ emissie per eenheid opgewekte elektrische energie is daardoor gelijk aan de reciproke rendementsfactor (2014) maal de CO₂ emissiefactor en bedraagt:

1,53 [kg/kWh] (voor CO₂ , in 2014)

5.2 Vermeden NO_x, PM en SO_x emissie

Vergelijkbaar aan de methode zoals omschreven in paragraaf 5.1, kunnen ook andere vermeden emissies bepaald worden. In een studie van CE Delft worden emissiefactoren gepresenteerd, zoals opgesomd in tabel 12. [8] Bij deze cijfers wordt echter uitgegaan van de situatie in 2013, zodat ook de rendementsfactor van 2013 zoals vastgesteld door het CBS hierbij apart vermeld wordt.

Tabel 12: Overzicht rendementsfactor en emissiefactoren 2013

Jaar	Rendementsfactor (%)	NO _x emissiefactor [kg/MWh]	PM emissiefactor [kg/MWh]	SO _x emissiefactor [kg/MWh]
2013	42,6	0,71	0,03	0,39

Tabel 13: Overzicht vermeden NO_x, PM en SO_x emissies; jaarlijks en gedurende operationele periode van 20 jaar.

Turbines (#/type/ashoogte)	Vermeden NO _x emissie		Vermeden PM emissie		Vermeden SO _x emissie	
	[ton NO _x]		[ton PM]		[ton SO _x]	
	Jaar	20 j	Jaar	20 j	Jaar	20 j
4 x Lagerwey L100 2.5 @ 99m	38,0	760	1,6	32	20,9	418
4 x Enercon E101 3.05 @ 99m	40,9	818	1,7	35	22,5	449
4 x Enercon E103 2.35 @ 98m	36,5	730	1,5	31	20,0	401
4 x Siemens SWT 108 3.0 @ 115m	49,5	990	2,1	42	27,2	544
4 x GE120 2.75 @ 110m	53,2	1.064	2,2	45	29,2	584
4 x Siemens SWT 113 3.0 @ 115m	53,5	1.071	2,3	45	29,4	588
4 x Siemens SWT 113 3.2 @ 115m	54,5	1.090	2,3	46	29,9	598
4 x Vestas V117 3.3 @ 116,5m	54,8	1.096	2,3	46	30,1	602
4 x Senvion 114 3.4 @ 119m	56,3	1.127	2,4	48	30,9	619

De relatieve waarden voor vermeden NO_x , PM en SO_x emissies per eenheid opgewekte elektrische energie zijn gelijk aan de reciproke rendementsfactor maal de emissiefactoren (2013) en bedragen:

1,67 [g/kWh] (voor NO_x , in 2013)

70,42 [mg/kWh] (voor PM , in 2013)

0,92 [g/kWh] (voor SO_x , in 2013)

Referenties

- [1] Shuttle Radar Topography Mission (SRTM);
<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/cbanddataproducts.html>
- [2] Corine Land Cover online roughness data Cover (CLC2006);
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-clc2006-100-m-version-12-2009>
- [3] Evaluation of site-specific wind conditions v 1.0, Measnet, November 2009
- [4] IEC 61400-12-1 Ed.1: Wind turbines - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines, August 2005
- [5] Effecten van Windpark Koningspleij op beschermd gebied; passende beoordeling in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998, Bureau Waardenburg, A. Gyimesi, C. Heunks, juli 2016
- [6] Regeling van de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer van 9 november 2007, nr. DJZ2007104180, houdende algemene regels voor inrichtingen (Regeling algemene regels voor inrichtingen milieubeheer (RARIM)); artikel 3.12
- [7] Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie; methodiek voor het berekenen en registreren van de bijdrage van hernieuwbare energiebronnen, RVO/CBS, L. Bosselaar (RVO) e.a., Reinoud Segers (CBS)
- [8] Emissiekentallen elektriciteit; Kentallen voor grijze en 'niet-geormerkte stroom' inclusief upstream-emissies, CE Delft, M.B.J. Otten, M.R. Afman, januari 2015
- [9] http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php
- [10] Communicatie gemeente Arnhem

Bijlage A: Verklaring van gebruikte databron(nen) en hun oorsprong

EMD/ConWX:

High resolution Meso scale data modelled in collaboration between EMD (<http://www.emd.dk>) and ConWx (<http://www.conwx.com>).

The meso scale model is run in-house at a spatial resolution of $0.03^{\circ} \times 0.03^{\circ}$ or approximately 3x3 km with hourly temporal resolution. ERA Interim data from ECMWF (<http://www.ecmwf.int>) has been used as the global boundary data set. The data set covers Europe including larger parts of Turkey and Ukraine, but excluding the northern extreme of Scandinavia.

Access to download EMD-ConWx Meso Data requires subscription.

CFSR:

This dataset is CFSR v. 1. It is the original CFSR reanalysis dataset, developed with a grid resolution of 0.3 degrees and data available in the period from 1979 to 2010. This dataset is not updated.

The CFSR is a third generation reanalysis product. It is a global, high resolution, coupled atmosphere-ocean-land surface-sea ice system designed to provide the best estimate of the state of these coupled domains over this period. The CFSR includes (1) coupling of atmosphere and ocean during the generation of the 6 hour guess field, (2) an interactive sea-ice model, and (3) assimilation of satellite radiances. The CFSR global atmosphere resolution is ~ 38 km (T382) with 64 levels. The global ocean is 0.25° at the equator, extending to a global 0.5° beyond the tropics, with 40 levels. The global land surface model has 4 soil levels and the global sea ice model has 3 levels. The CFSR atmospheric model contains observed variations in carbon dioxide (CO₂), together with changes in aerosols and other trace gases and solar variations. With these variable parameters, the analyzed state will include estimates of changes in the Earth system climate due to these factors. More information available at: <https://climatedataguide.ucar.edu/reanalysis/climate-forecast-system-reanalysis-cfsr>

MERRA: (MODERN ERA RETROSPECTIVE-ANALYSIS FOR RESEARCH AND APPLICATIONS)

These data originates from the Global Modeling and Assimilation Office of NASA / Goddard Space Flight Center. The MERRA analysis are being conducted with the GEOS-5 Atmospheric Data Assimilation System (ADAS). The model grid is 0.5 degree latitude and 2/3 degree longitude. The raw data may be obtained from this URL: <http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/Acknowledgement>: The Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) for the MERRA-analysis and the GES DISC for the dissemination of MERRA. This sub-dataset is provided and processed by EMD International A/S, web: <http://www.emd.dk> or <http://www.WindPRO.com>

Bijlage B: WindPRO berekeningen opbrengst

Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
23-9-2016 00:32/3.1.579



PARK - Main Result

Calculation: PARK calculation (4xL100 2.5 MW + LT corr)

Wake Model N.O. Jensen (RISØ/EMD)

Calculation Settings
Air density calculation mode Individual per WTG
Result for WTG at hub altitude 1,233 kg/m³ to 1,234 kg/m³
Air density relative to standard 100,7 % to 100,7 %
Hub altitude above sea level (asl) 109,0 m to 113,1 m
Annual mean temperature at hub alt. 9,2 °C to 9,2 °C
Pressure at WTGs 999,5 hPa to 1.000,0 hPa

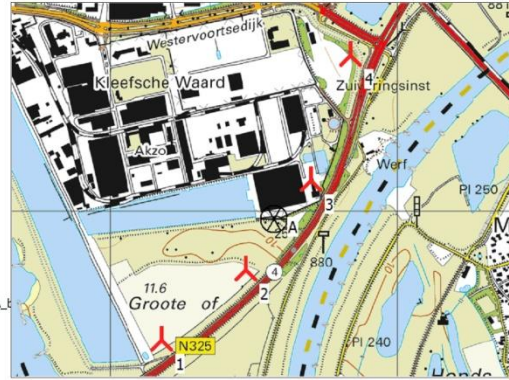
Wake Model Parameters
Terrain type Wake decay constant
HH:100m Closed farmland 0,072

Displacement heights from objects

Wake calculation settings
Angle [°] Wind speed [m/s]
start end step start end step
0,5 360,0 1,0 0,5 30,5 1,0

Wind statistics NL Meetmast Ressen (totaal) (Regression MCP using MERRA2)

WAsP version WAsP 11 Version 11.02.0062



Key results for height 100,0 m above ground level

Terrain Dutch Stereo-RD/NAP 2000

X (east)	Y (north)	Name of wind distribution	Type	Wind energy [kWh/m²]	Mean wind speed [m/s]	Equivalent roughness
A 193.574	441.968	Site data object for WAsP (Meetmast, LT)	WAsP (WAsP 11 Version 11.02.0062)	2.362	6,4	2,1

Calculated Annual Energy for Wind Farm

WTG combination	Result PARK [MWh/y]	Result-10,5% [MWh/y]	GROSS (no loss) Free WTGs [MWh/y]	Park efficiency [%]	Capacity factor [%]	Mean WTG result [MWh/y]	Full load hours [Hours/year]	Mean wind speed @hub height [m/s]	Specific results	
									Result-10,5% [MWh/y]	Free WTGs [MWh/y]
Wind farm	25.488,6	22.812,3	26.828,3	95,0	26,0	5.703,1	2.281	6,3		

**) Based on Result-10,5%*

Calculated Annual Energy for each of 4 new WTGs with total 10,0 MW rated power

Links	WTG type		Type-generator	Power, rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Power curve		Annual Energy		Park Efficiency [%]	Free mean wind speed [m/s]
	Valid	Manufact.					Creator	Name	Result [MWh]	Result-10,5% [MWh]		
1 A	Yes	LAGERWEY	L100-2.500	2.500	100,0	99,0	EMD	L100 2.5 MW6	6.577,0	5.886	97,82	6,34
2 A	Yes	LAGERWEY	L100-2.500	2.500	100,0	99,0	EMD	L100 2.5 MW6	6.253,7	5.597	93,37	6,32
3 A	Yes	LAGERWEY	L100-2.500	2.500	100,0	99,0	EMD	L100 2.5 MW6	6.356,1	5.689	93,34	6,37
4 A	Yes	LAGERWEY	L100-2.500	2.500	100,0	99,0	EMD	L100 2.5 MW6	6.301,7	5.640	95,51	6,27

WTG siting

Dutch Stereo-RD/NAP 2000

X (east) Y (north) Z Row data/Description

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Row data/Description
1 New	193.181	441.547	11,7	LAGERWEY L100 2500 100.0 IO! hub: 99,0 m (TOT: 149,0 m) (161)
2 New	193.474	441.794	10,0	LAGERWEY L100 2500 100.0 IO! hub: 99,0 m (TOT: 149,0 m) (162)
3 New	193.702	442.104	14,1	LAGERWEY L100 2500 100.0 IO! hub: 99,0 m (TOT: 149,0 m) (163)
4 New	193.839	442.540	12,3	LAGERWEY L100 2500 100.0 IO! hub: 99,0 m (TOT: 149,0 m) (164)

Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
23-9-2016 00:45/3.1.579



PARK - Main Result

Calculation: PARK calculation (4x E101 3.05 MW + LT corr)

Wake Model N.O. Jensen (RISØ/EMD)

Calculation Settings
Air density calculation mode Individual per WTG
Result for WTG at hub altitude 1,233 kg/m³ to 1,234 kg/m³
Air density relative to standard 100,7 % to 100,7 %
Hub altitude above sea level (asl) 109,0 m to 113,1 m
Annual mean temperature at hub alt. 9,2 °C to 9,2 °C
Pressure at WTGs 999,5 hPa to 1.000,0 hPa

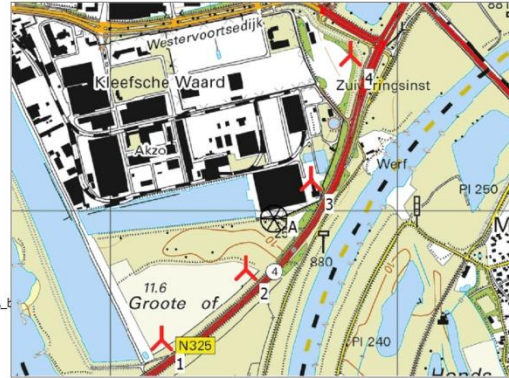
Wake Model Parameters
Terrain type Wake decay constant
HH:100m Closed farmland 0,072

Displacement heights from objects

Wake calculation settings
Angle [°] Wind speed [m/s]
start end step start end step
0,5 360,0 1,0 0,5 30,5 1,0

Wind statistics NL Meetmast Resen (totaal) (Regression MCP using MERRA2)

WASP version WASP 11 Version 11.02.0062



Scale 1:20.000
New WTG Site Data

Key results for height 100,0 m above ground level

Terrain Dutch Stereo-RD/NAP 2000

X (east)	Y (north)	Name of wind distribution	Type	Wind energy [kWh/m²]	Mean wind speed [m/s]	Equivalent roughness
A 193.574	441.968	Site data object for WASP (Meetmast, LT)	WASP (WASP 11 Version 11.02.0062)	2.362	6,4	2,1

Calculated Annual Energy for Wind Farm

WTG combination	Result PARK [MWh/y]	Result-10,7% [MWh/y]	GROSS (no loss) Free WTGs [MWh/y]	Park efficiency [%]	Specific results			Mean wind speed @hub height [m/s]
					Capacity factor [%]	Mean WTG result [MWh/y]	Full load hours [Hours/year]	
Wind farm	27.471,3	24.531,9	29.821,2	92,1	22,9	6.133,0	2.011	6,3

*) Based on Result-10,7%

Calculated Annual Energy for each of 4 new WTGs with total 12,2 MW rated power

Links	WTG type			Power rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Power curve		Annual Energy		Park Efficiency [%]	Free mean wind speed [m/s]
	Valid	Manufact.	Type-generator				Creator	Name	Result [MWh]	Result-10,7% [MWh]		
1 A	Yes	ENERCON	E-101-3.050	3.050	101,0	99,0	EMD	Level 0 - official - OM 0 - 3050kW - 03/2015	7.225,6	6.452	96,71	6,34
2 A	Yes	ENERCON	E-101-3.050	3.050	101,0	99,0	EMD	Level 0 - official - OM 0 - 3050kW - 03/2015	6.667,0	5.954	89,59	6,32
3 A	Yes	ENERCON	E-101-3.050	3.050	101,0	99,0	EMD	Level 0 - official - OM 0 - 3050kW - 03/2015	6.791,5	6.065	89,54	6,37
4 A	Yes	ENERCON	E-101-3.050	3.050	101,0	99,0	EMD	Level 0 - official - OM 0 - 3050kW - 03/2015	6.787,3	6.061	92,69	6,27

WTG siting

Dutch Stereo-RD/NAP 2000

X (east)	Y (north)	Z [m]	Row data/Description
1 New	193.181	441.547	11,7 ENERCON E-101 3050 101.0 !-! hub: 99,0 m (TOT: 149,5 m) (165)
2 New	193.474	441.794	10,0 ENERCON E-101 3050 101.0 !-! hub: 99,0 m (TOT: 149,5 m) (166)
3 New	193.702	442.104	14,1 ENERCON E-101 3050 101.0 !-! hub: 99,0 m (TOT: 149,5 m) (167)
4 New	193.839	442.540	12,3 ENERCON E-101 3050 101.0 !-! hub: 99,0 m (TOT: 149,5 m) (168)

Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
23-9-2016 00:51/3.1.579



PARK - Main Result

Calculation: PARK calculation (4xE103 2.35 MW + LT corr)

Wake Model N.O. Jensen (RISØ/EMD)

Calculation Settings
Air density calculation mode Individual per WTG
Result for WTG at hub altitude 1,233 kg/m³ to 1,234 kg/m³
Air density relative to standard 100,7 % to 100,7 %
Hub altitude above sea level (asl) 108,0 m to 112,1 m
Annual mean temperature at hub alt. 9,2 °C to 9,2 °C
Pressure at WTGs 999,6 hPa to 1.000,1 hPa

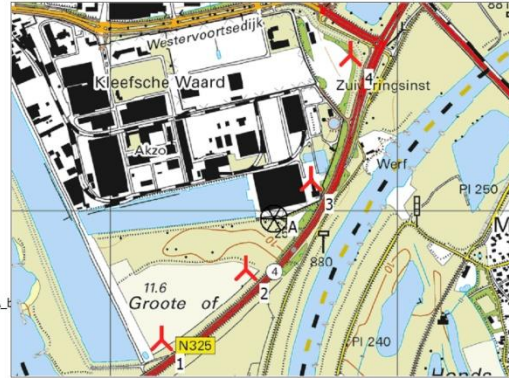
Wake Model Parameters
Terrain type Wake decay constant
HH:100m Closed farmland 0,072

Displacement heights from objects

Wake calculation settings
Angle [°] Wind speed [m/s]
start end step start end step
0,5 360,0 1,0 0,5 30,5 1,0

Wind statistics NL Meetmast Resen (totaal) (Regression MCP using MERRA2)

WAsP version WAsP 11 Version 11.02.0062



Scale 1:20.000
New WTG Site Data

Key results for height 100,0 m above ground level

Terrain Dutch Stereo-RD/NAP 2000

X (east)	Y (north)	Name of wind distribution	Type	Wind energy [kWh/m²]	Mean wind speed [m/s]	Equivalent roughness
A 193.574	441.968	Site data object for WAsP (Meetmast, LT)	WAsP (WAsP 11 Version 11.02.0062)	2.362	6,4	2,1

Calculated Annual Energy for Wind Farm

WTG combination	Result [MWh/y]	Result-10,6% [MWh/y]	GROSS (no loss) Free WTGs [MWh/y]	Park efficiency [%]	Specific results			Mean wind speed @hub height [m/s]
					Capacity factor [%]	Mean WTG result [MWh/y]	Full load hours [Hours/year]	
Wind farm	24.482,2	21.887,0	25.963,5	94,3	26,6	5.471,8	2.328	6,3

*) Based on Result-10,6%

Calculated Annual Energy for each of 4 new WTGs with total 9,4 MW rated power

Links	WTG type		Power, rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Power curve		Annual Energy		Park Efficiency [%]	Free mean wind speed [m/s]		
	Valid	Manufact.				Type-generator	Creator	Name	Result [MWh]			Result-10,6% [MWh]	
1 A	Yes	ENERCON	E-103-2.350	2.350	103,0	98,0	USER	Level 0 from PDF	Enercon	6.336,1	5.664	97,38	6,32
2 A	Yes	ENERCON	E-103-2.350	2.350	103,0	98,0	USER	Level 0 from PDF	Enercon	5.999,1	5.363	92,54	6,31
3 A	Yes	ENERCON	E-103-2.350	2.350	103,0	98,0	USER	Level 0 from PDF	Enercon	6.089,7	5.444	92,41	6,36
4 A	Yes	ENERCON	E-103-2.350	2.350	103,0	98,0	USER	Level 0 from PDF	Enercon	6.057,3	5.415	94,88	6,26

WTG siting

Dutch Stereo-RD/NAP 2000

	X (east)	Y (north)	Z [m]	Row data/Description
1 New	193.181	441.547	11,7	ENERCON E-103 2350 103.0 !-! hub: 98,0 m (TOT: 149,5 m) (193)
2 New	193.474	441.794	10,0	ENERCON E-103 2350 103.0 !-! hub: 98,0 m (TOT: 149,5 m) (194)
3 New	193.702	442.104	14,1	ENERCON E-103 2350 103.0 !-! hub: 98,0 m (TOT: 149,5 m) (195)
4 New	193.839	442.540	12,3	ENERCON E-103 2350 103.0 !-! hub: 98,0 m (TOT: 149,5 m) (196)

Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
23-9-2016 01:01/3.1.579



PARK - Main Result

Calculation: PARK calculation (4xSWT108 3.0 MW + LT corr)

Wake Model N.O. Jensen (RISØ/EMD)

Calculation Settings
Air density calculation mode Individual per WTG
Result for WTG at hub altitude 1,231 kg/m³ to 1,232 kg/m³
Air density relative to standard 100,5 % to 100,6 %
Hub altitude above sea level (asl) 125,0 m to 129,1 m
Annual mean temperature at hub alt. 9,1 °C to 9,1 °C
Pressure at WTGs 997,6 hPa to 998,1 hPa

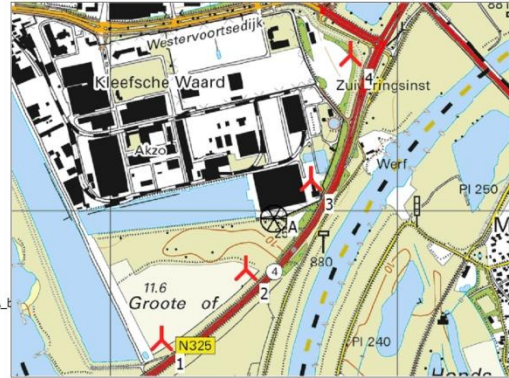
Wake Model Parameters
Terrain type Wake decay constant
HH:100m Closed farmland 0,072

Displacement heights from objects

Wake calculation settings
Angle [°] Wind speed [m/s]
start end step start end step
0,5 360,0 1,0 0,5 30,5 1,0

Wind statistics NL Meetmast Resen (totaal) (Regression MCP using MERRA2)

WAsP version WAsP 11 Version 11.02.0062



▲ New WTG ● Site Data

Key results for height 100,0 m above ground level

Terrain Dutch Stereo-RD/NAP 2000

X (east)	Y (north)	Name of wind distribution	Type	Wind energy [kWh/m ²]	Mean wind speed [m/s]	Equivalent roughness
A 193.574	441.968	Site data object for WAsP (Meetmast, LT)	WAsP (WAsP 11 Version 11.02.0062)	2.362	6,4	2,1

Calculated Annual Energy for Wind Farm

WTG combination	Result PARK [MWh/y]	Result-10,6% [MWh/y]	GROSS (no loss) Free WTGs [MWh/y]	Park efficiency [%]	Specific results ^{a)}			Mean wind speed @hub height [m/s]
					Capacity factor [%]	Mean WTG result [MWh/y]	Full load hours [Hours/year]	
Wind farm	33.231,8	29.709,2	35.539,6	93,5	28,2	7.427,3	2.476	6,6

^{a)} Based on Result-10,6%

Calculated Annual Energy for each of 4 new WTGs with total 12,0 MW rated power

Links	WTG type		Power, rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Power curve		Annual Energy		Park Efficiency [%]	Free mean wind speed [m/s]
	Valid	Manufact. Type-generator				Creator	Name	Result [MWh]	Result-10,6% [MWh]		
1 A	Yes	Siemens SWT-3.0-108-3.000	3.000	108,0	115,0	EMD	Level 0 - Calculated - Std. 107 dB - 02-2013	8.668,1	7.749	97,01	6,67
2 A	Yes	Siemens SWT-3.0-108-3.000	3.000	108,0	115,0	EMD	Level 0 - Calculated - Std. 107 dB - 02-2013	8.124,4	7.263	91,53	6,65
3 A	Yes	Siemens SWT-3.0-108-3.000	3.000	108,0	115,0	EMD	Level 0 - Calculated - Std. 107 dB - 02-2013	8.203,3	7.334	91,31	6,69
4 A	Yes	Siemens SWT-3.0-108-3.000	3.000	108,0	115,0	EMD	Level 0 - Calculated - Std. 107 dB - 02-2013	8.236,0	7.363	94,18	6,60

WTG siting

Dutch Stereo-RD/NAP 2000

	X (east)	Y (north)	Z [m]	Row data/Description
1 New	193.181	441.547	11,7	Siemens SWT-3.0-108 3000 108.0 IO! hub: 115,0 m (TOT: 169,0 m) (169)
2 New	193.474	441.794	10,0	Siemens SWT-3.0-108 3000 108.0 IO! hub: 115,0 m (TOT: 169,0 m) (170)
3 New	193.702	442.104	14,1	Siemens SWT-3.0-108 3000 108.0 IO! hub: 115,0 m (TOT: 169,0 m) (171)
4 New	193.839	442.540	12,3	Siemens SWT-3.0-108 3000 108.0 IO! hub: 115,0 m (TOT: 169,0 m) (172)

Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
23-9-2016 01:09/3.1.579



PARK - Main Result

Calculation: PARK calculation (4xGE120 2.75 MW + LT corr)
Wake Model N.O. Jensen (RISØ/EMD)

Calculation Settings
Air density calculation mode Individual per WTG
Result for WTG at hub altitude 1,232 kg/m³ to 1,232 kg/m³
Air density relative to standard 100,6 % to 100,6 %
Hub altitude above sea level (asl) 120,0 m to 124,1 m
Annual mean temperature at hub alt. 9,1 °C to 9,1 °C
Pressure at WTGs 998,2 hPa to 998,7 hPa

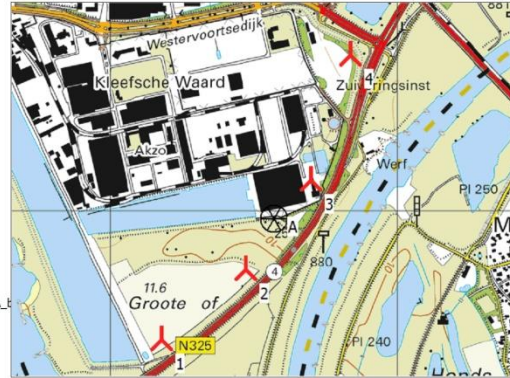
Wake Model Parameters
Terrain type Wake decay constant
HH:100m Closed farmland 0,072

Displacement heights from objects

Wake calculation settings
Angle [°] Wind speed [m/s]
start end step start end step
0,5 360,0 1,0 0,5 30,5 1,0

Wind statistics NL Meetmast Resen (totaal) (Regression MCP using MERRA2)

WASP version WASP 11 Version 11.02.0062



Scale 1:20.000
New WTG Site Data

Key results for height 100,0 m above ground level

Terrain Dutch Stereo-RD/NAP 2000

X (east)	Y (north)	Name of wind distribution	Type	Wind energy [kWh/m²]	Mean wind speed [m/s]	Equivalent roughness
A 193.574	441.968	Site data object for WASP (Meetmast, LT)	WASP (WASP 11 Version 11.02.0062)	2.362	6,4	2,1

Calculated Annual Energy for Wind Farm

WTG combination	Result PARK [MWh/y]	Result-10,5% [MWh/y]	GROSS (no loss) Free WTGs [MWh/y]	Park efficiency [%]	Specific results») Capacity factor			Mean wind speed @hub height [m/s]
					Mean WTG result [MWh/y]	Full load hours [Hours/year]	Mean WTG result [MWh/y]	
Wind farm	35.654,8	31.911,0	38.004,5	93,8	33,1	7.977,8	2.901	6,6

») Based on Result-10,5%

Calculated Annual Energy for each of 4 new WTGs with total 11,0 MW rated power

Links	WTG type			Power, rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Power curve		Annual Energy		Park Efficiency [%]	Free mean wind speed [m/s]	
	Valid	Manufact.	Type-generator				Creator	Name	Result [MWh]	Result-10,5% [MWh]			
1	A	Yes	GE WIND ENERGY	GE 2.75-120-2.750	2.750	120,0	110,0	EMD	Level 0 - Calculated - Normal operation - 2014	9.243,1	8.273	96,82	6,57
2	A	Yes	GE WIND ENERGY	GE 2.75-120-2.750	2.750	120,0	110,0	EMD	Level 0 - Calculated - Normal operation - 2014	8.736,3	7.819	92,04	6,55
3	A	Yes	GE WIND ENERGY	GE 2.75-120-2.750	2.750	120,0	110,0	EMD	Level 0 - Calculated - Normal operation - 2014	8.815,5	7.890	91,77	6,59
4	A	Yes	GE WIND ENERGY	GE 2.75-120-2.750	2.750	120,0	110,0	EMD	Level 0 - Calculated - Normal operation - 2014	8.859,9	7.930	94,66	6,50

WTG siting

Dutch Stereo-RD/NAP 2000

	X (east)	Y (north)	Z [m]	Row data/Description
1	New 193.181	441.547	11,7	GE WIND ENERGY GE 2.75-120 2750 120.0 IO! hub: 110,0 m (TOT: 170,0 m) (173)
2	New 193.474	441.794	10,0	GE WIND ENERGY GE 2.75-120 2750 120.0 IO! hub: 110,0 m (TOT: 170,0 m) (174)
3	New 193.702	442.104	14,1	GE WIND ENERGY GE 2.75-120 2750 120.0 IO! hub: 110,0 m (TOT: 170,0 m) (175)
4	New 193.839	442.540	12,3	GE WIND ENERGY GE 2.75-120 2750 120.0 IO! hub: 110,0 m (TOT: 170,0 m) (176)



Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
23-9-2016 03:13/3.1.579



PARK - Main Result

Calculation: PARK calculation (4xSWT113 3.0 MW + LT corr)
Wake Model N.O. Jensen (RISØ/EMD)

Calculation Settings
Air density calculation mode Individual per WTG
Result for WTG at hub altitude 1,231 kg/m³ to 1,232 kg/m³
Air density relative to standard 100,5 % to 100,6 %
Hub altitude above sea level (asl) 125,0 m to 129,1 m
Annual mean temperature at hub alt. 9,1 °C to 9,1 °C
Pressure at WTGs 997,6 hPa to 998,1 hPa

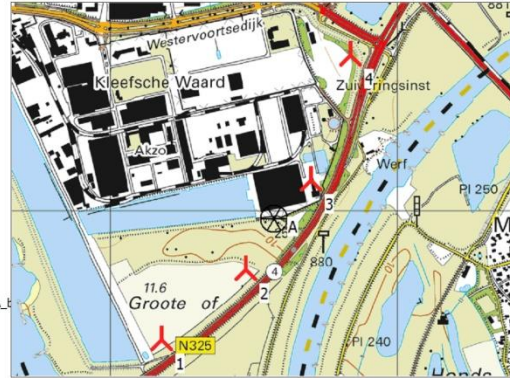
Wake Model Parameters
Terrain type Wake decay constant
HH:100m Closed farmland 0,072

Displacement heights from objects

Wake calculation settings
Angle [°] Wind speed [m/s]
start end step start end step
0,5 360,0 1,0 0,5 30,5 1,0

Wind statistics NL Meetmast Resen (totaal) (Regression MCP using MERRA2)

WASP version WASP 11 Version 11.02.0062



Scale 1:20.000
New WTG Site Data

Key results for height 100,0 m above ground level

Terrain Dutch Stereo-RD/NAP 2000

X (east)	Y (north)	Name of wind distribution	Type	Wind energy [kWh/m²]	Mean wind speed [m/s]	Equivalent roughness
A 193.574	441.968	Site data object for WASP (Meetmast, LT)	WASP (WASP 11 Version 11.02.0062)	2.362	6,4	2,1

Calculated Annual Energy for Wind Farm

WTG combination	Result [MWh/y]	Result-10,6% [MWh/y]	GROSS (no loss) Free WTGs [MWh/y]	Park efficiency [%]	Specific results») Capacity factor			Mean wind speed @hub height [m/s]
					Mean WTG result [MWh/y]	Full load hours [Hours/year]	Mean WTG result [MWh/y]	
Wind farm	35.922,3	32.114,6	38.632,5	93,0	30,5	8.028,6	2.676	6,6

») Based on Result-10,6%

Calculated Annual Energy for each of 4 new WTGs with total 12,0 MW rated power

Links	Valid	WTG type Manufact.	Type-generator	Power, rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Power curve Creator	Name	Annual Energy		Park Efficiency [%]	Free mean wind speed [m/s]
									Result [MWh]	Result-10,6% [MWh]		
1	A	Yes	Siemens SWT-3.0-113-3.000	3.000	113,0	115,0	EMD	Level 0 - Calculated - Std. 105.5dB - 09-2014	9.388,5	8.393	96,67	6,67
2	A	Yes	Siemens SWT-3.0-113-3.000	3.000	113,0	115,0	EMD	Level 0 - Calculated - Std. 105.5dB - 09-2014	8.769,8	7.840	90,87	6,65
3	A	Yes	Siemens SWT-3.0-113-3.000	3.000	113,0	115,0	EMD	Level 0 - Calculated - Std. 105.5dB - 09-2014	8.846,3	7.909	90,65	6,69
4	A	Yes	Siemens SWT-3.0-113-3.000	3.000	113,0	115,0	EMD	Level 0 - Calculated - Std. 105.5dB - 09-2014	8.917,7	7.972	93,75	6,60

WTG siting

Dutch Stereo-RD/NAP 2000

X (east)	Y (north)	Z [m]	Row data/Description
1	New 193.181	441.547	11,7 Siemens SWT-3.0-113 3000 113.0 !O! hub: 115,0 m (TOT: 171,5 m) (177)
2	New 193.474	441.794	10,0 Siemens SWT-3.0-113 3000 113.0 !O! hub: 115,0 m (TOT: 171,5 m) (178)
3	New 193.702	442.104	14,1 Siemens SWT-3.0-113 3000 113.0 !O! hub: 115,0 m (TOT: 171,5 m) (179)
4	New 193.839	442.540	12,3 Siemens SWT-3.0-113 3000 113.0 !O! hub: 115,0 m (TOT: 171,5 m) (180)



Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
22-8-2016 14:41/3.1.579



PARK - Main Result

Calculation: PARK calculation (4xSWT113 3.2 MW + LT corr)

Wake Model N.O. Jensen (RISØ/EMD)

Calculation Settings
Air density calculation mode Individual per WTG
Result for WTG at hub altitude 1,231 kg/m³ to 1,232 kg/m³
Air density relative to standard 100,5 % to 100,6 %
Hub altitude above sea level (asl) 125,0 m to 129,4 m
Annual mean temperature at hub alt. 9,1 °C to 9,1 °C
Pressure at WTGs 997,5 hPa to 998,1 hPa

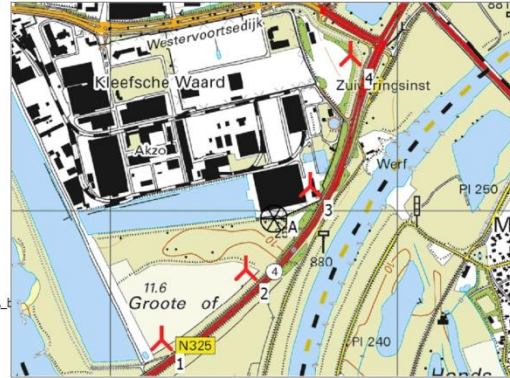
Wake Model Parameters
Terrain type Wake decay constant
HH:100m Closed farmland 0,072

Displacement heights from objects

Wake calculation settings
Angle [°] Wind speed [m/s]
start end step start end step
0,5 360,0 1,0 0,5 32,0 1,0

Wind statistics NL Meetmast Ressen (totaal) (Regression MCP using MERRA2)

WASP version WASP 11 Version 11.02.0062



Scale 1:20.000
New WTG Site Data

Key results for height 100,0 m above ground level

Terrain Dutch Stereo-RD/NAP 2000

X (east)	Y (north)	Name of wind distribution	Type	Wind energy [kWh/m²]	Mean wind speed [m/s]	Equivalent roughness
A 193.574	441.968	Site data object for WASP (Meetmast, LT)	WASP (WASP 11 Version 11.02.0062)	2.362	6,4	2,1

Calculated Annual Energy for Wind Farm

WTG combination	Result PARK [MWh/y]	Result-10,8% [MWh/y]	GROSS (no loss) Free WTGs [MWh/y]	Park efficiency [%]	Specific results ^{a)}			Mean wind speed @hub height [m/s]
					Capacity factor [%]	Mean WTG result [MWh/y]	Full load hours [Hours/year]	
Wind farm	36.499,6	32.557,7	39.338,6	92,8	29,0	8.139,4	2.544	6,6

^{a)} Based on Result-10,8%

Calculated Annual Energy for each of 4 new WTGs with total 12,8 MW rated power

Links	WTG type			Power, rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Power curve Creator	Name	Annual Energy		Park Efficiency [%]	Free mean wind speed [m/s]
	Valid	Manufact.	Type-generator						Result [MWh]	Result-10,8% [MWh]		
1 A	Yes	Siemens	SWT-3.2-113 2A-3.200	3.200	113,0	115,0	EMD	Level 0 - Calculated - Std. 106dB - 01-2016	9.558,6	8.526	96,64	6,67
2 A	Yes	Siemens	SWT-3.2-113 2A-3.200	3.200	113,0	115,0	EMD	Level 0 - Calculated - Std. 106dB - 01-2016	8.900,8	7.939	90,58	6,65
3 A	Yes	Siemens	SWT-3.2-113 2A-3.200	3.200	113,0	115,0	EMD	Level 0 - Calculated - Std. 106dB - 01-2016	8.947,6	7.981	90,04	6,68
4 A	Yes	Siemens	SWT-3.2-113 2A-3.200	3.200	113,0	115,0	EMD	Level 0 - Calculated - Std. 106dB - 01-2016	9.092,6	8.111	93,90	6,60

WTG siting

Dutch Stereo-RD/NAP 2000

	X (east)	Y (north)	Z [m]	Row data/Description
1 New	193.181	441.547	11,7	Siemens SWT-3.2-113 2A 3200 113.0 !O! hub: 115,0 m (TOT: 171,5 m) (181)
2 New	193.474	441.794	10,0	Siemens SWT-3.2-113 2A 3200 113.0 !O! hub: 115,0 m (TOT: 171,5 m) (182)
3 New	193.698	442.084	14,4	Siemens SWT-3.2-113 2A 3200 113.0 !O! hub: 115,0 m (TOT: 171,5 m) (183)
4 New	193.839	442.540	12,3	Siemens SWT-3.2-113 2A 3200 113.0 !O! hub: 115,0 m (TOT: 171,5 m) (184)

Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
23-9-2016 01:51/3.1.579



PARK - Main Result

Calculation: PARK calculation (4xV117 3.3 MW + LT corr)
Wake Model N.O. Jensen (RISØ/EMD)

Calculation Settings
Air density calculation mode Individual per WTG
Result for WTG at hub altitude 1,231 kg/m³ to 1,232 kg/m³
Air density relative to standard 100,5 % to 100,5 %
Hub altitude above sea level (asl) 126,5 m to 130,6 m
Annual mean temperature at hub alt. 9,1 °C to 9,1 °C
Pressure at WTGs 997,4 hPa to 997,9 hPa

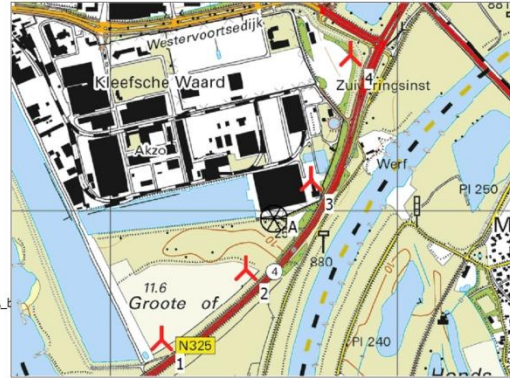
Wake Model Parameters
Terrain type Wake decay constant
HH:100m Closed farmland 0,072

Displacement heights from objects

Wake calculation settings
Angle [°] Wind speed [m/s]
start end step start end step
0,5 360,0 1,0 0,5 30,5 1,0

Wind statistics NL Meetmast Resen (totaal) (Regression MCP using MERRA-2)

WAsP version WAsP 11 Version 11.02.0062



Scale 1:20.000
New WTG Site Data

Key results for height 100,0 m above ground level

Terrain Dutch Stereo-RD/NAP 2000

X (east)	Y (north)	Name of wind distribution	Type	Wind energy [kWh/m²]	Mean wind speed [m/s]	Equivalent roughness
A 193.574	441.968	Site data object for WAsP (Meetmast, LT)	WAsP (WAsP 11 Version 11.02.0062)	2.362	6,4	2,1

Calculated Annual Energy for Wind Farm

WTG combination	Result PARK [MWh/y]	Result-10,6% [MWh/y]	GROSS (no loss) Free WTGs [MWh/y]	Park efficiency [%]	Specific results ^{a)}			Mean wind speed @hub height [m/s]
					Capacity factor [%]	Mean WTG result [MWh/y]	Full load hours [Hours/year]	
Wind farm	36.781,4	32.882,6	39.514,9	93,1	28,4	8.220,6	2.491	6,7

^{a)} Based on Result-10,6%

Calculated Annual Energy for each of 4 new WTGs with total 13,2 MW rated power

Links	WTG type			Power, rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Power curve Creator Name	Annual Energy		Park Efficiency [%]	Free mean wind speed [m/s]
	Valid	Manufact.	Type-generator					Result [MWh]	Result-10,6% [MWh]		
1 A	Yes	VESTAS	V117-3.3 GridStreame	3.300	117,0	116,5	EMD Level 0 - Estimated - Mode 0 - 01-2014	9.621,7	8.602	96,82	6,70
2 A	Yes	VESTAS	V117-3.3 GridStreame	3.300	117,0	116,5	EMD Level 0 - Estimated - Mode 0 - 01-2014	8.985,2	8.033	91,03	6,67
3 A	Yes	VESTAS	V117-3.3 GridStreame	3.300	117,0	116,5	EMD Level 0 - Estimated - Mode 0 - 01-2014	9.057,9	8.098	90,69	6,71
4 A	Yes	VESTAS	V117-3.3 GridStreame	3.300	117,0	116,5	EMD Level 0 - Estimated - Mode 0 - 01-2014	9.116,6	8.150	93,80	6,62

WTG siting

Dutch Stereo-RD/NAP 2000

	X (east)	Y (north)	Z [m]	Row data/Description
1 New	193.181	441.547	11,7	VESTAS V117-3.3 GridStreame 3300 117.0 IO! hub: 116,5 m (TOT: 175,0 m) (185)
2 New	193.474	441.794	10,0	VESTAS V117-3.3 GridStreame 3300 117.0 IO! hub: 116,5 m (TOT: 175,0 m) (186)
3 New	193.702	442.104	14,1	VESTAS V117-3.3 GridStreame 3300 117.0 IO! hub: 116,5 m (TOT: 175,0 m) (187)
4 New	193.839	442.540	12,3	VESTAS V117-3.3 GridStreame 3300 117.0 IO! hub: 116,5 m (TOT: 175,0 m) (188)

Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
23-9-2016 01:57/3.1.579



PARK - Main Result

Calculation: PARK calculation (4xSenvion114 3.4 MW + LT corr)

Wake Model N.O. Jensen (RISØ/EMD)

Calculation Settings
Air density calculation mode Individual per WTG
Result for WTG at hub altitude 1,231 kg/m³ to 1,231 kg/m³
Air density relative to standard 100,5 % to 100,5 %
Hub altitude above sea level (asl) 129,0 m to 133,1 m
Annual mean temperature at hub alt. 9,1 °C to 9,1 °C
Pressure at WTGs 997,1 hPa to 997,6 hPa

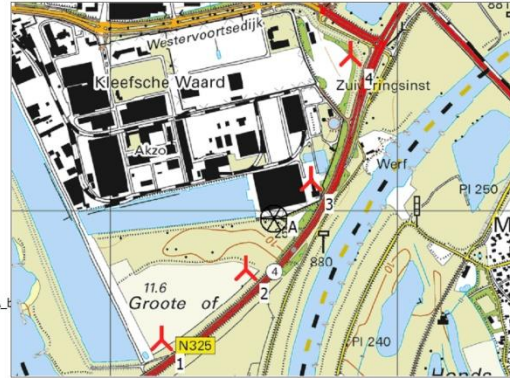
Wake Model Parameters
Terrain type Wake decay constant
HH:100m Closed farmland 0,072

Displacement heights from objects

Wake calculation settings
Angle [°] Wind speed [m/s]
start end step start end step
0,5 360,0 1,0 0,5 30,5 1,0

Wind statistics NL Meetmast Resen (totaal) (Regression MCP using MERRA2)

WASP version WASP 11 Version 11.02.0062



Scale 1:20.000
New WTG Site Data

Key results for height 100,0 m above ground level

Terrain Dutch Stereo-RD/NAP 2000

X (east)	Y (north)	Name of wind distribution	Type	Wind energy [kWh/m²]	Mean wind speed [m/s]	Equivalent roughness
A 193.574	441.968	Site data object for WASP (Meetmast, LT)	WASP (WASP 11 Version 11.02.0062)	2.362	6,4	2,1

Calculated Annual Energy for Wind Farm

WTG combination	Result PARK [MWh/y]	Result-10,6% [MWh/y]	GROSS (no loss) Free WTGs [MWh/y]	Park efficiency [%]	Specific results			Mean wind speed @hub height [m/s]
					Capacity factor [%]	Mean WTG result [MWh/y]	Full load hours [Hours/year]	
Wind farm	37.812,2	33.804,1	40.386,6	93,6	28,4	8.451,0	2.486	6,7

*) Based on Result-10,6%

Calculated Annual Energy for each of 4 new WTGs with total 13,6 MW rated power

Links	WTG type			Power, rated [kW]	Rotor diameter [m]	Hub height [m]	Power curve		Annual Energy			
	Valid	Manufact.	Type-generator				Creator	Name	Result [MWh]	Result-10,6% [MWh]	Park Efficiency [%]	Free mean wind speed [m/s]
1 A	Yes	SENVION	3.4M114-3.400	3.400	114,0	119,0	EMD	Level 0 - Calculated - Before trafo - open mode - 09-2014	9.853,9	8.809	96,99	6,75
2 A	Yes	SENVION	3.4M114-3.400	3.400	114,0	119,0	EMD	Level 0 - Calculated - Before trafo - open mode - 09-2014	9.260,7	8.279	91,74	6,72
3 A	Yes	SENVION	3.4M114-3.400	3.400	114,0	119,0	EMD	Level 0 - Calculated - Before trafo - open mode - 09-2014	9.326,5	8.338	91,43	6,76
4 A	Yes	SENVION	3.4M114-3.400	3.400	114,0	119,0	EMD	Level 0 - Calculated - Before trafo - open mode - 09-2014	9.371,1	8.378	94,35	6,67

WTG siting

Dutch Stereo-RD/NAP 2000

X (east)	Y (north)	Z [m]	Row data/Description
1 New	193.181	441.547	11,7 SENVION 3.4M114 3400 114.0 !O! hub: 119,0 m (TOT: 176,0 m) (189)
2 New	193.474	441.794	10,0 SENVION 3.4M114 3400 114.0 !O! hub: 119,0 m (TOT: 176,0 m) (190)
3 New	193.702	442.104	14,1 SENVION 3.4M114 3400 114.0 !O! hub: 119,0 m (TOT: 176,0 m) (191)
4 New	193.839	442.540	12,3 SENVION 3.4M114 3400 114.0 !O! hub: 119,0 m (TOT: 176,0 m) (192)

Bijlage C: WindPRO berekeningen slagschaduw

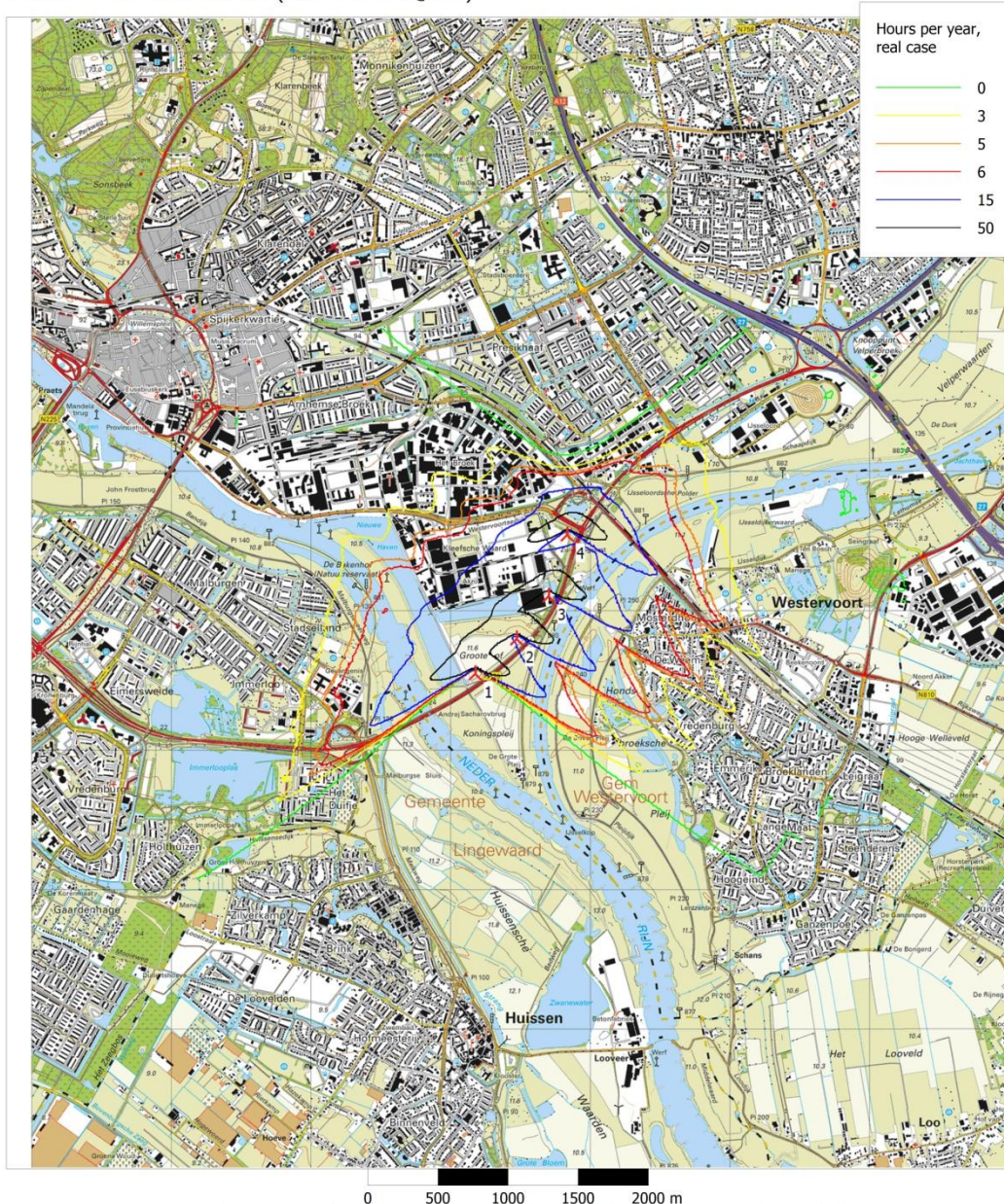
Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
20-9-2016 23:29/3.1.579



SHADOW - Map

Calculation: Shadow calculation (4xL100 2.5 MW@99m)



New WTG

Map: Kaart Kadaster , Print scale 1:40.000, Map center Dutch Stereo-RD/NAP 2000 East: 193.260 North: 442.020

Flicker map level: Elevation Grid Data Object: WP Kleefse Waard , Arnhem_EMDGrid_0.wpg (1)

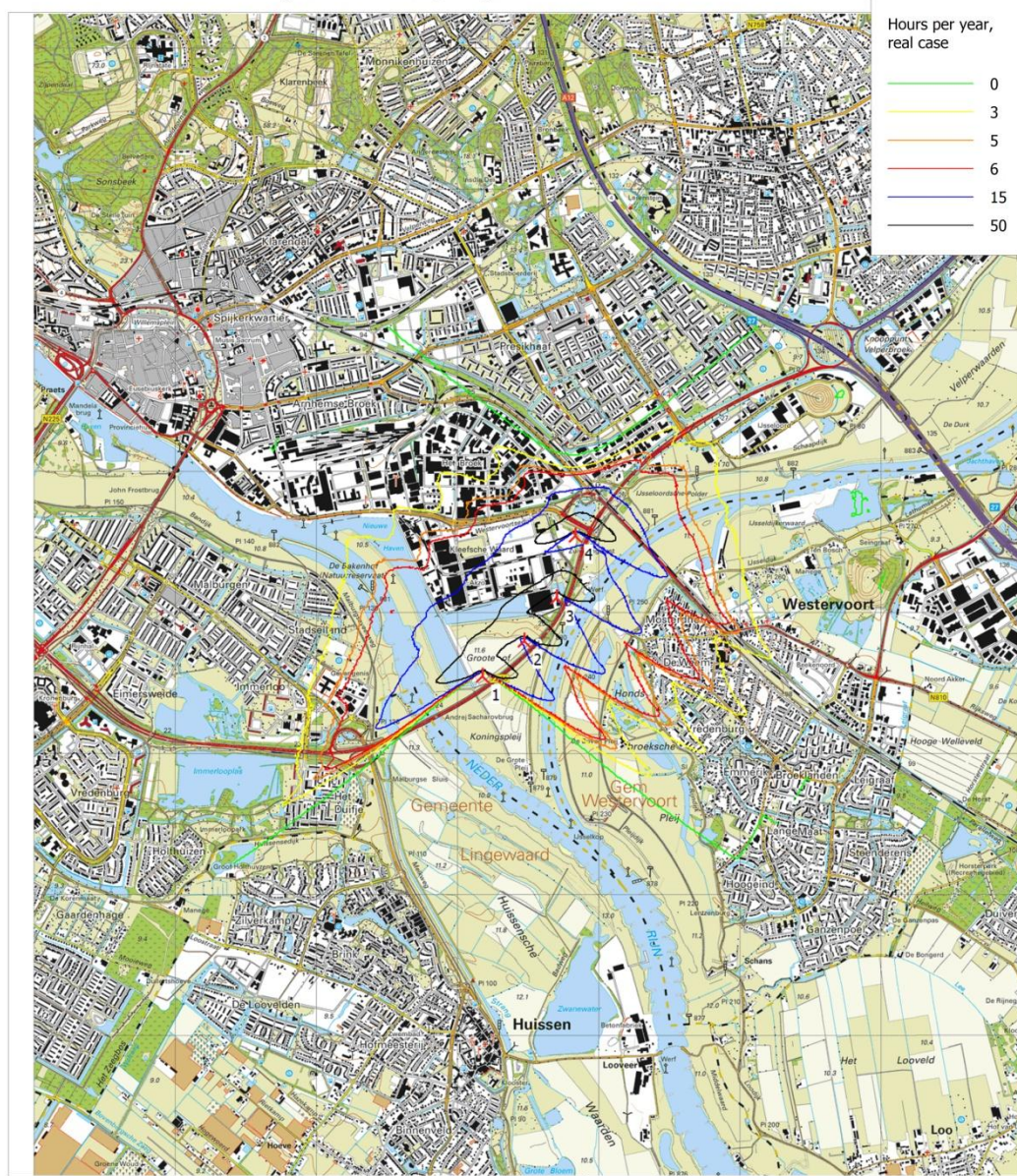
Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
21-9-2016 00:27/3.1.579



SHADOW - Map

Calculation: Shadow calculation (4xE101 3.05 MW@99m)B



Map: Kaart Kadaster , Print scale 1:40.000, Map center Dutch Stereo-RD/NAP 2000 East: 193.260 North: 442.020

New WTG

Flicker map level: Elevation Grid Data Object: WP Kleefse Waard , Arnhem_EMDGrid_0.wpg (1)

windPRO 3.1.579 by EMD International A/S, Tel. +45 96 35 44 44, www.emd.dk, windpro@emd.dk

23-9-2016 03:22 / 1



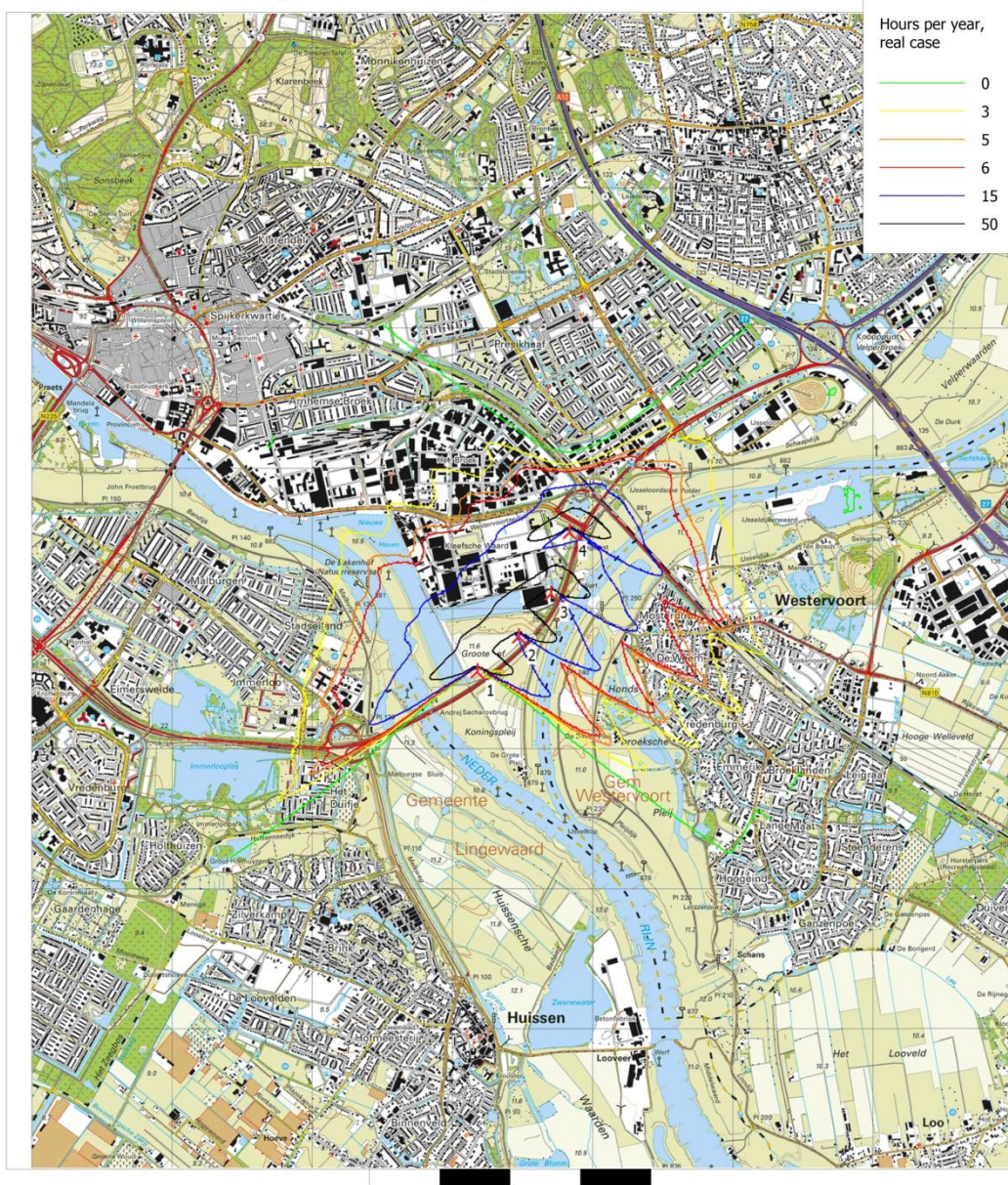
Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
23-9-2016 03:05/3.1.579



SHADOW - Map

Calculation: Shadow calculation (4xE103 2.35 MW@98m)B



Map: Kaart Kadaster , Print scale 1:40.000, Map center Dutch Stereo-RD/NAP 2000 East: 193.260 North: 442.020

New WTG

Flicker map level: Elevation Grid Data Object: WP Kleefse Waard , Arnhem_EMDGrid_0.wpg (1)

windPRO 3.1.579 by EMD International A/S, Tel. +45 96 35 44 44, www.emd.dk, windpro@emd.dk

23-9-2016 10:32 / 1



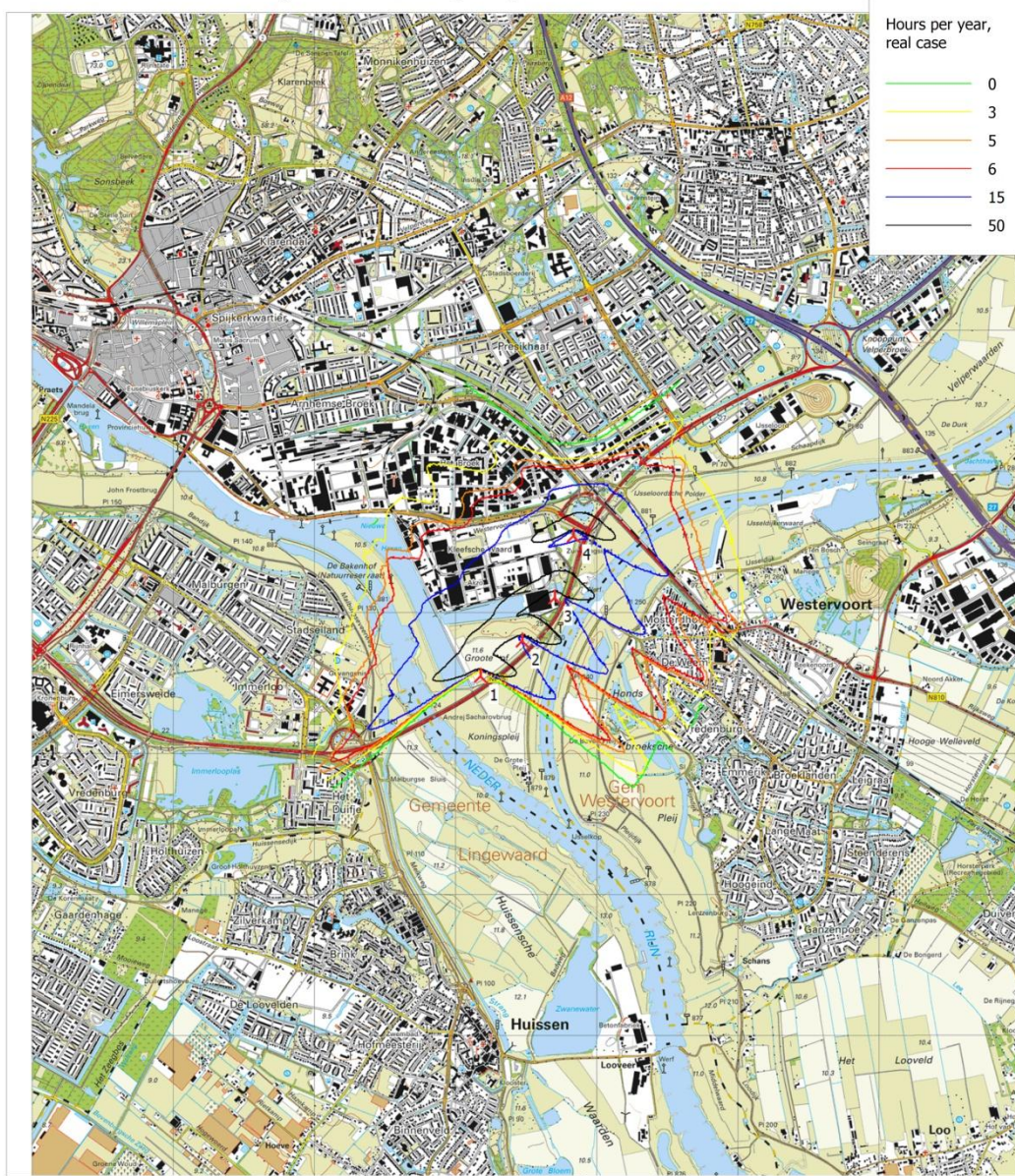
Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
21-9-2016 00:40/3.1.579



SHADOW - Map

Calculation: Shadow calculation (4xSWT108 3.0 MW@115m)B



Map: Kaart Kadaster , Print scale 1:40.000, Map center Dutch Stereo-RD/NAP 2000 East: 193.260 North: 442.020

New WTG

Flicker map level: Elevation Grid Data Object: WP Kleefse Waard , Arnhem_EMDGrid_0.wpg (1)

windPRO 3.1.579 by EMD International A/S, Tel. +45 96 35 44 44, www.emd.dk, windpro@emd.dk

23-9-2016 09:55 / 1



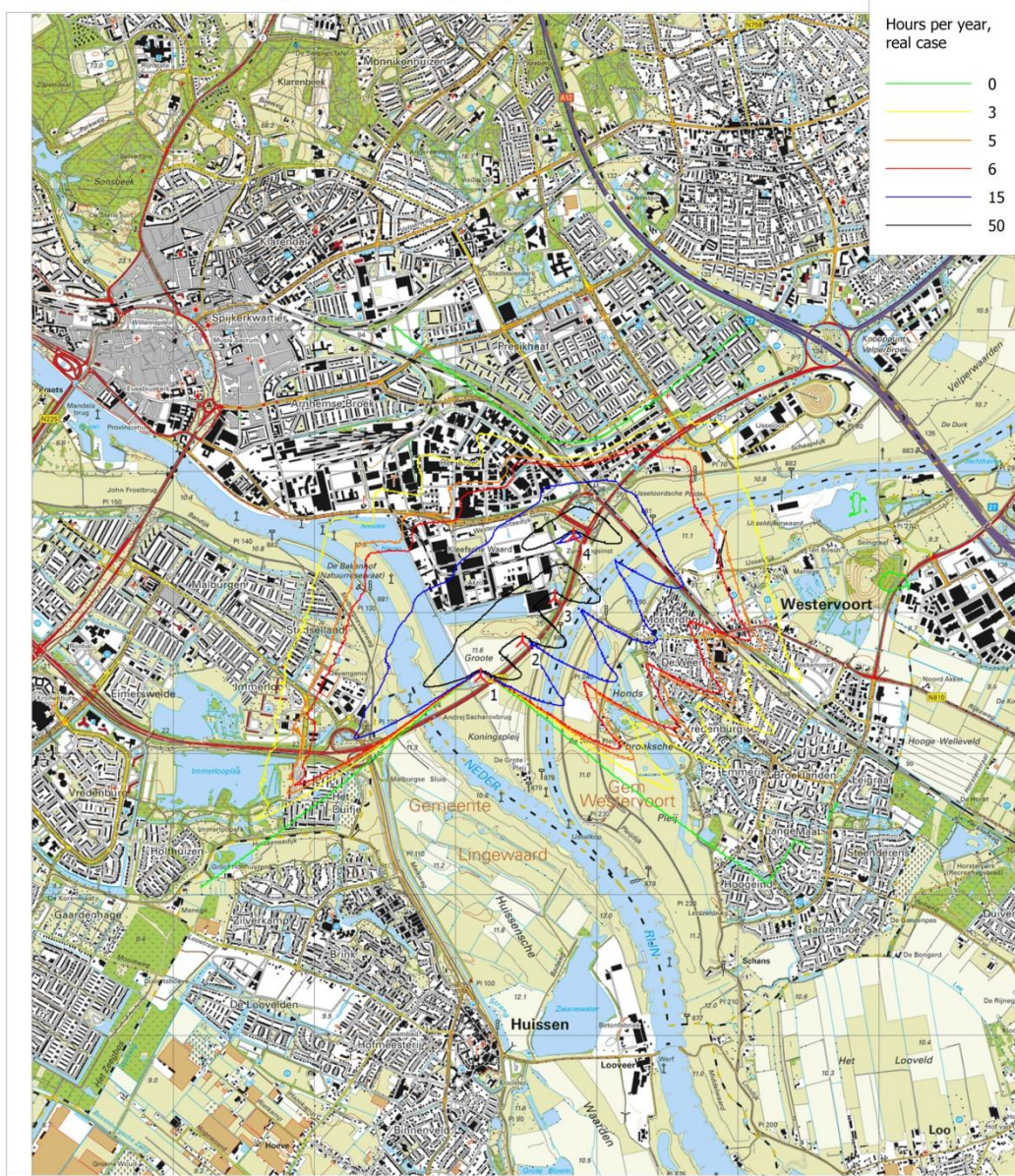
Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
21-9-2016 01:05/3.1.579



SHADOW - Map

Calculation: Shadow calculation (4xGE120 2.75 MW@110m)B



Map: Kaart Kadaster , Print scale 1:40.000, Map center Dutch Stereo-RD/NAP 2000 East: 193.260 North: 442.020

New WTG

Flicker map level: Elevation Grid Data Object: WP Kleefse Waard , Arnhem_EMDGrid_0.wpg (1)

windPRO 3.1.579 by EMD International A/S, Tel. +45 96 35 44 44, www.emd.dk, windpro@emd.dk

23-9-2016 09:57 / 1



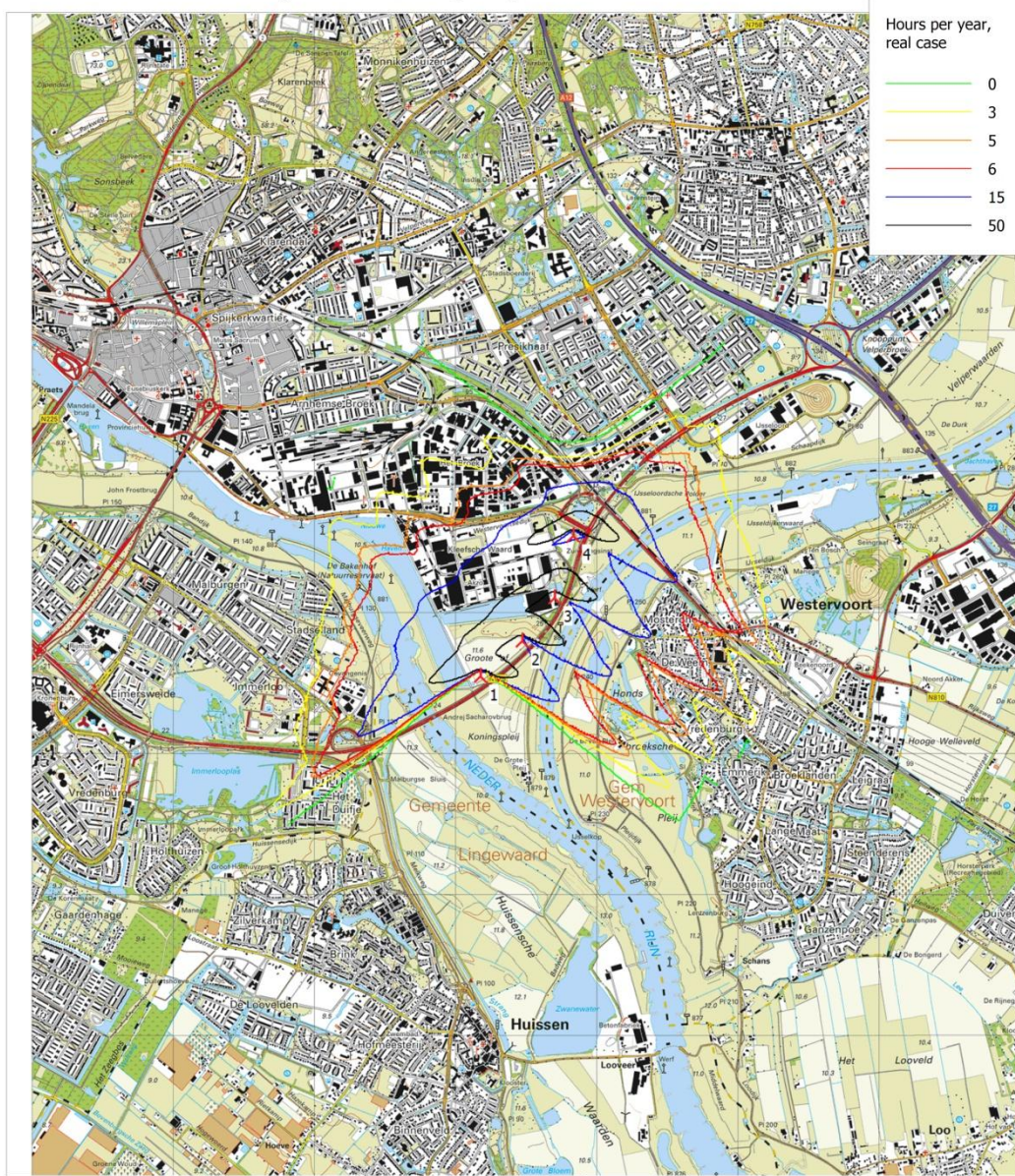
Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
21-9-2016 01:22/3.1.579



SHADOW - Map

Calculation: Shadow calculation (4xSWT113 3.0 MW@115m)B



Map: Kaart Kadaster , Print scale 1:40.000, Map center Dutch Stereo-RD/NAP 2000 East: 193.260 North: 442.020

New WTG

Flicker map level: Elevation Grid Data Object: WP Kleefse Waard , Arnhem_EMDGrid_0.wpg (1)

windPRO 3.1.579 by EMD International A/S, Tel. +45 96 35 44 44, www.emd.dk, windpro@emd.dk

23-9-2016 09:59 / 1



Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
21-9-2016 01:40/3.1.579



SHADOW - Map

Calculation: Shadow calculation (4xSWT113 3.2 MW@115m)B



Map: Kaart Kadaster , Print scale 1:40.000, Map center Dutch Stereo-RD/NAP 2000 East: 193.260 North: 442.020

New WTG

Flicker map level: Elevation Grid Data Object: WP Kleefse Waard , Arnhem_EMDGrid_0.wpg (1)

windPRO 3.1.579 by EMD International A/S, Tel. +45 96 35 44 44, www.emd.dk, windpro@emd.dk

23-9-2016 10:23 / 1



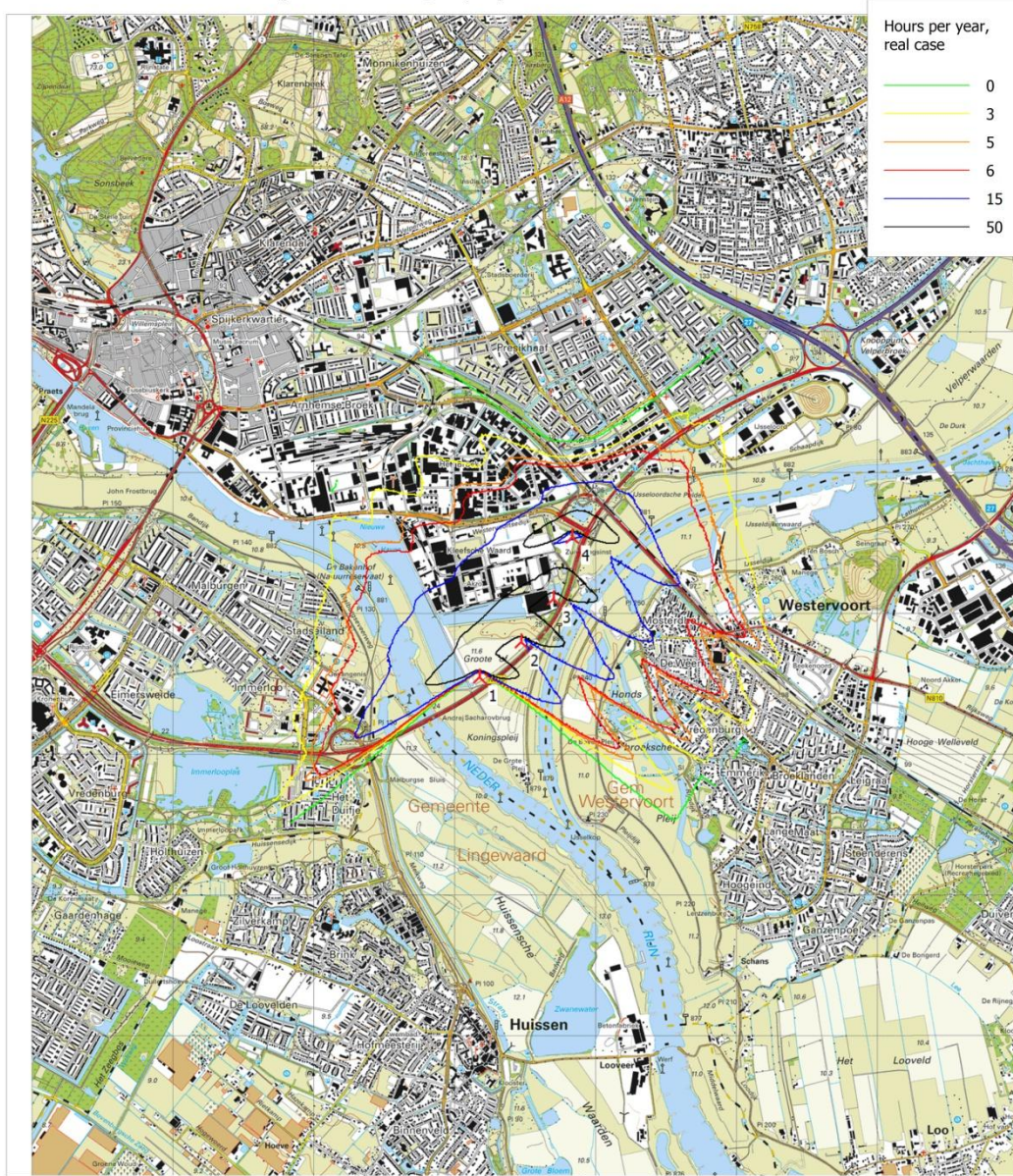
Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
21-9-2016 01:54/3.1.579



SHADOW - Map

Calculation: Shadow calculation (4xV117 3.3 MW@116,5m)B



Map: Kaart Kadaster , Print scale 1:40.000, Map center Dutch Stereo-RD/NAP 2000 East: 193.260 North: 442.020

New WTG

Flicker map level: Elevation Grid Data Object: WP Kleefse Waard , Arnhem_EMDGrid_0.wpg (1)

windPRO 3.1.579 by EMD International A/S, Tel. +45 96 35 44 44, www.emd.dk, windpro@emd.dk

23-9-2016 10:25 / 1



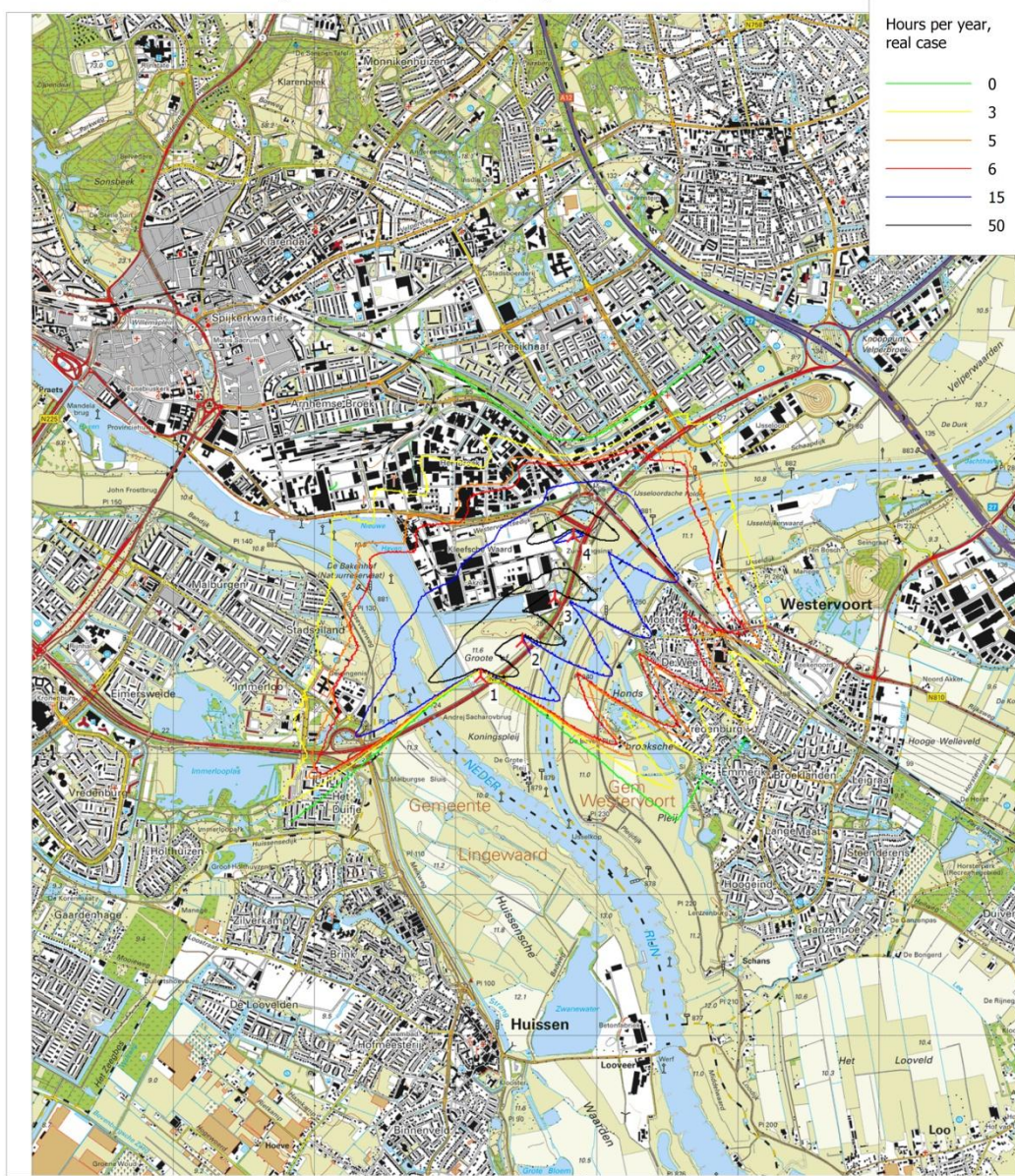
Project:
WP Koningspleij , Arnhem

Licensed user:
Solidwinds
A: Houtlaan 113
NL-6525 ZC Nijmegen
+31 (0)6 832 17 832
Dominique Deen / dominique.deen@solidwinds.com
Calculated:
23-9-2016 02:40/3.1.579



SHADOW - Map

Calculation: Shadow calculation (4xSenvion 114 3.4 MW@119m)B



Map: Kaart Kadaster , Print scale 1:40.000, Map center Dutch Stereo-RD/NAP 2000 East: 193.260 North: 442.020

New WTG

Flicker map level: Elevation Grid Data Object: WP Kleefse Waard , Arnhem_EMDGrid_0.wpg (1)

windPRO 3.1.579 by EMD International A/S, Tel. +45 96 35 44 44, www.emd.dk, windpro@emd.dk

23-9-2016 10:26 / 1





> Solid Wind Modelling & Engineering