

Brede weerverzekering: natschade en droogteschade

mei 2009

FutureWater Rapport 83

Opdrachtgever
ZLTO

Auteurs

Peter Droogers
Hanneke Schuurmans

FutureWater
Costerweg 1G
6702 AA Wageningen
The Netherlands

+31 (0)317 460050

info@futurewater.nl

www.futurewater.nl



Samenvatting voor beleidsmakers

De Projectgroep Brede Weerverzekering formuleert het raamwerk voor een brede weerverzekering. Deze verzekering dekt schade die het gevolg is van de volgende weergerelateerde risico's: droogte, neerslag, hagel, brand, storm, sneeuwdruk, ijzel, vorst en erosie. Binnen de brede weerverzekering zullen de risico's 'droogte' en 'neerslag' worden afgedekt door een schadeverzekering met vaste uitkering (SVU) en de andere genoemde risico's door een schadeverzekering (SV).

De hoofddoelstelling van deze studie luidt als volgt:

Bepalen bij welke hoeveelheid neerslag en neerslagtekort minimaal 30% opbrengstvermindering optreedt voor twaalf landbougewassen op zeven grondsoorten in Nederland.

Bij deze studie is gekozen voor het hydrologische model SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant), dat is ontwikkeld door Wageningen Universiteit en Alterra-Groene Ruimte. Dit model simuleert het transport van water in de onverzadigde zone (boven grondwaterniveau) en verzadigde zone (onder grondwaterniveau) en de hieruit volgende schade aan gewassen. Voor deze studie is voor elke gewas-bodem combinatie een SWAP model opgezet. Belangrijke invoergegevens voor het SWAP model zijn de bodem- en gewaseigenschappen en de dagelijkse neerslag en referentie verdamping.

De hydrologische voorgeschiedenis speelt een belangrijke rol bij het bepalen van de uiteindelijke grenswaarden (in millimeters neerslag of neerslagtekort) waarop 30% schade optreedt. Daarom is uitgegaan van een periode van 37 jaar (1971-2007) om zodoende de natuurlijke variatie in dagelijkse neerslag en verdamping in Nederland te omvatten. Hierbij is gebruik gemaakt van de meteorologische gegevens van het KNMI hoofdstation in De Bilt. Voor de natschade is per gewas bepaald wat jaarlijks de hoogste neerslagwaarde was gedurende 24, 48 en 96 uur (oftewel 1, 2 en 4-daagse sommen) binnen de teeltperiode. Vervolgens zijn deze originele 1, 2 en 4-daagse sommen vervangen door een neerslaghoeveelheid in de range 20-130 mm, in stappen van 10 mm. Bij meerdaagse sommen is deze neerslaghoeveelheid dusdanig over de dagen verdeeld dat de verhouding tussen de buien, zoals deze oorspronkelijk was, behouden blijft. Voor het bepalen van de grenswaarden voor droogteschade is in deze studie gekeken naar het neerslagtekort binnen het klassieke zomerhalfjaar (april – september). Bij de droogteschade is de 37-jarige (1971-2007) reeks van dagelijkse neerslag van De Bilt gedurende het zomerhalfjaar geschaald naar waarden zodanig dat het totale neerslagtekort gedurende het gehele zomerhalfjaar in de range 50 - 500 mm lag, met stappen van 50 mm. Hierbij is de verhouding van de buien, zoals deze oorspronkelijk was, behouden gebleven.

De grenswaarden voor natschade voor alle gewas-bodem combinaties voor respectievelijk de 1-daagse, 2-daagse en 4-daagse neerslagsommen zijn weergegeven in Tabel 7, Tabel 8 en Tabel 9. De bijbehorende herhalingstijden zijn weergegeven in Tabel 10, Tabel 11 en Tabel 12.

De grenswaarden voor de droogteschade voor alle gewas-bodemcombinaties zijn weergegeven in Figuur 13. Tabel 14 geeft de bijbehorende herhalingstijden.

Schade treedt vaak op door specifieke lokale omstandigheden (bijvoorbeeld onvoldoende afwateringsmogelijkheden of storende lagen in bodems). In de analyses, zoals gepresenteerd in dit rapport, is uitgegaan van gemiddelde omstandigheden. Het is daarom mogelijk dat er perceel-specifieke omstandigheden zijn waar meer of minder schade optreedt dan voorzien.





Inhoud

Inhoud	5
1 Inleiding	9
2 Methodiek	11
2.1 Doelstelling	11
2.2 Bepaling grenswaarden	11
2.2.1 Algemeen	11
2.2.2 Natschade	12
2.2.3 Droogteschade	12
2.3 Randvoorwaarden	13
2.3.1 Gewassen	13
2.3.2 Bodemsoorten	13
3 SWAP model	17
3.1 Achtergrond	17
3.2 SWAP details	19
3.2.1 Onderrandvoorraarde	19
3.2.2 Drainage	19
3.3 Bodemeigenschappen	20
3.4 Gewassen	21
3.5 Natschade	21
3.6 Droogteschade	23
4 Statistieken extreme neerslag en droogte	25
4.1 Inleiding	25
4.2 Extreme neerslag	25
4.2.1 Methode	25
4.2.2 Overschrijdingskansen De Bilt	26
4.2.3 Regionale spreiding extreme neerslag	26
4.2.4 Klimaatverandering	29
4.3 Extreme droogte	29
4.3.1 Literatuurgegevens	29
4.3.2 Methode	30
4.3.3 Regionale spreiding neerslagtekort	32
4.3.4 Klimaatverandering	32
5 Resultaten	33
5.1 Natschade	33



5.2	Droogteschade	38
6	Conclusies	41
7	Referenties	43



Tabellen

Tabel 1. De 12 gewassen met bijbehorende teeltperiode welke zijn meegenomen in deze studie.....	13
Tabel 2. De drainage gegevens van de 7 bodems zoals gebruikt in de SWAP modellen.....	20
Tabel 3. Beschrijving bodemfysische eigenschappen voor de zeven grondsoorten zoals aangegeven in Figuur 3.....	20
Tabel 4. Overschrijdingskansen van extreme neerslag voor verschillende duren (Buishand et al. 2009).	27
Tabel 5. De schalingsparameter per neerslag regime (zie Figuur 8).	27
Tabel 6. Overschrijdingskansen van neerslagtekorten gedurende het zomerhalfjaar (april – september) die gemiddeld eens in de 2 tot 200 jaar voorkomen. Data gebaseerd op gegevens De Bilt (1958-2008).	32
Tabel 7. Neerslagintensiteiten (in mm) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt (1-daagse sommen).	36
Tabel 8. Neerslagintensiteiten (in mm) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt (2-daagse sommen).	36
Tabel 9. Neerslagintensiteiten (in mm) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt (4-daagse sommen).	37
Tabel 10. Herhalingstijden (in jaren) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt (1-daagse sommen). Hierbij is een maximum herhalingstijd van 1000 jaren gehanteerd.	37
Tabel 11. Herhalingstijden (in jaren) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt (2-daagse sommen). Hierbij is een maximum herhalingstijd van 1000 jaren gehanteerd.	37
Tabel 12. Herhalingstijden (in jaren) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt (4-daagse sommen). Hierbij is een maximum herhalingstijd van 1000 jaren gehanteerd.	38
Tabel 13. Neerslagtekorten (in mm) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt. .	40
Tabel 14. Kansen (in jaren) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt. Hierbij is een maximum herhalingstijd van 1000 jaren gehanteerd.	40

Figuren

Figuur 1. Bodemkaart van Nederland met 7 bodemsoorten en uitgangspunt voor deze studie.	14
Figuur 2: De 1:50.000 bodemkaart van Nederland (© Alterra Wageningen).....	14
Figuur 3: Bodemkaart van Nederland met de 7 bodems zoals gebruikt in deze studie.....	15
Figuur 4. Schematische weergave van het model SWAP (Kroes en Van Dam, 2003).	17
Figuur 5. Voorbeeld van waterretentie curven van zand (sand), leem (loam), klei (clay) en veen (peat).	18
Figuur 6. Feddes gewasgroei reductiefunctie als functie van bodemvochtgehalte (Feddes et al., 1978)	22



Figuur 7. Herhalingstijden van maximale dagelijkse neerslaghoeveelheden. De ronde stippen tonen de gemeten jaarmaxima, de doorgetrokken lijn de beste schatting en de stippellijnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval. Grafiek is gebaseerd op maxima van station De Bilt voor de periode 1906-2008.	26
Figuur 8. Indeling van Nederland in 4 categorien (L, G, H en H+) zoals voorgesteld door het KNMI voor extreme neerslagstatistiek (Buishand et al. 2009).	28
Figuur 9. Raderbeeld van een convectieve bui op 1 mei 2004.	29
Figuur 10: histogram van het neerslagtekort gedurende het zomerhalfjaar (april – September) van station De Bilt voor de 51-jarige periode 1958-2008.	30
Figuur 11. Kans op overschrijding van neerslagtekort in zomerhalfjaar (april – september) gebaseerd op 51 jaar gegevens van station De Bilt	31
Figuur 12. Te verwachten opbrengstvermindering voor consumptie aardappelen op zware zavel voor 12 neerslagintensiteiten.	34
Figuur 13. Te verwachten droogteschade voor consumptie aardappelen op zand voor 10 neerslagtekorten.....	39



1 Inleiding

De Projectgroep Brede Weerverzekering formuleert het raamwerk voor een brede weerverzekering. Deze verzekering dekt schade die het gevolg is van de volgende weergerelateerde risico's: droogte, neerslag, hagel, brand, storm, sneeuwdruk, ijzel, vorst en erosie. Binnen de brede weerverzekering zullen de risico's 'droogte' en 'neerslag' worden afgedekt door een schadeverzekering met vaste uitkering (SVU) en de andere genoemde risico's door een schadeverzekering (SV).

Voor de onderdelen natschade en droogteschade ontbreken echter lange en betrouwbare historische gegevens, zodat het bepalen van risico's moeilijk is. Aangezien deze risico's zullen worden afgedekt door een SVU, zijn vooraf schattingen van mogelijke schade uiterst belangrijk. De SVU komt namelijk tot uitkering als een vooraf vastgestelde grenswaarde van xx mm neerslag of als een neerslagtekort van yy mm voor droogte binnen een vooraf vastgestelde periode is bereikt of overschreden.

De Projectgroep Brede Weerverzekering heeft FutureWater gevraagd te bepalen waar deze grenswaarden liggen. Uitgangspunt is dat bij deze grenswaarden 30% of meer opbrengstvermindering optreedt. Onder opbrengstvermindering wordt verstaan de opbrengstderving die optreedt als gevolg van natschade en/of droogteschade ten opzichte van de maximaal haalbare productie in dat jaar. Dit is een percentuele waarde en kan worden vertaald naar opbrengst in kg/ha door uit te gaan van de gemiddelde productie van de afgelopen drie jaren.

Er zijn specifieke grenswaarden voor 12 gewassen en voor 7 grondsoorten vastgesteld voor zowel neerslag als neerslagtekort, waarbij voor de natschade de 1-, 2- en 4-daagse sommen zijn beschouwd. In totaal zijn dus 252 grenswaarden voor natschade en 84 grenswaarden voor droogteschade bepaald. Gebruik makend van historische meteorologische gegevens van dagelijkse neerslag en verdamping van het KNMI is ook bepaald wat de terugkeertijd van deze grenswaarden zal zijn. Om tot de in dit rapport gepresenteerde grenswaarden te komen zijn in totaal 111.888 jaren doorgerekend voor de natschade (12 gewassen, 7 bodems, 12 neerslagintensiteiten, 37 jaren, 3 neerslag daagse-overschrijding) en 31.080 jaren voor de droogteschade (12 gewassen, 7 bodems, 10 neerslagtekorten, 37 jaren).

In hoofdstuk 2 wordt de methodiek van deze studie beschreven. Allereerst is de doelstelling gedefinieerd en zijn de randvoorwaarden beschreven. In hoofdstuk 3 wordt het gebruikte hydrologische model SWAP toegelicht. Hoofdstuk 4 gaat in op de te verwachten terugkeertijden van extreme neerslag en droogte. De bepaalde grenswaarden in millimeters voor de nat- en droogteschade alsmede de bijbehorende verwachte terugkeertijden worden gegeven in hoofdstuk 5.





2 Methodiek

2.1 Doelstelling

De hoofddoelstelling van deze studie luidt als volgt:

Bepalen bij welke hoeveelheid neerslag en neerslagtekort minimaal 30% opbrengstvermindering optreedt voor twaalf landbouwgewassen op zeven grondsoorten in Nederland.

2.2 Bepaling grenswaarden

2.2.1 *Algemeen*

Natschade en droogteschade aan gewassen zijn gerelateerd aan de meteorologische omstandigheden (neerslag en verdamping) maar zijn niet rechtstreeks van deze gegevens af te leiden. De hydrologische omstandigheden, oftewel de hoeveelheid water die beschikbaar is voor de planten en de grondwaterstand, zijn hierbij de bepalende factor. Bij welke neerslag werkelijk natschade optreedt is afhankelijk van het gewas, de bodem en ook de hydrologische voorgeschiedenis. Hetzelfde geldt voor droogteschade. Het is daarom nodig om gebruik te maken van een hydrologisch model welke voor verschillende gewas-bodemcombinaties uit kan rekenen onder welke meteorologische omstandigheden nat- of droogteschade optreedt.

Bij deze studie is gekozen voor het hydrologische model SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant), dat is ontwikkeld door Wageningen Universiteit en Alterra-Groene Ruimte. Dit model simuleert het transport van water in de onverzadigde (boven grondniveau) en verzadigde zone (onder grondniveau) en de hieruit volgende schade aan gewassen. In hoofdstuk 3 wordt in detail op dit model ingegaan en wordt nader beschreven hoe de nat- en droogteschade in het model wordt bepaald. Voor deze studie is voor elke gewas-bodem combinatie een SWAP model opgezet. Belangrijke invoergegevens voor het SWAP model zijn de dagelijkse neerslag en verdamping. Omdat de hydrologische voorgeschiedenis een belangrijke rol speelt bij het bepalen van de uiteindelijke grenswaarden is uitgegaan van een periode van 37 jaar (1971-2007) om zodoende de natuurlijke variatie van het weer in Nederland te omvatten. Hierbij is gebruik gemaakt van de meteorologische gegevens van het KNMI hoofdstation in De Bilt.

Uitgangspunt is dat bij deze grenswaarden 30% of meer opbrengstvermindering optreedt. De opbrengstvermindering is per jaar bepaald voor elke gewas bodemcombinatie. Hierbij is gebruik gemaakt van het model SWAP. In dit model wordt de opbrengst berekend aan de hand van gewassenmerken (worteldiepte, teeltperiode), bodemkenmerken (vochtvasthouderd vermogen, infiltratiecapaciteit) en de heersende meteorologische omstandigheden (neerslag, verdamping). Het model berekent wat per jaar de maximaal haalbare productie is indien er geen schade optreedt door hetzij te droge omstandigheden (droogteschade: planten kunnen geen water meer uit de bodem onttrekken), hetzij te natte omstandigheden (natschade: plantenwortels kunnen geen zuurstof meer opnemen en verstikt of verminderde bewerkbaarheid). Deze maximale productie is per jaar verschillend omdat de meteorologische omstandigheden verschillen. Het model berekent ook wat de jaarlijkse opbrengstderving is indien wél rekening wordt gehouden met droogteschade en natschade. Dit is een percentuele waarde die dus per jaar berekend wordt en in deze studie gebruikt is voor de bepaling van de uiteindelijke grenswaarden per bodem-gewascombinatie. Deze percentuele waarde kan worden vertaald



naar opbrengst in kg/ha door uit te gaan van de gemiddelde productie van de afgelopen drie jaren (of indien gewenst een andere referentie periode). Deze cijfers kunnen bijvoorbeeld worden gehaald uit KWIN (KWantitatieve INformatie voor veehouderij, akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt, Wageningen Universiteit).

2.2.2 Natschade

Uitgangspunt voor het bepalen van de grenswaarden voor natschade zijn de meteorologische invoergegevens van De Bilt voor de periode 1971-2007. Per gewas is uitgezocht wat jaarlijks de hoogste waarde neerslag was gedurende 24, 48 en 96 uur (oftewel 1, 2 en 4-daagse sommen) binnen de teeltperiode. Vervolgens zijn deze originele 1, 2 en 4-daagse sommen vervangen door een neerslaghoeveelheid in de range 20-130 mm, in stappen van 10 mm. Bij meerdaagse sommen is deze neerslaghoeveelheid dusdanig over de dagen verdeeld dat de verhouding tussen de buien zoals deze oorspronkelijk was behouden blijft.

Per neerslaghoeveelheid uit de range 20 - 130 mm is voor elke gewas-bodemcombinatie bepaald wat per jaar de opgetreden natschade is. Uitgaande van het huidige klimaat geeft de reeks van 37 jaar aan wat de kans in de nabije toekomst is op schade bij een bepaalde bui. Aangezien deze 37 jaar representatief is voor de variatie in hydrologische voorgeschiedenis is de kans op het optreden van één van deze 37 jaren in de toekomst even groot. Er kan daarom gesteld worden dat indien in ten minste 18.5 van de 37 jaren (oftewel 50%) tenminste 30% opbrengstvermindering optreedt dit de grenswaarde aangeeft.

In hoofdstuk 5 wordt nader ingegaan op een voorbeeld van de hierboven beschreven methode. In hoofdstuk 5 zijn ook de grenswaarden voor natschade voor alle gewas-bodemcombinaties gegeven voor de 1, 2 en 4-daagse sommen.

2.2.3 Droogteschade

Uitgangspunt voor het bepalen van de grenswaarden voor droogteschade zijn de meteorologische gegevens van De Bilt voor de periode 1971-2007. Over het jaar bekeken heeft Nederland te maken met een neerslagoverschot (meer neerslag dan verdamping). Echter in de zomer kan er wel degelijk een neerslagtekort zijn met als gevolg droogteschade. Voor het bepalen van de grenswaarden voor droogteschade is in deze studie daarom gekeken naar het neerslagtekort binnen het zomerhalfjaar (april – september). Bij de droogteschade is de 37-jarige (1971-2007) reeks van neerslag en verdamping van De Bilt gedurende het zomerhalfjaar geschaald naar waarden van neerslagtekort in de range 50 - 500 mm, in stappen van 50 mm. Hierbij is de verhouding van de buien zoals deze oorspronkelijk waren behouden gebleven.

Per neerslagtekort uit de range 50 - 500 mm is voor elke gewas-bodemcombinatie bepaald wat per jaar de opgetreden droogteschade is. Uitgaande van het huidige klimaat geeft de reeks van 37 jaar aan wat de kans in de nabije toekomst is op droogteschade bij een bepaald neerslagtekort. Aangezien deze 37 jaar representatief is voor de variatie in hydrologische voorgeschiedenis is de kans op het optreden van één van deze 37 jaren in de toekomst even groot. Er kan daarom gesteld worden dat indien in ten minste 18.5 van de 37 jaren (oftewel 50%) tenminste 30% opbrengstvermindering optreedt dit de grenswaarde aangeeft.

In hoofdstuk 5 wordt nader ingegaan op een voorbeeld van de hierboven beschreven methode. In hoofdstuk 5 zijn ook de grenswaarden voor droogteschade voor alle gewas-bodem combinaties gegeven.



2.3 Randvoorwaarden

2.3.1 Gewassen

In overleg met de Projectgroep Brede Weerverzekering zijn de 12 gewassen zoals aangegeven in Tabel 1 meegenomen in de analyse. Per gewas is aangegeven wat de bijbehorende teeltperiode is.

Tabel 1. De 12 gewassen met bijbehorende teeltperiode welke zijn meegenomen in deze studie.

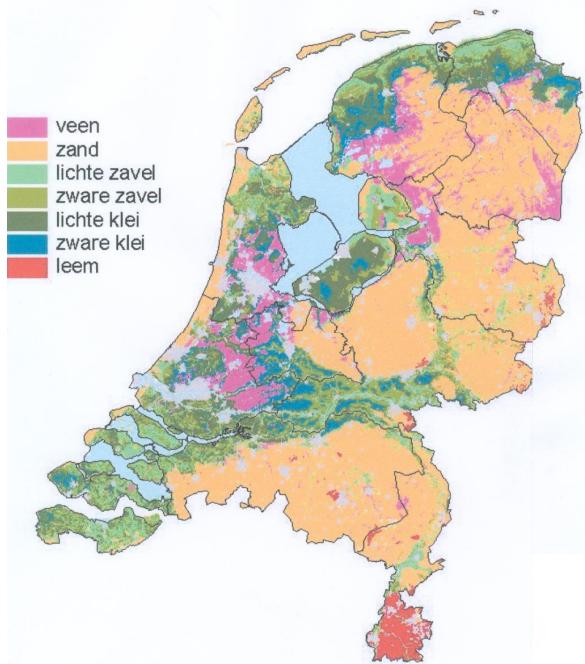
gewas	teeltperiode
Zomergranen	15 maart - 15 september
Wintergranen	1 oktober - 15 september
Consumptie aardappelen	1 april - 31 oktober
Pootaardappelen	1 april - 30 september
Zetmeeaardappelen	1 april - 31 oktober
Suikerbieten	15 maart - 15 december
Winterpeen	15 april - 31 oktober
Zaaieuwen	1 april - 30 september
Snijmais	15 april - 15 oktober
Graszaden	1 september - 31 augustus
Peulvruchten	15 maart - 1 oktober
Fruitbomen	1 januari - 31 december

2.3.2 Bodemsoorten

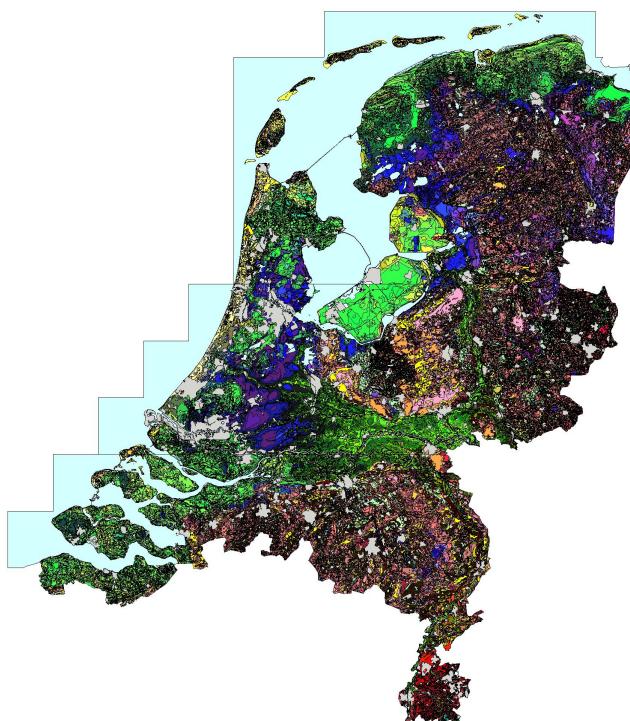
In overleg met de Projectgroep Brede Weerverzekering zijn in totaal 7 bodems binnen Nederland onderscheiden. Uitgangspunt hierbij was de bodemkaart zoals weergegeven in Figuur 1. Deze bodemkaart bevat echter geen georeferentie, wat betekent dat voor een bepaalde locatie niet exact kan worden vastgesteld welke bodemsoort hierbij hoort. Dit is voor de uiteindelijke praktische toepassingen van de weersverzekering wel van belang. Om deze reden is daarom uitgegaan van de 1:50.000 bodemkaart (Figuur 2) welke wel georeferenties bevat. Deze bodemkaart bevat echter te veel detail (3157 bodemsoorten) en is om die reden geaggregeerd naar standaard PAWN eenheden (Policy Analysis for the Watermanagement of the Netherlands, Wosten et al., 1988). Hierbij is gebruik gemaakt van een bestaande opzoektabel uit WaterNood (Stowa, 2004a) welke de eenheden van 1:50.000 bodemkaart koppelt met de 21 PAWN eenheden. Tenslotte zijn de 21 PAWN eenheden geaggregeerd naar de 7 bodemsoorten die het uitgangspunt vormde (Figuur 1). Dit heeft geresulteerd in Figuur 3, welke gegevens verder gebruikt zijn in deze studie.

Tijdens deze studie is onderzocht of het noodzakelijk was om het areaal zandgebied op te splitsen in 2 soorten zandgebieden. Een deel met arme en een deel met rijke zandgronden. Het vermoeden bestond dat arme (leemarme) zandgronden droogtegevoeliger zouden zijn dan de rijkere zandgronden. Op basis van analyses met behulp van satellietwaarnemingen van verdamingstekorten door WaterWatch kon echter geen duidelijk onderscheid tussen de zandgronden worden gemaakt en is besloten de zandgronden als één grondsoort te beschouwen (Waterwatch, 2009).



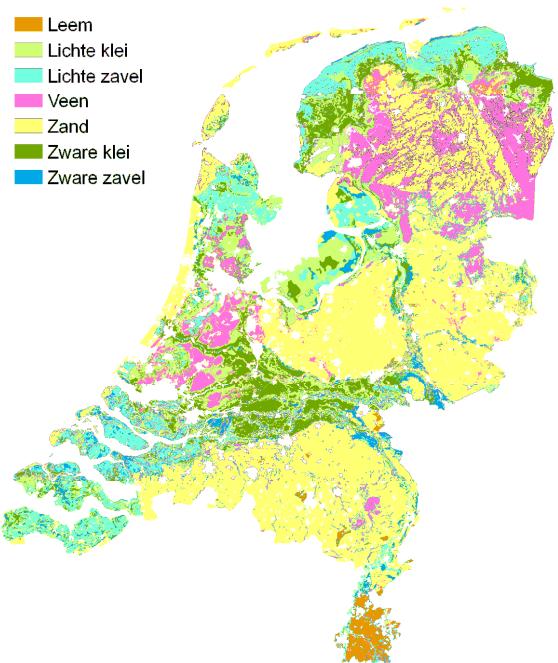


Figuur 1. Bodemkaart van Nederland met 7 bodemsoorten en uitgangspunt voor deze studie.



Figuur 2: De 1:50.000 bodemkaart van Nederland (© Alterra Wageningen)





Figuur 3: Bodemkaart van Nederland met de 7 bodems zoals gebruikt in deze studie.

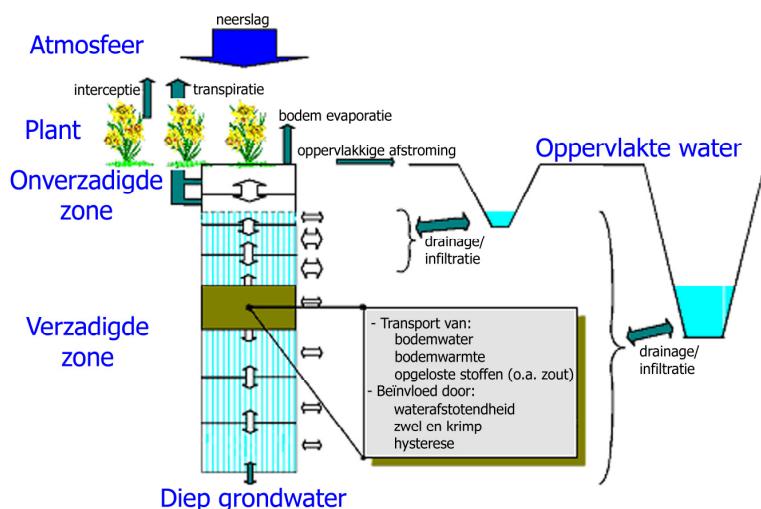


3 SWAP model

3.1 Achtergrond

SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant) simuleert transport van water, opgeloste stoffen en warmte in de onverzadigde en verzadigde zone en de hieruit volgende schade aan gewassen. SWAP is ontwikkeld door Wageningen Universiteit en Alterra-Groene Ruimte. De eerste versie van het SWAP model werd reeds in 1978 ontwikkeld en sindsdien is het model veelvuldig toegepast en zijn diverse verbeteringen aangebracht. SWAP wordt gezien als het de-facto standaard model voor bepalen van dynamisch vochtgegevens in de bodem en de invloed op gewasgroei. In deze paragraaf volgt een beknopte beschrijving van het model. Een uitgebreidere beschrijving kan gevonden worden in Kroes et al. (2008).

SWAP berekent ééndimensionaal de dynamiek van het verticale vochttransport in de onverzadigde zone als gevolg van gradiënten in drukhoogten. In Figuur 4 is een schematische weergave van het SWAP model voor één bodemkolom gegeven, met daarbij de belangrijkste interactieprocessen met atmosfeer en oppervlaktewater. Het model is ontwikkeld voor processen op veldschaal gedurende één of meerdere groeiseizoenen, maar voert berekeningen uit op dagbasis. Het model lost de Richards' vergelijking voor waterstroming op. Deze niet-lineaire vergelijking wordt numeriek opgelost met speciale aandacht voor de bovenrandvoorraarde waardoor snelle en grote veranderingen in veldsituaties kunnen worden beschreven. Daarbij zijn de bodemfysische eigenschappen van eminent belang.

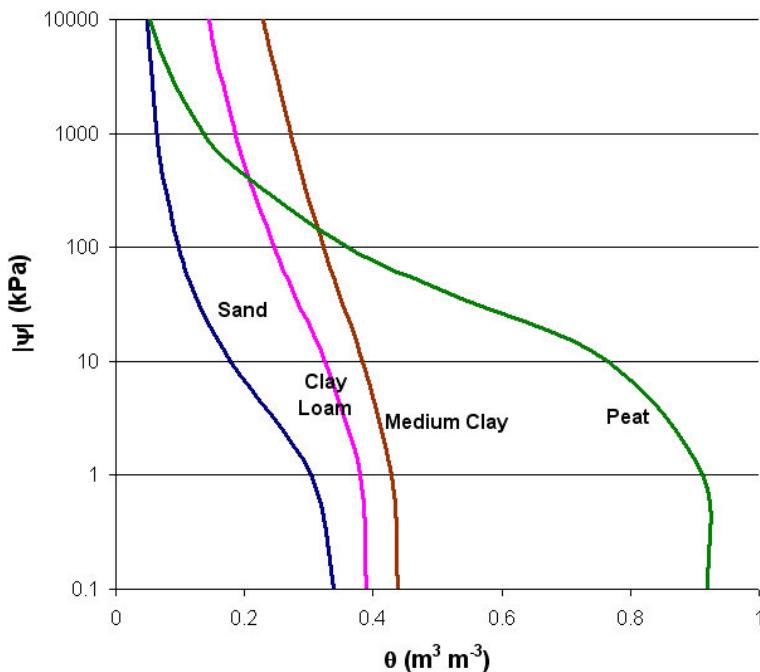


Figuur 4. Schematische weergave van het model SWAP (Kroes en Van Dam, 2003).

De bodem kan worden opgebouwd uit maximaal zes bodemhorizonten, die worden toegedeeld aan zogenoemde bodemlagen waartussen het vochttransport wordt berekend. De dikte van de bodemlagen moet worden gedefinieerd. In de regel wordt voor dieptes waarvoor een grote nauwkeurigheid vereist is voor dunne lagen gekozen. Van iedere bodemhorizont dienen de bodemfysieke eigenschappen bekend te zijn. Daarbij gaat het om de waterretentiekarakteristiek ($h-\theta$ -relatie) en de onverzadigde doorlatendheid ($k-h$ -relatie). De waterretentiekarakteristiek (ook wel pF-curve of zuigspanningscurve genoemd) beschrijft hoe sterk water gebonden is aan bodemeelkjes, als functie van het vochtgehalte. Deze relatie is bodem specifiek en is voor plantenwortels bepalend tot welke mate bodemvocht opgenomen



kan worden. In Figuur 5 zijn als voorbeeld waterretentiekarakteristieken gegeven van 4 verschillende bodemsoorten. Op de x-as staat het bodemvochtgehalte, op de y-as de drukhoogte (absoluut genomen en uitgedrukt in kilopascal). Een vuistregel is dat de meeste planten niet meer vocht uit de bodem kunnen onttrekken bij een pF-waarde van 4.2, oftewel 1600 kPa. Dit wordt ook wel het verwelkingspunt genoemd. Een andere vuistregel is dat bodems niet meer water kunnen vasthouden dan wat hoort bij een pF-waarde van 2.0, oftewel 10 kPa. Dit laatste wordt ook wel veldcapaciteit genoemd. Indien een bodem deze veldcapaciteit heeft bereikt, zal het water doorstromen naar diepere lagen.



Figuur 5. Voorbeeld van waterretentie curven van zand (sand), leem (loam), klei (clay) en veen (peat).

Behalve de vochttoestand aan het begin van de simulatie moeten de voorwaarden aan de boven- en onderzijde van het profiel worden beschreven. De bovenrandflux (flux is het volume water dat per tijdseenheid door een gedefinieerde doorsnede stroomt) bestaat uit de neerslag, bodemevaporatie, transpiratie en eventueel oppervlakkige toe- of afstroming van water. Fysische en empirische methodes worden gebruikt om de actuele bodemverdamping te berekenen. De bodemevaporatie hangt af van de vraag uit de atmosfeer, van het soort bodem en van de bodembedekking. Potentiële verdamping wordt berekend met de Penman-Monteith of de Makkink vergelijking. Het model biedt ook de mogelijkheid om referentie gewasverdamping rechtstreeks in te voeren. Ook de interceptie van landbouwkundige gewassen en bos wordt gesimuleerd. De transpiratie is gelijk aan de onttrekking van vocht aan de bodem door wortels, die afhangt van de eigenschappen van de begroeiing, de vraag door de atmosfeer, de vochtigheid en de bodem. Reductie van de wateropname door de wortels verschilt per gewas en hangt samen met de drukhoogte in de bodem. De relatie tussen de drukhoogte in de bodem en het werkelijke bodemvochtgehalte wordt beschreven met de waterretentiecurven zoals weergegeven in Figuur 5.



3.2 SWAP details

3.2.1 Onderrandvoorwaarde

De onderrandvoorwaarde van de SWAP kolom kan op acht manieren worden gedefinieerd:

1. grondwaterstand is invoer
2. flux is invoer
3. flux is functie van drukhoogte in diepe grondwater
4. flux berekent als functie van grondwaterstand
5. drukhoogte van onderkant kolom is invoer
6. flux is nul
7. onbeperkte drainage
8. geen ondergrond verondersteld

De keuze voor een bepaalde onderrandvoorwaarde hangt samen met een aantal factoren. De belangrijkste factor is of er voor een lokaal specifieke omstandigheid wordt gemodelleerd, of dat er naar een representatief gebied wordt gekeken. Indien voor lokale omstandigheden wordt gemodelleerd, zoals één perceel of een zeer homogeen gebied, hangt de keuze uiteraard af van de betreffende lokale omstandigheden.

Indien voor een homogeen gebied wordt gemodelleerd, zoals in deze studie, waarbij geen veld specifieke verschillen worden verondersteld, moet optie 6 worden gekozen: flux aan de onderrand is nul. Dit betekent dat kwel en wegzetting op nul worden verondersteld. Drainage en interactie met sloten wordt dan vervolgens via de drainage opties (zie hierna) geïmplementeerd.

3.2.2 Drainage

Drainage kan voor een SWAP kolom op een drietal methoden worden beschreven:

1. geen drainage systeem
2. een enkel drainage systeem
3. een meervoudig drainage systeem

De eerst optie kan worden gebruikt als een passende onderrandvoorwaarden is geselecteerd die toestaat dat er een flux naar het diepe grondwater kan plaatsvinden. In de meeste gevallen is echter een enkelvoudig of een meervoudig drainage systeem een betere optie om de werkelijkheid te beschrijven. Een enkelvoudig drainage systeem gaat uit van de Hooghoudt of Ernst formules. De meervoudige drainage systeem beschrijving is een uitbreiding, waarbij ervan wordt uitgegaan dat er een werkelijk drainage systeem aanwezig is, maar dat tevens water rechtstreeks naar sloten kan draineren.

Voor deze studie, die uitgaat van gemiddelde omstandigheden, moet optie 3 worden gebruikt: een meervoudig drainage systeem. In SWAP is het mogelijk om maximaal 5 drainagesystemen te definiëren. Aangezien in deze studie niet voor een bepaald specifiek perceel wordt gemodelleerd, is er voor gekozen om 2 drainagesystemen te definiëren. Het eerste systeem is de snelle afvoer via de bovengrond (greppels, oppervlakkige afvoer) en het tweede systeem representeert de interactie met sloten en het diepere grondwater via natuurlijke drainage of een buisdrainage systeem.

Voor deze optie met twee drainagesystemen zijn dan 16 parameters nodig waarvan drie bodemafhankelijk zijn:



- DRARES1: Drainage resistance system 1 (d)
- DRARES2: Drainage resistance system 2 (d)
- INFRES2: Infiltration resistance system 2 (d)

In Tabel 2 zijn voor de 7 grondsoorten die in deze studie worden beschouwd de drainage gegevens weergegeven zoals deze in de SWAP modellen zijn ingevoerd.

Tabel 2. De drainage gegevens van de 7 bodems zoals gebruikt in de SWAP modellen.

bodem	TopSoil	SubSoil	DraRes1 [dgn]	DraRes2 [dgn]	InfRes2 [dgn]	ZBotDra2 [cm -mv]
Veen	B16	O17	20	60	100	100
Zand	B3	O3	10	50	500	300
Lichte zavel	B7	O8	20	60	100	120
Zware zavel	B9	O10	20	60	100	120
Lichte klei	B10	O11	20	90	100	100
Zware klei	B11	O13	20	80	100	100
leem	B14	O15	20	80	100	140

3.3 Bodemeigenschappen

De grondsoort heeft een grote invloed op de totale waterhuishouding en dus op de kans van het ontstaan van schade ten gevolge van een watertekort of wateroverschot.

De modellen zijn opgezet voor een 7-tal grondsoorten die voor de teelt van akkerbouw-gewassen relevant zijn (Figuur 3). De 7 bodems zijn beschreven in het model met de zogenaamde bodemfysische eigenschappen: de retentiecurve (Figuur 5) en de doorlatendheidscurve. Deze beschrijving vindt plaats aan de hand van de Mualem-Van Genuchten parameters, die voor de Nederlandse condities beschreven zijn door Wösten et al. (2001). In Tabel 3 zijn voor de 7 grondsoorten deze bodemfysische eigenschappen aangegeven. De in de tabel vermelde KSAT is niet de zuivere verzadigde doorlatendheid, maar moet in samenhang met de parameters ALFAD en de LEXP worden bekeken.

Tabel 3. Beschrijving bodemfysische eigenschappen voor de zeven grondsoorten zoals aangegeven in Figuur 3.

	Code	ORES cm ³ cm ⁻³	OSAT cm ³ cm ⁻³	ALFAD cm d ⁻¹	NPAR cm ⁻¹	KSAT cm d ⁻¹	LEXP	ALFAW
Veen	B16	0.10	0.80	0.0176	1.293	6.79	-2.259	0.0176
	O17	0.01	0.86	0.0123	1.276	2.93	-1.592	0.0123
Zand	B3	0.02	0.46	0.0144	1.534	15.42	-0.215	0.0144
	O3	0.01	0.34	0.0170	1.717	10.87	0.000	0.0170
Lichte zavel	B7	0.00	0.40	0.0194	1.250	14.07	-0.802	0.0194
	O8	0.00	0.47	0.0136	1.342	9.08	-0.803	0.0136
Zware zavel	B9	0.00	0.43	0.0065	1.325	3.00	-2.161	0.0065
	O10	0.01	0.48	0.0097	1.257	3.00	-1.879	0.0097
Lichte klei	B10	0.01	0.43	0.0064	1.210	1.70	-3.884	0.0064
	O11	0.00	0.42	0.0191	1.152	13.79	-1.384	0.0191
Zware klei	B11	0.01	0.59	0.0195	1.109	4.53	-5.901	0.0195
	O13	0.00	0.57	0.0194	1.089	4.37	-5.955	0.0194
Leem	B14	0.01	0.42	0.0051	1.305	3.00	0.000	0.0051
	O15	0.01	0.41	0.0071	1.298	3.70	0.912	0.0071



3.4 Gewassen

Het SWAP model is in staat om elk gewas te simuleren zolang de juiste groei-karakteristieken van het gewas bekend zijn. Deze karakteristieken kunnen ingedeeld worden in tien groepen:

- Part 1: Crop development
- Part 2: Light extinction
- Part 3: Leaf area index
- Part 4: Crop factor
- Part 5: Rooting depth
- Part 6: Yield response
- Part 7: Soil water extraction by plant roots
- Part 8: Salt stress
- Part 9: Interception
- Part 10: Root density distribution and root growth

Bij elk van deze tien groepen horen één of meerdere parameters, die gewasgroei definieert.

Voor een aantal gewassen zijn standaard invoer files bij het SWAP model geleverd, terwijl voor andere gewassen gegevens beschikbaar zijn, maar niet als standaard SWAP invoer files. Deze parameters kunnen afkomstig zijn uit experimenten, literatuur, en expertise. Deze parameters kunnen vervolgens in de SWAP .crp file worden geplaatst en worden doorgerekend. Een voorbeeld van een .crp file, in dit geval voor consumptie aardappelen is hieronder weergegeven. In bijlage 1 zijn de .crp files van de 12 gewassen die in deze studie zijn meegenomen (Tabel 1) weergegeven.

3.5 Natschade

Natschade aan gewassen kan veroorzaakt worden door wateroverlast en schade door overstroming (water op het land) enerzijds en door schade door relatief hoge grondwaterstanden anderzijds. Bij extreme neerslaggebeurtenissen kan vaak zowel schade door overstroming als door hoge grondwaterstanden optreden. Bij minder extreme gebeurtenissen kan in de landbouw aanzienlijke schade ontstaan door ondiepe grondwaterstanden. Schade door ondiepe grondwaterstanden kan ook optreden bij een optimale ontwatering (d.w.z. dat er vrij kan worden geloosd op het afwateringssysteem).

Globale uitspraken over natschade door wateroverlast bij incidentele, extreem hoge grondwaterstanden zijn bekend. Zandgronden zijn minder gevoelig voor schade door wateroverlast dan klei- en veengronden. Boomteelt is het meest gevoelig voor wateroverlast, maar de gevoelighed verschilt niet veel met die van tuinbouw, fruitteelt en bollenteelt. Akkerbouw is gevoeliger dan grasland; grasland is het minst gevoelig.

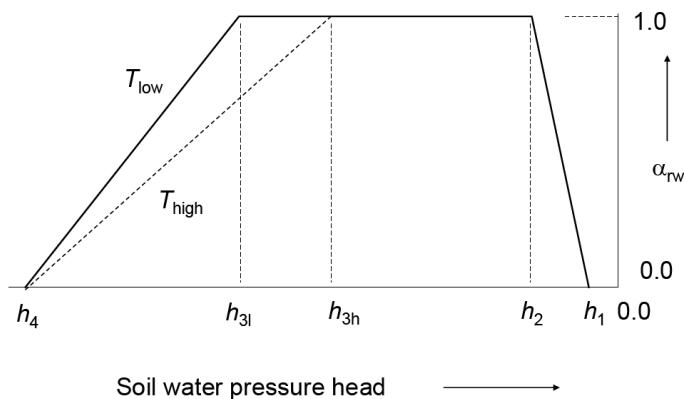
Om deze globale uitspraken te kwantificeren per gewas en per grondsoort en per neerslaggebeurtenis is besloten het SWAP model toe te passen om de natschade te verfijnen. De methode die wordt gebruikt is gebaseerd op drie onderscheiden type natschade:

1. verminderde wortelfunctie door zuurstoftekort
2. verdrinkning
3. verminderde bewerkbaarheid.



De eerste term heeft vooral betrekking op het gehele groeiseizoen, terwijl de laatste twee worden veroorzaakt door hevig kordurende neerslaggebeurtenissen.

De verminderde groei door zuurstoftekort (verminderde aëratie) wordt berekend door SWAP door op elke dag te bepalen wat de drukhoogte (retentiewaarde) in de wortelzone is. Indien deze waarde, die gewasspecifiek is, wordt overschreden, treedt er gewasgroei reductie op. Er wordt hierbij gebruik gemaakt van de zogenoemde Feddes gewasgroei reductiefunctie. In Figuur 6 is deze Feddes functie weergegeven. Op de x-as staat de zogenaamde drukhoogte, wat te relateren is aan het bodemvochtgehalte. Rechts is de bodem zeer nat en hoe verder naar links (hoe negatiever de drukhoogte) hoe droger de bodem. Op de y-as staat de verdampingsreductiefactor die loopt van 0 tot 1. De verdampingsreductiefactor is de verhouding tussen actuele en potentiële verdamping. Tussen de drukhoogte van 0 cm en drukhoogte h_1 vindt geen actuele verdamping plaats omdat de plant geen vocht kan opnemen als gevolg van zuurstoftekort. Tussen drukhoogte h_1 en h_2 vindt beperkte vochtopname door de wortels plaats en dus ook beperkte actuele verdamping. Indien de grond droger is dan drukhoogte h_2 is er geen natschade.



Figuur 6. Feddes gewasgroei reductiefunctie als functie van bodemvochtgehalte (Feddes et al., 1978)

Schade als gevolg van verdrinking en beperkingen in bewerkbaarheid worden met behulp van de methode Leidraad Hoogwaterschade bepaald. Er wordt hierbij gebruik gemaakt van de methoden SOW (Som OverschrijdingsWaarden) en SKOW (Som geKwadrateerde OverschrijdingsWaarden). De volledige formule luidt:

$$f(h, \Delta t) = \max(c_1 \cdot SOW_{dr}, c_2 \cdot SKOW_{dwz})$$

met:

$f(h, \Delta t)$ = schadefunctie voor bouwland

SOW_{dr} = Som OverschrijdingsWaarden van drempelwaarde dr (cm-mv) [cm.d]

$SKOW_{dwz}$ = Som geKwadrateerde OverschrijdingsWaarden van de onderkant van de wortelzone dwz (cm-mv) [cm².d]

$c_1(t)$ = schadecoëficiënt voor bewerkbaarheidschade [cm-1.d-1]

c_2 = schadecoëficiënt voor verdrinkingschade [cm-2.d-1]

dr = drempelwaarde voor grondbewerking [cm]

dwz = onderkant van de wortelzone [cm]

De SOW_{dr} is de schade die optreedt door beperkingen in bewerkbaarheid. Deze wordt berekend door per dag de som te nemen van het aantal cm dat de grondwaterstand boven een



drempelwaarde staat. Vervolgens vindt er nog een groeiseizoen afhankelijke coëfficiënt plaats. Een uitgewerkt voorbeeld:

- Drempelwaarde: 85 cm-mv
- schadecoëficiënt voor bewerkbaarheidschade: 0.00017
- Grondwaterstand:
 - dag 1: 95 cm-mv → SOW = 0
 - dag 2: 80 cm-mv → SOW = 85-80 = 5 → schade = 5 * 0.00017 = 0.00085
 - dag 3: 40 cm-mv → SOW = 85-40 = 45 → schade = 45 * 0.00017 = 0.00765
- Voor deze drie dagen ligt dus de schade op 0.0085 = 0.85%
- Stel dat er 30 dagen een grondwaterstand van 40 cm-mv optreedt dan wordt de schade:
 - $(85-40) * 30 * 0.00017 = 0.23 = 23\%$

De SKOW_{dwz} is de schade die optreedt door verdrinking van het gewas. Het uitgangspunt is dat deze schade ontstaat wanneer de grondwaterstand binnen de wortelzone komt. Een uitgewerkt voorbeeld:

- Wortelzone: 40 cm
- schadecoëficiënt voor verdrinkingschade: $1 / (3 \cdot \text{wortelzone}^2) = 1 / (3 \cdot 40^2) = 0.000208$
- Grondwaterstand:
 - dag 1: 45 cm-mv → SKOW = 0
 - dag 2: 30 cm-mv → SKOW = $(40-30)^2 = 100 \rightarrow$ schade $100 * 0.000208 = 0.02$
 - dag 3: 20 cm-mv → SKOW = $(40-20)^2 = 400 \rightarrow$ schade $400 * 0.000208 = 0.08$
- Voor deze drie dagen ligt dus de schade op 0.10 = 10%
- Stel dat er 3 dagen zijn met een grondwaterstand van 20 cm-mv dan wordt de schade:
 - $(40-20)^2 * 0.000208 = 0.25 = 25\%$
- Stel dat er 3 dagen zijn met een grondwaterstand tot in het maaiveld dan wordt de schade:
 - $(40-0)^2 * 0.000208 = 1.00 = 100\%$

Uitgebreidere informatie over deze methoden van natschade in het SWAP model is onder andere te vinden in Bolt en Kok (2000), Oostrom (2004), Kroes et al. (2008), Postma (1992), Droogers en Besten (2006).

3.6 Droogteschade

Droogteschade worden gedefinieerd als de reductie in gewasgroei ten gevolge van een bodemvochttekort. Het achterliggende principe van droogteschade is dat door een tekort aan bodemvocht het gewas onvoldoende vocht kan verdampen voor een optimale plantgroei. Hierdoor valt de productie uiteindelijk lager uit dan in het geval van voldoende aanvulling van bodemvocht mogelijk is. Het opbrengstverschil tussen werkelijke en optimale productie is de droogteschade. Droogteschade kan goed worden bepaald op basis van de bodemvocht levering.

Vochttekorten leiden tot een reductie van gewasverdamping en kunnen met het SWAP model goed worden berekend. De berekende verdampingsreductie wordt vervolgens vertaald in opbrengstverliezen. Er wordt hierbij gebruik gemaakt van de zogenoemde Feddes gewasgroei functie. In Figuur 6 is deze Feddes functie weergegeven. Op de x-as staat de zogenaamde drukhoogte, wat te relateren is aan het bodemvochtgehalte. Rechts is de bodem zeer nat en hoe verder naar links (hoe negatiever de drukhoogte) hoe droger de bodem. Op de y-as staat



de verdampingsreductiefactor die loopt van 0 tot 1. De verdampingsreductiefactor is de verhouding tussen actuele en potentiële verdamping. Indien de drukhoogte lager is (dus droger) dan h_4 vindt geen vochtopname plaats doordat de zuigkracht van de bodem groter is dan die van de wortels. In de hydrologie wordt ook wel dan ook wel gezegd dat er geen capillaire nalevering plaatsvindt. Tussen drukhoogte h_3 en h_4 vindt beperkte vochtopname door de wortels plaats.

Het gebruik van SWAP om deze droogteschade te bepalen is uitgebreid beschreven in de literatuur. Duidelijke beschrijvingen zijn onder andere te vinden in Kroes et al. (2008), Droogers en Besten (2006), Bastiaanssen et al. (2007), Broek en Kabat (1995), Feddes en Van Dam (1997).



4 Statistieken extreme neerslag en droogte

4.1 Inleiding

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 worden in dit project grenswaarden vastgesteld waarbij ten minste 30% opbrengstvermindering optreedt. Deze grenswaarden worden zowel bepaald voor natschade (1, 2 en 4-daagse sommen) als droogteschade. De hoogte van de grenswaarden verschilt per gewas-bodemcombinatie. In dit hoofdstuk wordt aangegeven hoe vaak deze berekende grenswaarden in werkelijkheid zullen optreden. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen extreme neerslag gebeurtenissen (van belang voor de natschade) en neerslagtekort gedurende het zomerhalfjaar (van belang voor de droogteschade). Voor beide onderdelen is in het kader van dit onderzoek zowel literatuur onderzoek uitgevoerd als meteorologische data geanalyseerd.

4.2 Extreme neerslag

4.2.1 Methode

Voor het berekenen van herhalingslijden van extreme neerslag is het van belang een juiste kansverdeling te gebruiken om de neerslagmaxima te modelleren. Een veelgebruikte kansverdeling is de zgn. ‘Generalized Extreme Value’ (GEV) verdeling (STOWA, 2004-26 en Buishand et al. 2008).

De cumulatieve verdelingsfunctie van de GEV variabele X wordt gegeven door:

$$F(x) = \Pr(X \leq x) = \exp\left\{-\left(1 - \kappa \frac{x - \xi}{\alpha}\right)^{1/\kappa}\right\} \quad \kappa \neq 0$$

De parameter κ bepaalt de vorm van de verdeling en wordt daarom de vormparameter genoemd. Voor $\kappa \rightarrow 0$ gaat de GEV verdeling over in de Gumbel verdeling, waarvan de cumulatieve verdelingsfunctie gegeven wordt door:

$$F(x) = \Pr(X \leq x) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x - \xi}{\alpha}\right)\right\} \quad \kappa = 0$$

De parameter α wordt vaak als schaalparameter aangeduid. Deze parameter is recht evenredig aan de standaardafwijking van X . De parameter ξ is de locatieparameter. Voor $x = \xi$ geldt voor zowel de GEV als de Gumbel verdeling $F(x) = e^{-1} \approx 0.37$. De locatieparameter bepaalt in sterke mate het gemiddelde, maar heeft geen invloed op de standaardafwijking en hogere orde centrale momenten.

In STOWA 2004-26 uitgegaan van een vaste vormparameter voor elke duur. De genoemde reden hiervoor is de grote onnauwkeurigheid van de schatter van κ . Voor de verandering van κ met de duur is in STOWA 2004-26 de volgende relatie aangehouden:

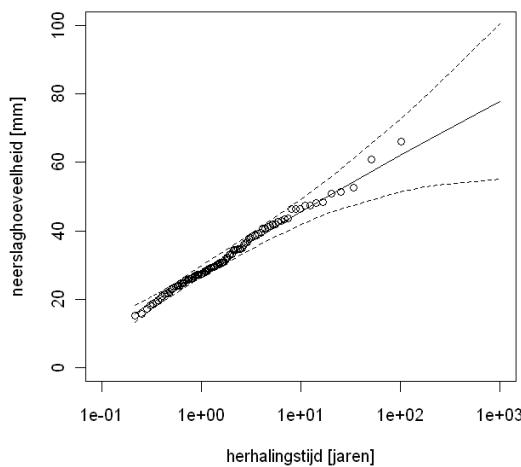
$$\kappa = -0.090 + 0.0170D,$$

waarbij de duur D uitgedrukt is in dagen. Deze relatie is gebaseerd op een analyse van de jaarmaxima voor een aantal duren op verschillende stations in België (Gellens, 2003) en Nederland (Buishand, 1983). Er is daarbij uitgegaan van meerdere stations, omdat het niet mogelijk is κ op basis van de neerslagreeks van een enkel station voldoende nauwkeurig te schatten.



4.2.2 Overschrijdingskansen De Bilt

Figuur 7 laat een voorbeeld zien van neerslagmaxima (dagwaarden) gemeten in De Bilt gedurende de periode 1906-2008 waardoor de hierboven beschreven GEV-verdeling is gefit. Naast de beste schatting is in dit figuur ook het 95%-betrouwbaarheidsinterval weergegeven. Belangrijk gegeven bij het afleiden van statistieken van extreme gebeurtenissen is het feit dat de onzekerheid toeneemt bij extremere gebeurtenissen. Dit is begrijpelijk aangezien zeer extreme gebeurtenissen zelden zijn voorgekomen en de onzekerheid daarvan dus ook groot is. Extrapolatie van extremenstatistiek is dan ook geen sinecure.



Figuur 7. Herhalingstijden van maximale dagelijkse neerslaghoeveelheden. De ronde stippen tonen de gemeten jaarmaxima, de doorgetrokken lijn de beste schatting en de stippellijnen het 95%-betrouwbaarheidsinterval. Grafiek is gebaseerd op maxima van station De Bilt voor de periode 1906-2008.

4.2.3 Regionale spreiding extreme neerslag

Recent heeft het KNMI een onderzoek uitgevoerd naar het optreden van extreme neerslag in Nederland (Buishand et al. 2009). Dit onderzoek maakt deel uit van het onderzoek ‘Van neerslag tot schade’ wat wordt uitgevoerd door HKV IJmuiden in water, KNMI en Universiteit Twente in opdracht van ‘Leven met Water’, STOWA, Provincie Zuid-Holland en het Verbond van Verzekeraars. Tijdens dit onderzoek is specifiek gekeken naar eventuele regionale verschillen in het optreden van extreme neerslag binnen Nederland. Hiervoor zijn dagwaarden van 141 neerslagstations voor het 55-jarige tijdvak 1951 – 2005 geanalyseerd. Hierbij is niet alleen gekeken naar maxima van dagelijkse neerslag maar tevens van de 2- en 4 daagse sommen. In Tabel 4 is aangegeven bij welke herhalingstijd welke maximale neerslag verwacht mag worden voor de verschillende neerslagduren.

Voor elke afzonderlijke duur is de kansverdeling van de jaarmaxima beschreven door een generaliseerde extreme waarden (GEV) verdeling. Hierbij wordt aangenomen dat de vormparameter van deze verdeling voor elke duur constant is over Nederland en dezelfde waarde heeft als die gevonden voor de langjarige reeks van De Bilt in het STOWA rapport 2004-26 (STOWA, 2004). Het onderzoek naar regionale verschillen richt zich op de andere parameters van de GEV verdeling, in deze studie de dispersiecoëfficiënt, wat een maat is voor de variabiliteit van de jaarmaxima, en de locatieparameter, die in sterke mate het gemiddelde van de jaarmaxima bepaalt.



Het is bekend dat er in de jaarlijkse neerslaghoeveelheid een ruimtelijk patroon binnen Nederland te herkennen is (bijlage 2). Uit het onderzoek naar regionale verschillen in neerslagextremen wordt echter geconcludeerd dat de ruimtelijke correlatie van neerslagextremen veel zwakker is dan die van de gemiddelde jaarsom. Op basis van de waarde van de relatieve locatieparameter wordt voorgesteld om Nederland op te delen in vier categorien (L, G, H en H+) zoals afgebeeld in Figuur 8. Voor delen van Nederland waar het neerslagregime G heerst, geldt de extreme waarden statistiek zoals die is afgeleid voor De Bilt. In Tabel 4 zijn de overschrijdingskansen van extremen neerslag zoals afgeleid voor De Bilt weergegeven voor de 1, 2 en 4-dagse neerslagsommen. Voor de neerslagregimes zoals aangegeven in Figuur 8 worden de extreme waarden van De Bilt horende bij een bepaalde herhalingstijd (Tabel 4) geschaald met de waarde zoals aangegeven in Tabel 5. Dit betekent dus dat naar verwachting in regio L eens in de 2 jaar niet 39 mm/dag neerslag valt maar 7% minder, oftewel 36 mm/dag.

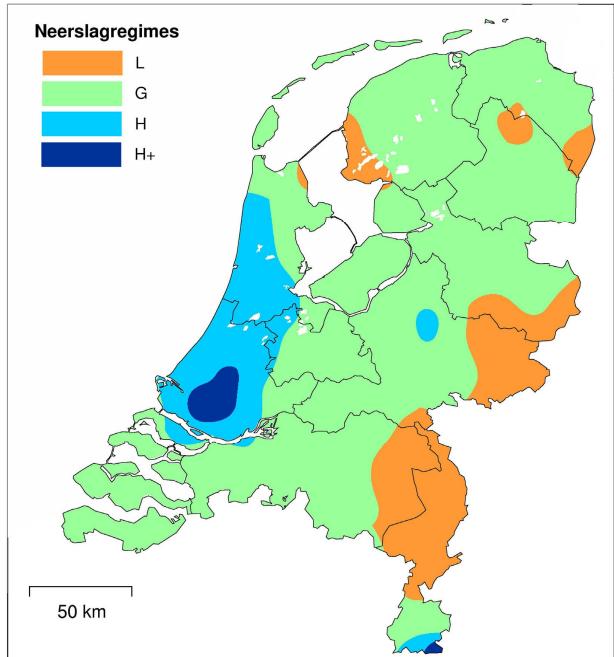
Tabel 4. Overschrijdingskansen van extreme neerslag voor verschillende duren (Buishand et al. 2009).

Herhalingstijd T [jaren]	1-daagse som [mm]	2-daagse som [mm]	4-daagse som [mm]
2	39	48	60
5	47	58	71
10	54	65	80
20	61	73	89
50	71	84	100
100	79	92	109
200	87	101	118

Tabel 5. De schalingsparameter per neerslag regime (zie Figuur 8).

Regime	schalingsparameter
L	0.93
G	1.00
H	1.08
H+	1.14





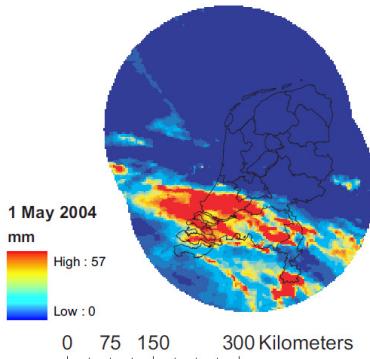
Figuur 8. Indeling van Nederland in 4 categorien (L, G, H en H+) zoals voorgesteld door het KNMI voor extreme neerslagstatistiek (Buishand et al. 2009).

Naast de verschillen in extreme neerslagstatistiek binnen Nederland is het voor de verzekering ook van belang inzicht te hebben in de ruimtelijke verdeling op het moment dat er een extreme bui plaatsvindt. De ruimtelijke samenhang (ruimtelijke correlatie) van een bui is in het algemeen afhankelijk van:

1. het bui-type
2. de beschouwde neerslagduur

Ten aanzien van het eerste punt onderscheiden meteorologen twee typen buien: stratiform en convectief. Stratiforme neerslag wordt veroorzaakt door een botsend warmte- en koudefront. Kenmerkend voor stratiforme buien is de grote ruimtelijke correlatie. Convectieve neerslag wordt veroorzaakt door verticale stijging van lucht als gevolg van een sterk opgewarmd aardoppervlak. Onweersbuiken zijn een voorbeeld van convectieve neerslag. In Figuur 9 is een voorbeeld gegeven van een radarbeeld van een convectieve bui van 1 mei 2004. Kenmerkend voor convectieve buien is het locale karakter, oftewel lage ruimtelijke correlatie, en de hoge neerslag intensiteit. Dit laatste komt met name omdat de regendruppels van convectieve buien over het algemeen groter zijn. De neerslag die in Nederland valt is voornamelijk neerslag uit stratiforme buien. Voor de natschade zal men echter met name geïnteresseerd zijn in extreme neerslaggebeurtenissen, welke meestal het gevolg zijn van convectieve buien.





Figuur 9. Raderbeeld van een convectieve bui op 1 mei 2004.

Naast het bui-type is het ook van belang de neerslagduur in ogenschouw te nemen. Algemeen geldt dat hoe korter de beschouwde neerslagduur is, hoe minder ruimtelijke correlatie er is.

4.2.4 Klimaatsverandering

In het genoemde KNMI onderzoek naar regionale verschillen in extreme neerslag (Buishand et al. 2009) wordt ingegaan op de mogelijke effecten van klimaatsverandering op de neerslagextremenstatistiek. In 2006 heeft het KNMI een viertal scenario's uitgebracht voor het klimaat rond 2050, de zogenaamde KNMI '06 scenario's (KNMI, 2006). Voor de dagsom die gemiddeld eens in de 10 jaar in de zomer (juni, juli, augustus) wordt overschreden geven deze scenario's een toename van 5 tot 27% ten opzichte van de waarde rond 1990. Er wordt geen informatie gegeven over de verwachte veranderingen in de jaarmaxima. Een ander KNMI studie laat echter zien dat voor dagsommen de toename bij de jaarmaxima vergelijkbaar is met de 5 tot 27% toename bij de zomermaxima (Groen, 2007). Geconcludeerd wordt daarom dat voor neerslagduren van 1 dag de ondergrens van de verwachte toename bij de jaarmaxima rond 2050 klein is ten opzichte van de huidige bestaande regionale verschillen. De bovengrens van de verwachte toename bij de jaarmaxima rond 2050 is in dezelfde orde van grootte als de verschillen tussen de meest natte en drogere delen van Nederland.

De KNMI '06 scenario's zijn gebaseerd op simulaties met regionale klimaatmodellen en geven per scenario slechts één waarde voor de verandering voor heel Nederland. Het KNMI geeft aan dat recent onderzoek laat zien dat de kuststrook in de toekomst natter zou kunnen worden ten opzichte van het binnenland. Een kwantificering van deze effecten wordt verwacht met de update van de KNMI scenario's die nu in 2012/2013 gepland is.

4.3 Extreme droogte

4.3.1 Literatuurgegevens

Nederland heeft gemiddeld over het jaar gezien meer neerslag dan verdamping. Gemiddeld genomen is de jaarlijkse neerslag in Nederland ongeveer 800 mm en de jaarlijkse verdamping ongeveer 500 mm, oftewel een jaarlijks neerslagoverschot van 300 mm. Echter binnen het zomerhalfjaar (april-september) kan er in Nederland wel degelijk een neerslagtekort ontstaan waardoor gewasschade optreedt. Dit neerslagtekort wordt ook wel het potentieel neerslagtekort genoemd, wat is gedefinieerd als het verschil tussen de referentie evapotranspiratie en de netto neerslag (Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 1986).

In het kader van project 'Droogtestudie Nederland' heeft het KNMI onderzoek gedaan naar overschrijdingskansen van het neerslagtekort in Nederland. Als resultaat is het rapport 'Droog,



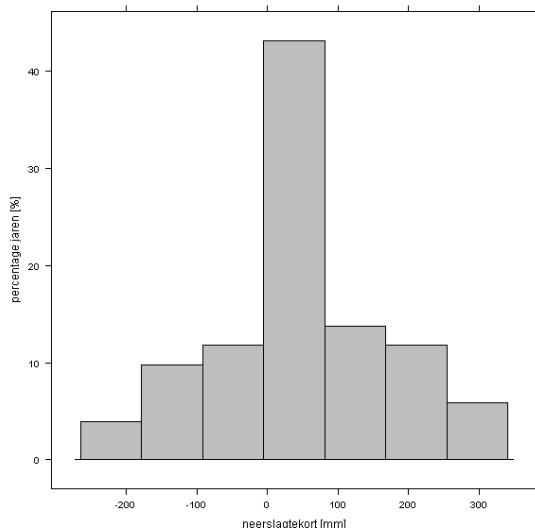
droger, droogst – KNMI/RIZA-bijdrage aan de tweede fase van de Droogtestudie Nederland' (Beersma et al., 2004) verschenen. In deze studie wordt gekeken naar het maximale neerslagtekort dat binnen het zomerhalfjaar (april-september) kan ontstaan. Voor het berekenen van droogteschade bij een plant is het maximale neerslagtekort dat op enig moment kan optreden echter niet van doorslaggevende betekenis. Het kan immers zo zijn dat binnen een zeer korte periode een hoog neerslagtekort optreedt waarna het gaat regenen en het gewas zich alsnog kan herstellen. Een langdurige periode van droogte is voor planten veel schadelijker. Voor droogteschade aan gewassen is het daarom belangrijk te weten wat het neerslagtekort gedurende het gehele zomerhalfjaar is.

In het cultuurtechnisch vademecum (Cultuurtechnische vereniging, 1988) staat een figuur met herhalingstijden van het potentiële neerslagtekort in De Bilt, berekend over het zomerhalfjaar. In deze figuur zijn echter een beperkt aantal herhalingstijden aangegeven waardoor het niet mogelijk is uitspraken te doen over de herhalingstijd die hoort bij een bepaalde grenswaarde die in deze studie wordt gevonden. Daarnaast is deze studie ruim 10 jaar geleden uitgevoerd en zijn ondertussen recentere meteorologische gegevens beschikbaar. Om deze redenen hebben we voor deze studie de overschrijdingskansen voor neerslagtekort gedurende het zomerhalfjaar berekend voor het station De Bilt voor de periode 1958-2008.

4.3.2 Methode

De herhalingstijden welke horen bij de verschillende waarden van verdampingstekort zijn bepaald voor het zomerhalfjaar (april – september) voor het meteorologisch station De Bilt. Voor het bepalen van de extreme neerslag statistiek (paragraaf 4.2) is gebruik gemaakt van de periode 1951-2005. De verdampingsgegevens voor De Bilt zijn echter pas beschikbaar vanaf 1958. Om toch tot een vergelijkbaar aantal jaren te komen is voor het afleiden van de droogtestatistiek daarom gebruik gemaakt van de reeks 1958-2008.

Figuur 10 laat het histogram zien van het neerslagtekort voor het zomerhalfjaar van het station De Bilt voor de periode 1958-2008. Uit dit figuur blijkt dat voor het merendeel van de jaren het neerslagtekort gedurende het zomerhalfjaar tussen de 0-90 mm ligt.



Figuur 10: histogram van het neerslagtekort gedurende het zomerhalfjaar (april – September) van station De Bilt voor de 51-jarige periode 1958-2008.



Het neerslagtekort kan statistisch worden beschreven met een normale verdeling. De kansdichtheid functie voor de normale verdeling is:

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

In deze vergelijking is μ het gemiddelde neerslagtekort in mm en σ de standaarddeviatie van het neerslagtekort in mm.

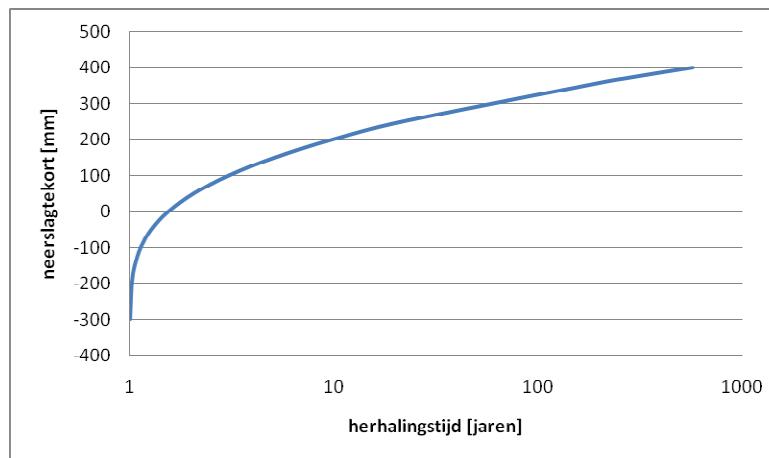
Om te kunnen bepalen wat de kans is op een neerslagtekort groter dan een X-aantal mm's dient gebruik te worden gemaakt van de cumulatieve verdelingsfunctie:

$$\frac{1}{2}\left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x-\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right)$$

Wederom is μ het gemiddelde neerslagtekort in mm en σ de standaarddeviatie van het neerslagtekort in mm. De zogenaamde Gaussische foutenfunctie (erf) is de integraal van de normale verdeling en wordt beschreven door:

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

Voor de 51-jarige periode 1958-2008 blijkt dat het gemiddelde neerslagtekort gedurende het zomerhalfjaar voor De Bilt 46 mm bedraagt en dat de standaarddeviatie 121 mm is. In Figuur 11 is weergegeven wat de kans op overschrijding van een bepaald neerslagtekort is. Aangezien het gemiddelde neerslagtekort over de 51-jarige periode op 46 mm ligt betekent dit dan de kans op overschrijding van die 46 mm 50% is, oftewel een herhalingstijd (T) heeft van 2 jaar. Opgemerkt dient te worden dat Figuur 11 de kans geeft op overschrijding van het neerslagtekort dat op de y-as staat, oftewel dat het neerslagtekort groter is dan de waarde op de y-as. Aangezien een neerslagtekort van -300 mm (dus een neerslagoverschot van 300 mm) in een zomerhalfjaar zeer uitzonderlijk is zal de kans op een neerslagtekort van meer dan -300 mm 100% bedragen, oftewel een herhalingstijd hebben van T=1 jaar.



Figuur 11. Kans op overschrijding van neerslagtekort in zomerhalfjaar (april – september) gebaseerd op 51 jaar gegevens van station De Bilt .



In Tabel 6 is voor een aantal herhalingstijden het minimale neerslagtekort gedurende het zomerhalfjaar (april – september) aangegeven. Deze waarden zijn bepaald volgens de methode zoals hierboven beschreven.

Tabel 6. Overschrijdingkansen van neerslagtekorten gedurende het zomerhalfjaar (april – september) die gemiddeld eens in de 2 tot 200 jaar voorkomen. Data gebaseerd op gegevens De Bilt (1958-2008).

herhalingstijd T [jaren]	neerslagtekort [mm]
$T = 2$	46
$T = 5$	148
$T = 10$	202
$T = 20$	245
$T = 50$	295
$T = 100$	328
$T = 200$	358

4.3.3 Regionale spreiding neerslagtekort

Om de regionale spreiding van neerslagtekort binnen Nederland te bepalen is het van belang om naar de ruimtelijke spreiding van zowel de neerslag als de verdamping te kijken. Bijlage 2 geeft de ruimtelijke verdeling van jaarlijkse neerslag, jaarlijkse verdamping en jaarlijks neerslagtekort gebaseerd op de periode 1971-2000. Deze kaarten zijn afkomstig uit ‘Klimaatatalas van Nederland’. Dergelijke kaarten gebaseerd op enkel het zomerhalfjaar zijn niet gepubliceerd. De jaarlijkse referentieverdamping voor west Nederland is gemiddeld hoger dan voor oost Nederland, waarbij het verschil ongeveer 100 mm bedraagt. Dit wordt met name veroorzaakt door de grotere windsnelheden aan de kust. Ook de totale jaarlijkse neerslag toont regionale verschillen. Met name de hoger gelegen gebieden in Nederland laten hogere neerslagsommen zien. Als gevolg hiervan is ook het jaarlijkse neerslagtekort ruimtelijk verdeeld. Belangrijk is op te merken dat de getoonde regionale verschillen gemiddelden zijn over een langjarige reeks (1971-2000). Voor een afzonderlijke jaar kan dit ruimtelijke beeld aanzienlijk afwijken. In deze studie nemen we om deze reden dan ook geen regionale verschillen mee voor het bepalen van herhalingstijden van neerslagtekort.

4.3.4 Klimaatsverandering

In 2006 heeft het KNMI een viertal scenario’s uitgebracht voor het klimaat rond 2050, de zogenaamde KNMI ’06 scenario’s (KNMI, 2006). Volgens deze scenario’s zal de gemiddelde neerslag gedurende de zomermaanden juni, juli en augustus ten opzichte van de waarde rond 1990 liggen in de range van 6% toename tot 19% afname. De referentieverdamping zal volgens de KNMI ’06 scenario’s toenemen met 3 tot 15%. Te verwachten is dus dat in de toekomst het neerslagtekort gedurende het zomerhalfjaar zal toenemen.



5 Resultaten

5.1 Natschade

De uiteindelijk neerslaghoeveelheden en de kans op het optreden van meer dan 30% opbrengstvermindering is berekend aan de hand van 84 model schematisaties. Deze 84 modellen zijn een combinatie van 12 gewassen en 7 bodemsoorten. De 12 gewassen zijn:

1. consumptie aardappelen
2. graszaad
3. poot aardappelen
4. snijmais
5. suikerbiet
6. wintergraan
7. winterpeen
8. zaaiui
9. zetmeel aardappelen
10. zomergraan
11. peulvruchten
12. fruitbomen

De 7 grondsoorten zijn:

1. veen
2. zand
3. lichte zavel
4. zware zavel
5. lichte klei
6. zware klei
7. leem

De volledig invoerfiles voor het SWAP modellen van deze 12 gewassen zijn gegeven in bijlage 1, de bodemeigenschappen van de 7 grondsoorten zijn weergegeven in Tabel 3.

Om de grenswaarden van 30% opbrengstvermindering te bepalen zijn deze 84 modellen iteratief doorgerekend met neerslagbuien van verschillende intensiteiten variërend van 20 mm tot en met 130 mm, met intervallen van 10 mm. Deze 12 intensiteiten van buien zijn toegepast op 1-daagse, 2-daagse en 4-daagse sommen. In totaal zijn er dus 3024 verschillende modellen doorgerekend.

- 12 gewassen
- 7 bodems
- 12 neerslagintensiteiten
- 3 neerslag dagsommen

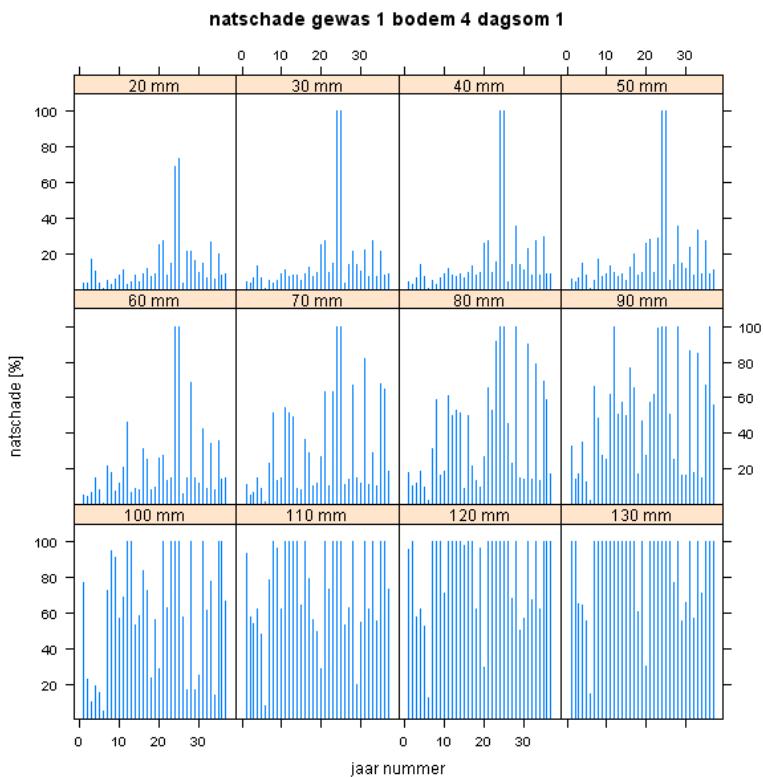
Het is algemeen bekend dat eenzelfde neerslag intensiteit in het ene geval wel schade kan opleveren en in het andere geval niet. Dit heeft alles te maken met de zogenoemde hydrologische voorgeschiedenis. Als een bodem al relatief nat is kan een kleinere bui al voor schade zorgen, terwijl dezelfde bui bij een droge bodem geen schade zal veroorzaken. Om met dit aspect rekening te houden is niet één enkel jaar doorgerekend, maar zijn elk van de 3024 modellen over een periode van 37 jaar doorgerekend. Deze 37 jaren zijn gebaseerd op de werkelijk opgetreden weersomstandigheden van de periode 1971-2007, waarbij voor elk jaar de hoogste d-daagse som vervangen door een bui uit de reeks van 20 tot 130 mm. In het geval



van 1-dagse som is enkel de meest extreme bui vervangen, in het geval dan de 2-dagse en 4-dagse som is de verhouding van werkelijke dagelijkse buien aangehouden maar is de d-dagse som van de buien vervangen door een waarde uit de reeks 20 - 130 mm.

Uitgaande van het huidige klimaat geeft de reeks van 37 jaar aan wat de kans in de nabije toekomst is op schade bij een bepaalde bui. Indien we de 37 jaar als representatief veronderstellen voor de variatie in hydrologische voorgeschiedenis is de kans op het optreden van één van deze 37 jaar in de toekomst even groot. Er kan daarom gesteld worden dat indien in ten minste 18.5 van de 37 jaren (oftewel 50%) tenminste 30% opbrengstvermindering optreedt dit de grenswaarde voor natschade aangeeft.

Een uitgewerkt voorbeeld voor een bepaald gewas (gewas 1: consumptie aardappelen) op een bepaalde bodem (bodem 4: zware zavel) zal de methodiek verduidelijken. De te verwachte schade voor deze combinatie van gewas en bodem, voor de 12 neerslagintensiteiten is te zien in Figuur 12. In dit figuur is duidelijk te zien dat bij 20 mm de te verwachte natschade gering is. Alleen in twee uitzonderlijke jaren, waarbij de voorgeschiedenis van de 20 mm bui ook al zeer nat was, kan deze 20 mm al opbrengstvermindering in de orde van 60% geven. In bijlage 3 zijn dezelfde figuren weergegeven voor alle 84 gewas-bodemcombinaties voor de 1, 2 en 4-dagse neerslagsommen.



Figuur 12. Te verwachten opbrengstvermindering voor consumptie aardappelen op zware zavel voor 12 neerslagintensiteiten.

Uit Figuur 12 is ook te zien dat de grenswaarde waarbij 30% opbrengstvermindering optreedt bij een bui van tussen de 80 en 90 mm ligt. In sommige jaren, waarbij de voorgeschiedenis extreem droog is, kan de schade kleiner zijn dan 30%. Aangezien bij een bui van tussen de 80



tot 90 mm onder normale omstandigheden ($>50\%$ van de 37 jaren) de schade groter dan 30% is, kan deze bui als grenswaarden worden aangenomen.

Exacte interpolatie laat zien dat de kritische bui waarbij meer dan 30% schade optreedt 81 mm is. Samenvattend: onder gemiddelde omstandigheden zal een consumptie aardappelen perceel op zware zavel bij 81 mm neerslag of meer een opbrengstvermindering laten zien van meer dan 30%.

Voor de 84 gewas-bodem combinaties zijn op deze manier de grenswaarden bepaald waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt. De resultaten zijn te zien in Tabel 7, Tabel 8 en Tabel 9 voor respectievelijk de 1-daagse, 2-daagse en 4-daagse neerslagsommen. Uit deze resultaten blijkt dat voor een aantal bodem-gewas combinaties de grenswaarden niet oplopen bij toenemende meerdaagse neerslagsommen. De reden daarvoor is dat de berekende opbrengstderving het resultaat is van een dynamische modelstudie. De hydrologische voorgeschiedenis is daarbij van groot belang. Hierdoor kan het in een aantal jaren voorkomen dat de voorgeschiedenis van de 1-daagse buien droger is dan de meerdaagse buien waardoor de grenswaarde van de 1-daagse bui uiteindelijk hoger uitvalt. Daarnaast is de verhouding van de buien bij de meerdaagse sommen gebleven zoals deze oorspronkelijk was, waarbij de intensiteit is opgeschaald. De verhouding van de buien kan echter van invloed zijn op de berekende opbrengstderving. Geadviseerd wordt de tabellen in de praktijk dusdanig te gebruiken dat de grenswaarden oplopen, of op zijn minst hetzelfde blijven, met oplopende neerslagduren.

Voor de verzekering is het naast de (op zichzelf staande) herhalingstijden van de grenswaarden voor 1-daagse, 2-daagse en 4-daagse neerslagsommen ook belangrijk te weten wat de gecombineerde kans is. Oftewel hoe vaak komt het voor dat zowel de grenswaarde van de 1-daagse als de 2-daagse en 4-daagse neerslagsom wordt overschreden. Bekend is dat de afhankelijkheid van deze gebeurtenissen toeneemt naarmate de herhalingstijd groter wordt. Op basis van dit onderzoek is het echter niet mogelijk om hier harde uitspraken over te doen. Geadviseerd wordt om uit te gaan van de meest voorkomende kans van elk van deze 3 gebeurtenissen.

De belangrijkste conclusies uit deze resultaten kunnen worden samengevat tot:

- Het 10^e en 90^e percentiel van de grenswaarden voor alle 84 gewas-bodem combinaties is respectievelijk 55 mm ($T = 11$ jaar) en 113 mm ($T > 1000$ jaar) voor 1-daagse sommen.
- Het 20^e en 80^e percentiel van de grenswaarden voor alle 84 gewas-bodem combinaties is respectievelijk 66 mm ($T = 32$ jaar) en 96 mm ($T = 432$ jaar) voor 1-daagse sommen.
- Het 10^e en 90^e percentiel van de grenswaarden voor alle 84 gewas-bodem combinaties is respectievelijk 67 mm ($T = 12$ jaar) en 128 mm ($T > 1000$ jaar) voor 2-daagse sommen.
- Het 20^e en 80^e percentiel van de grenswaarden voor alle 84 gewas-bodem combinaties is respectievelijk 72 mm ($T = 18$ jaar) en 109 mm ($T = 355$ jaar) voor 2-daagse sommen.
- Het 10^e en 90^e percentiel van de grenswaarden voor alle 84 gewas-bodem combinaties is respectievelijk 77 mm ($T = 8$ jaar) en 141 mm ($T > 1000$ jaar) voor 4-daagse sommen.
- Het 20^e en 80^e percentiel van de grenswaarden voor alle 84 gewas-bodem combinaties is respectievelijk 85 mm ($T = 15$ jaar) en 117 mm ($T = 183$ jaar) voor 4-daagse sommen.
- De variatie in grenswaarden voor natschade is vele malen groter tussen de 7 bodems dan tussen de 12 gewassen.



- Natschade treedt vaker op bij meerdaagse sommen wat verklaard kan worden door de nattere hydrologische voorgeschiedenis.
- De veen en leemgronden zijn het meest gevoelig voor natschade.
- De zandgronden zijn het minst gevoelig voor natschade en dagelijkse buien van boven de 100 mm geven pas opbrengstvermindering boven de 30%.
- Suikerbieten en graszaad zijn relatief gevoelig voor natschade wat grotendeels verklaard kan worden door de lange teeltperiode.
- Zomergraan en peulvruchten zijn relatief ongevoelig voor natschade.

De resultaten in mm neerslag zijn met behulp van de neerslagstatistieken zoals beschreven in hoofdstuk 4.2 omgezet naar herhalingstijden. Tabel 10, Tabel 11 en Tabel 12 laten de herhalingstijden zien die horen bij de grenswaarden zoals aangegeven in Tabel 7, Tabel 8 en Tabel 9 voor respectievelijk de 1-daagse, 2-daagse en 4-daagse neerslagsommen. Uit deze tabellen blijkt dat er grote verschillen optreden in de herhalingstijden van het voorkomen van 30% of meer schade. Deze verschillen zijn enerzijds te verklaren door de verschillen in kritische neerslag (zoals te zien in Tabel 7, Tabel 8 en Tabel 9), maar vooral door het niet-lineaire karakter van de extreme neerslagstatistieken.

Tabel 7. Neerslagintensiteiten (in mm) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt (1-daagse sommen).

	1 consaard	2 graszaad	3 pootaard	4 snijmais	5 suikerbiet	6 wintergraan	7 winterpeen	8 zaaiui	9 zetmeelaard	10 zomergraan	11 peulvruchten	12 fruitbomen
1 veen	72	30	83	72	28	29	69	72	75	79	81	36
2 zand	121	106	127	124	93	118	113	98	121	138	155	145
3 lichte_zavel	97	94	98	100	94	96	96	96	96	103	99	96
4 zware_zavel	81	79	87	84	78	81	81	83	79	91	87	84
5 lichte_klei	69	68	78	91	63	75	71	69	69	86	86	79
6 zware_klei	73	46	85	96	48	66	83	69	79	99	88	75
7 leem	63	62	68	64	55	63	53	62	64	67	66	55

Tabel 8. Neerslagintensiteiten (in mm) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt (2-daagse sommen).

	1 consaard	2 graszaad	3 pootaard	4 snijmais	5 suikerbiet	6 wintergraan	7 winterpeen	8 zaaiui	9 zetmeelaard	10 zomergraan	11 peulvruchten	12 fruitbomen
1 veen	81	44	91	84	41	41	68	74	81	88	88	44
2 zand	152	132	125	136	111	125	185	128	168	225	173	158
3 lichte_zavel	104	96	109	109	101	96	101	104	104	113	113	97
4 zware_zavel	87	83	98	95	82	82	91	86	86	105	105	86
5 lichte_klei	71	67	80	96	66	76	69	79	75	106	94	78
6 zware_klei	81	51	93	111	62	82	92	84	89	109	95	95
7 leem	72	69	73	74	67	68	72	70	72	77	79	71



Tabel 9. Neerslagintensiteiten (in mm) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt (4-daagse sommen).

	1 constaard	2 graszaad	3 pootaard	4 snijmais	5 suikerbiet	6 wintergraan	7 winterpeen	8 zaaiui	9 zetmeelaard	10 zomergraan	11 peulvruchten	12 fruitbomen
1 veen	79	64	108	89	62	54	75	81	79	101	102	66
2 zand	125	125	255	154	141	215	178	158	125	275	265	265
3 lichte_zavel	111	112	117	117	109	112	111	113	113	122	118	112
4 zware_zavel	102	103	104	105	105	102	104	100	103	109	107	105
5 lichte_klei	85	89	97	113	82	91	91	89	87	111	101	96
6 zware_klei	88	66	108	128	76	91	101	91	101	125	123	99
7 leem	82	77	90	86	78	75	78	86	85	91	93	78

Tabel 10. Herhalingstijden (in jaren) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt (1-daagse sommen). Hierbij is een maximum herhalingstijd van 1000 jaren gehanteerd.

	1 constaard	2 graszaad	3 pootaard	4 snijmais	5 suikerbiet	6 wintergraan	7 winterpeen	8 zaaiui	9 zetmeelaard	10 zomergraan	11 peulvruchten	12 fruitbomen
1 veen	53	1	139	55	1	1	41	53	71	98	115	1
2 zand	1000	886	1000	1000	316	1000	1000	480	1000	1000	1000	1000
3 lichte_zavel	455	370	494	557	355	439	417	406	427	683	547	439
4 zware_zavel	117	96	200	156	88	115	116	135	98	285	200	151
5 lichte_klei	41	40	88	285	25	71	48	40	43	190	187	101
6 zware_klei	58	5	168	432	6	33	139	43	101	542	220	71
7 leem	24	22	37	28	11	25	9	22	26	35	32	11

Tabel 11. Herhalingstijden (in jaren) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt (2-daagse sommen). Hierbij is een maximum herhalingstijd van 1000 jaren gehanteerd.

	1 constaard	2 graszaad	3 pootaard	4 snijmais	5 suikerbiet	6 wintergraan	7 winterpeen	8 zaaiui	9 zetmeelaard	10 zomergraan	11 peulvruchten	12 fruitbomen
1 veen	38	1	90	51	1	1	13	23	38	70	68	1
2 zand	1000	1000	1000	1000	420	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
3 lichte_zavel	255	134	355	373	194	132	204	253	255	492	506	150
4 zware_zavel	65	47	160	126	42	43	94	62	61	271	271	59
5 lichte_klei	17	12	35	141	11	27	14	34	25	285	113	30
6 zware_klei	39	3	108	437	7	42	101	49	75	373	126	126
7 leem	18	15	20	22	12	12	18	15	18	29	34	16



Tabel 12. Herhalingstijden (in jaren) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt (4-daagse sommen). Hierbij is een maximum herhalingstijd van 1000 jaren gehanteerd.

	1 conzaard	2 graszaad	3 pootaard	4 snijmais	5 suikerbiet	6 wintergraan	7 winterpeen	8 zaaiui	9 zetmeelaard	10 zomergraan	11 peulvruchten	12 fruitbomen
1 veen	9	3	89	20	2	1	7	11	9	55	57	3
2 zand	341	341	1000	1000	1000	1000	1000	1000	341	1000	1000	1000
3 lichte_zavel	113	123	190	183	97	123	113	135	138	269	199	123
4 zware_zavel	60	63	70	73	71	59	65	48	62	96	83	71
5 lichte_klei	15	20	40	137	11	25	25	20	17	119	55	37
6 zware_klei	19	3	95	413	7	25	55	25	55	341	282	47
7 leem	11	8	23	15	8	7	8	16	15	25	29	8

5.2 Droogteschade

De droogteschade is voor dezelfde 12 gewassen en 7 bodemsoorten bepaald als gebruikt bij de natschade (paragraaf 5.1). Voor de droogteschade is wederom gebruik gemaakt van de 37-jarige (1971-2007) meteorologische reeks van neerslag en verdamping van De Bilt. Binnen het zomerhalfjaar (april – september) is de neerslag dusdanig geschaald dat er in het zomerhalfjaar neerslagtekorten optreden van 50 mm tot en met 500 mm, oplopend in stappen van 50 mm. Neerslagtekort is gedefinieerd als de referentieverdamping zoals bepaald door het KNMI volgens de methode Makkink minus de neerslag. De verhouding tussen de buien zoals deze in de oorspronkelijke reeks aanwezig was is hierbij behouden gebleven.

Om de grenswaarden van 30% opbrengstvermindering te bepalen zijn de 84 modellen iteratief doorgerekend met neerslagtekorten van 50 mm tot en met 500 mm, met intervallen van 50 mm. Aangezien dezelfde hoeveelheid neerslagtekort in het ene geval wel schade kan opleveren en in het andere geval niet (ten gevolge van verschillend hydrologische voorgeschiedenis) zijn er weer 37 jaar doorgerekend. Uitgaande van het huidige klimaat geeft de reeks van 37 jaar aan wat de kans in de nabije toekomst is op schade bij een bepaalde bui. Indien we de 37 jaar als representatief veronderstellen voor de variatie in hydrologische voorgeschiedenis is de kans op het optreden van één van deze 37 jaar in de toekomst even groot. Er kan daarom gesteld worden dat indien in ten minste 18.5 van de 37 jaren (oftewel 50%) tenminste 30% opbrengstvermindering optreedt dit de grenswaarde voor droogteschade aangeeft.

Een uitgewerkt voorbeeld voor een bepaald gewas (gewas 1: consumptie aardappelen) op een bepaalde bodem (bodem2: zand) zal de methodiek verduidelijken. De te verwachte schade voor deze combinatie van gewas en bodem, voor de 10 neerslagtekorten is te zien in Figuur 13. Uit deze figuur is te zien dat de droogteschade oploopt bij een toenemend neerslagtekort. In bijlage 4 zijn de grafieken voor alle gewas-bodemcombinaties weergegeven.

Uit Figuur 13 blijkt dat bij ongeveer 200 mm neerslagtekort de schade rond de 30% bedraagt voor consumptie aardappelen op zand. Er is niet extreem veel variatie tussen de 37 jaren. Exacte interpolatie laat zien dat de grenswaarde waarbij 30% schade optreedt 214 mm is. Samenvattend: onder gemiddelde omstandigheden zal een consumptie aardappelen perceel op zand bij een neerslagtekort van 214 mm of meer een opbrengstvermindering laten zien van meer dan 30%. Om een indruk te geven hoe vaak een dergelijk neerslagtekort optreedt hier

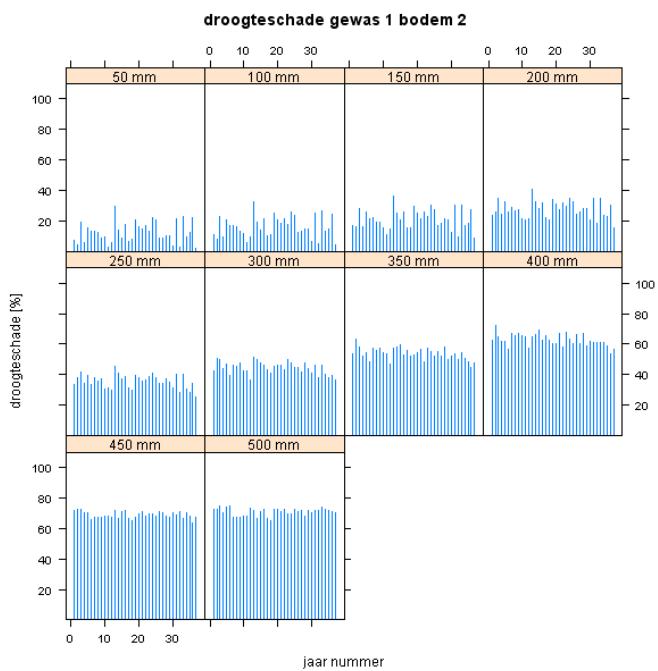


enkele cijfers van droge zomers in het verleden. In 1976 (record jaar qua droogte) bedroeg het totale neerslagtekort gedurende het zomerhalfjaar gemiddeld over 13 meteorologische stations over heel Nederland 320 mm. In 2003 was dit 230 mm, in 2006 120 mm (met een piek van 200 mm eind juli) en in 2008 110 mm (met een piek van 150 mm eind juni).

Voor de 84 gewas-bodem combinaties zijn op deze manier de grenswaarden van neerslagtekorten bepaald waarbij meer dan 30% schade optreedt. De resultaten zijn te zien in Tabel 13. De belangrijkste conclusies uit deze resultaten kunnen worden samengevat tot:

- Het 10^e en 90^e percentiel van de grenswaarden voor droogteschade voor alle 84 gewas-bodem combinaties is respectievelijk 214 mm ($T = 16$ jaar) en 500 mm ($T > 1000$ jaar).
- Het 20^e en 80^e percentiel van de grenswaarden voor droogteschade voor alle 84 gewas-bodem combinaties is respectievelijk 237 mm ($T = 26$ jaar) en 475 mm ($T = 100$ jaar).
- De variatie in grenswaarden voor droogteschade is vele malen groter tussen de 7 bodems dan tussen de 12 gewassen.
- De zware klei en zandgronden zijn het meest gevoelig voor droogteschade.
- De lichte zavel en veengronden zijn het minst gevoelig voor droogteschade.
- De gewassen aardappel, graszaad en peulvruchten zijn het meest droogtegevoelig.
- De gewassen suikerbiet en zaaiui het minst droogtegevoelig.

De resultaten in mm neerslagtekort zijn met behulp van de droogtestatistieken zoals beschreven in hoofdstuk 4.3 omgezet naar herhalingstijden. Tabel 14 laat deze herhalingstijden zien. Uit deze tabel blijkt dat er grote verschillen optreden in de herhalingstijden van het voorkomen van 30% of meer opbrengstvermindering. Deze verschillen zijn enerzijds te verklaren door de verschillen in kritische neerslagtekorten (zoals te zien in Figuur 13), maar vooral door het extreme niet-lineaire karakter van de droogtestatistieken.



Figuur 13. Te verwachten droogteschade voor consumptie aardappelen op zand voor 10 neerslagtekorten.



Tabel 13. Neerslagtekorten (in mm) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt.

	<i>1 consaard</i>	<i>2 graszaad</i>	<i>3 pootaard</i>	<i>4 snijmais</i>	<i>5 suikerbiet</i>	<i>6 wintergraan</i>	<i>7 winterpeen</i>	<i>8 zaaiui</i>	<i>9 zetmeelaard</i>	<i>10 zomergraan</i>	<i>11 peulvruchten</i>	<i>12 fruitbomen</i>
<i>1 veen</i>	500	500	475	500	475	500	500	475	475	500	475	440
<i>2 zand</i>	214	208	209	227	330	236	251	392	218	237	204	224
<i>3 lichte_zavel</i>	413	413	423	500	475	475	500	475	422	500	484	398
<i>4 zware_zavel</i>	366	367	367	420	500	437	483	475	371	484	379	385
<i>5 lichte_klei</i>	273	265	273	313	422	301	329	500	279	319	270	293
<i>6 zware_klei</i>	202	186	201	215	323	215	238	373	210	229	197	216
<i>7 leem</i>	323	318	324	371	500	374	401	475	328	401	331	362

Tabel 14. Kansen (in jaren) waarbij meer dan 30% opbrengstvermindering optreedt. Hierbij is een maximum herhalingstijd van 1000 jaren gehanteerd.

	<i>1 consaard</i>	<i>2 graszaad</i>	<i>3 pootaard</i>	<i>4 snijmais</i>	<i>5 suikerbiet</i>	<i>6 wintergraan</i>	<i>7 winterpeen</i>	<i>8 zaaiui</i>	<i>9 zetmeelaard</i>	<i>10 zomergraan</i>	<i>11 peulvruchten</i>	<i>12 fruitbomen</i>
<i>1 veen</i>	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
<i>2 zand</i>	16	13	14	22	132	26	33	469	18	26	12	21
<i>3 lichte_zavel</i>	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	541
<i>4 zware_zavel</i>	242	249	249	1000	1000	1000	1000	1000	273	1000	337	396
<i>5 lichte_klei</i>	43	40	43	88	1000	59	129	1000	46	105	42	52
<i>6 zware_klei</i>	11	8	10	16	116	17	27	289	14	23	10	17
<i>7 leem</i>	115	102	117	274	1000	297	620	1000	127	620	136	221



6 Conclusies

De resultaten zoals gepresenteerd in dit rapport zijn het resultaat van analyses gebaseerd op de meest recente wetenschappelijk methoden en technieken.

Er is uitgegaan van het SWAP model, dat nationaal en internationaal gezien wordt als het meest fysisch gebaseerd model voor processen op het gebied van bodem-water-plant relaties.

Er is uitgebreid aandacht besteed aan kansen op het optreden van nat- en droogteschade en er is rekening gehouden met de natuurlijke variatie in weersomstandigheden door gebruik te maken van een reeks van 37 jaar.

Om tot de in dit rapport gepresenteerde grenswaarden te komen zijn in totaal 111.888 jaren doorgerekend voor de natschade (12 gewassen, 7 bodems, 12 neerslagintensiteiten, 37 jaren, 3 neerslag daagse-overschrijding) en 31.080 jaren voor de droogteschade (12 gewassen, 7 bodems, 10 neerslagtekorten, 37 jaren). De kans op mogelijke overcompensatie van de verzekering is hierdoor uitermate klein en zal onder normale omstandigheden niet voorkomen.

De belangrijkste conclusies van deze studie zijn:

- De variatie in grenswaarden wordt voornamelijk bepaald door het bodemtype en minder door het soort gewas
- Natschade berekend op basis van meerdaagse sommen treedt vaker op dan natschade op basis van 1 daagse sommen. Dit is te verklaren uit het feit dat bij meerdaagse sommen de hydrologische voorgeschiedenis natter is.
- De herhalingstijden die horen bij de grenswaarden zijn voor de 84 bodem-gewas combinaties sterk verschillend. Dit wordt met name veroorzaakt door het sterke niet lineaire karakter van de extremenstatistiek voor neerslag en droogte.

De resultaten worden daarom als betrouwbaar geacht rekening houdend met de volgende aannames:

- De berekende grenswaarden zijn gebaseerd op het huidige klimaat. Er mag van worden uitgegaan dat de korte termijn veranderingen (< 10 jaar) al aanwezig zijn in de gebruikte 37-jarige klimaatreeks en de grenswaarden op de korte termijn niet zullen veranderen. Mogelijke effecten door klimaatsverandering zijn in dit rapport aangegeven.
- Schade treedt vaak op door lokale perceel-specifieke omstandigheden (onvoldoende afwateringsmogelijkheden, storende lagen in bodems). In de analyses zoals gepresenteerd in dit rapport is uitgegaan van gemiddelde omstandigheden. Het is daarom mogelijk dat er locaties zijn waar meer, of minder, schade optreedt dan voorzien.
- In het geval van droogteschade is geen rekening gehouden met mogelijke beregeling. Dit is mede gedaan om het feit dat er in tijden van extreme droogte vaak een beregeningsverbod (met name uit oppervlaktewater) wordt afgekondigd en de toepassing van beregeling regionaal verschilt.
- Alle 84 gewas-bodemcombinaties zijn in deze studie meegenomen, echter niet alle gewas-bodemcombinaties zullen in de praktijk voorkomen.
- Er is in deze studie per gewas uitgegaan van de algemene gewaskenmerken. Binnen elk gewas zijn uiteraard diverse rassen te onderscheiden die elk verschillend op droogte en natschade kunnen reageren.
- De worteldiepte per gewas is onafhankelijk van lokale omstandigheden verondersteld. In werkelijkheid zal de plant zich ook aanpassen aan de hydrologische



voorgeschiedenis (met name in geval van droogte) als mede aan locale bodemgesteldheid.

- De zaai- en oogstdatum is per gewas constant genomen. In werkelijkheid zal een agrariër de zaai- en oogstdatum aanpassen aan de hydrologische omstandigheden.



7 Referenties

- Bastiaanssen, W.G.M., R.G. Allen, P. Droogers, G.D'Urso and P. Steduto, 2007. Twenty-five years modeling irrigated and drained soils: state of the art. *Agric. Water Manage.* 92: 111-125.
- Beersma, J.J., T.A. Buishand. 2002. Droog, droger, droogst: bijdrage van het KNMI aan de eerste fase van de Droogtestudie Nederland. KNMI-publicatie 199-I. KNMI, De Bilt.
- Beersma, J.J., T.A. Buishand, H. Buiteveld. 2004. Droog, droger, droogst: KNMI/RIZA-bijdrage aan de tweede fase van de Droogtestudie Nederland. KNMI-publicatie 199-II. KNMI, De Bilt.
- Broek, B.J. van den, and P. Kabat, 1995. SWACROP: dynamic simulation model of soil water and crop yield applied to potatoes. In 'Modeling and parameterization of the Soil-Plant-Atmosphere System. A comparison of potato growth models', P. Kabat, B. Marshall, B.J. van den broek, J. Vos and H. van Keulen (Eds.), Wageningen Press, p. 299-334.
- Buishand, T.A., R. Jilderda, J.B. Wijngaard, 2009. Regionale verschillen in Extreme Neerslag. Scientific report ; WR 2009-01, KNMI. De Bilt.
- Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO. 1986. Verklarende hydrologische woordenlijst. Serie: Rapporten en nota's nr. 16. 's-Gravenhage.
- Droogers, P. en J. den Besten. 2006. Droogte- en natschade onder wijzigende afvoernormen. *H2O Tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer* 4:31-34.
- Droogers, P., 2000. Estimating actual evapotranspiration using a detailed agro-hydrological model. *J. Hydrol.*, 229: 50-58.
- Droogers, P. en Loeve, R. 2005. Natschade bij optimale afwatering. Waterschap Hunze en Aa's. FutureWater rapport, Wageningen, 41p
- Droogers, P. 2008. Wateropgave droogte KNMI'06 klimaatscenario's, Hunze en Aa's. FutureWater rapport 75.
- Feddes, R.A., and J.C. van Dam, 1997. Modelling of water flow and salt transport for irrigation management and drainage design. In 'Water management, salinity and pollution control towards sustainable irrigation in the Mediterranean region', Int. Conf., Sept. 1997, Bari, Italy, p. 145-179.
- Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978. Simulation of field water use and crop yields. Simulation monographs. Universiteit Wageningen, Pudoc.
- Groen, G., 2007. Extreme zomerneerslag 2006 en klimaatscenario's. Publicatie 215, KNMI, De Bilt.
- Klimaatatlas Nederland. 2002. De Normaalperiode 1971-2000. Samenstelling Dick Heijboer en Jon Nellestijn (KNMI). <http://www.knmi.nl/kd/normalen1971-2000>.
- KNMI, 2006. Klimaat in de 21 e eeuw, 'vier scenario's voor Nederland'. KNMI-brochure, De Bilt.
- Kroes, J.G. en J.C. van Dam (eds), 2003. Reference Manual SWAP version 3.0.3. Alterra-report 773, 211 pp, Alterra, Wageningen.
- Kroes, J.G., J.C. van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks and C.M.J. Jacobs, 2008. SWAP version 3.2. Theory description and user manual. Alterra-report 1649, 262 pp, Alterra, Research Institute, Wageningen, The Netherlands.
- Oosterom, L.C. 2004. Effectieve nat- en droogteschadereductie onmogelijk? Op zoek naar kosteneffectieve maatregelen voor schadereductie in regionale watersystemen. Rapport TU Delft en HKV.
- Postma, J., 1992. Kwantificering van de relatie tussen grondwaterstandsverloop en produktievermindering ten gevolge van wateroverlast op grasland. Rapport 190, DLO-Staring Centrum, Wageningen.



- Schuurmans, J. M., M.F.P Bierkens, E.J Pebesma en R. Uijlenhoet, 2007: Automatic prediction of high resolution daily rainfall fields for multiple extents: the potential of operational radar, *Journal of Hydrometeorology*, 8(6), pp. 1204-1224.
- Schuurmans, J.M., M.F.P. Bierkens, 2007: Belang van betere neerslaginformatie voor hydrologen. *H2O*, 40(12), pp. 27-29.
- STOWA, 2004a. Praktijktoepassing van het Waterlood-instrumentarium. Rapport 2004-03
- STOWA, 2004b. Statistiek van extreme neerslag in Nederland. Rapport 2004-26.
- Van der Bolt, F. En M. Kok, 2000. Hoogwaternormering regionale watersystemen: schademodellering. Commissie Waterbeheer 21e eeuw.
- WaterWatch, 2009. Ruimtelijke variatie in verdamping voor gewas-bodem combinaties op basis van SEBAL metingen.
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de Bodemkaart van Nederland, 1 : 250 000, ten behoeve van de Pawnstudie. Stiboka, Wageningen. Rapport 2055.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot, en J. Stolte, 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Alterra rapport 153, Wageningen.



Bijlage 1

SWAP invoer files:

- voorbeeld swap (*.swp) file
- voorbeeld drainage file (*.dra) file
- 12 gewas (*.crp) files)



Voorbeeld SWAP (*.SWP) file:

```
*****
* Filename: run.swp
* Data   : Feb-2009
* Author  : Peter Droogers, p.droogers@futurewater.nl
* Model   : SWAP2008
*****
***** The main input file .swp contains the following sections:
*      - General section
*      - Meteorology section
*      - Crop section
*      - Soil water section
*      - Lateral drainage section
*      - Bottom boundary section
*      - Heat flow section
*      - Solute transport section
*****
*** GENERAL SECTION ***
*****
* Part 1: Environment
PROJECT    = 'ZLTO'          ! Project description, [A80]
PATHWORK   = ' '              ! Path to work folder, [A80]
PATHATM    = 'meteo\'         ! Path to folder with weather files, [A80]
PATHCROP   = ' '              ! Path to folder with crop files, [A80]
PATHDRAIN  = ' '              ! Path to folder with drainage files, [A80]
SWSCRE    = 0                ! Switch, display progression of simulation run:
                             !   SWSCRE = 0: no display to screen
                             !   SWSCRE = 1: display water balance to screen
                             !   SWSCRE = 2: display daynumber to screen
SWERROR   = 0                ! Switch for printing errors to screen [Y=1, N=0]
*****
* Part 2: Simulation period
*
TSTART    = 01-jan-1971 ! Start date of simulation run, give day-month-year, [dd-mmm-yyyy]
TEND      = 31-dec-2007 ! End   date of simulation run, give day-month-year, [dd-mmm-yyyy]
*****
* Part 3: Output dates
* Number of output times during a day
NPRINTDAY = 1               ! Number of output times during a day, [1..1000, I]
* If NPRINTDAY = 1, specify dates for output of state variables and fluxes
SWMONTH   = 0                ! Switch, output each month, [Y=1, N=0]
* If SWMONTH = 0, choose output interval and/or specific dates
PERIOD    = 1               ! Fixed output interval, ignore = 0, [0..366, I]
SWRES     = 0                ! Switch, reset output interval counter each year, [Y=1, N=0]
SWODAT    = 0                ! Switch, extra output dates are given in table, [Y=1, N=0]
* If SWODAT = 1, list specific dates [dd-mmm-yyyy], maximum MAOUT dates:
OUTDATINT =
31-Jan-1980
31-Dec-1982
* End of table
* Output times for overall water and solute balances in *.BAL and *.BLC file
* Output can be provided at a fixed date in a year or at different dates:
SWYRVAR   = 0               ! SWYRVAR = 0: each year output of balances at the same date
                             ! SWYRVAR = 1: output of balances at different dates
* If SWYRVAR = 0 specify fixed date:
DATEFIX  = 31 12            ! Specify day and month for output of yearly balances, [dd mm]
* If SWYRVAR = 1 specify all output dates [dd-mmm-yyyy], maximum MAOUT dates:
OUTDAT   =
31-dec-1981
31-dec-1982
* End of table
*****
* Part 4: Output files
* General information
OUTFIL   = 'Result' ! Generic file name of output files, [A16]
SWHEADER = 0               ! Print header at the start of each balance period, [Y=1, N=0]
* Optional files
```



```

SWVAP = 0          ! Switch, output profiles of moisture, solute and temperature, [Y=1, N=0]
SWBLC = 0          ! Switch, output file with detailed yearly water balance, [Y=1, N=0]
SWATE = 0          ! Switch, output file with soil temperature profiles, [Y=1, N=0]
SWBMA = 0          ! Switch, output file with water fluxes, only for macropore flow, [Y=1, N=0]
SWDRF = 0          ! Switch, output of drainage fluxes, only for extended drainage, [Y=1, N=0]
SWSWB = 0          ! Switch, output surface water reservoir, only for extended drainage, [Y=1, N=0]
* Output for water quality models (PEARL, ANIMO) or other specific use (SWAFO to DZNEW)
* Optional output files
SWAFO = 0          ! Switch, output file with formatted hydrological data
! SWAFO = 0: no output
! SWAFO = 1: output to a file named *.AFO
! SWAFO = 2: output to a file named *.BFO

SWAUN = 0          ! Switch, output file with unformatted hydrological data
! SWAUN = 0: no output
! SWAUN = 1: output to a file named *.AUN
! SWAUN = 2: output to a file named *.BUN
* Critical deviation of water balance; in case of larger deviation, an error file is created
(*.DWB.CSV)
CRITDEVMASBAL = 0.00001 ! Critical Deviation in water balance during PERIOD [0.0..1.0 cm, R]
* If SWAFO = 1 or 2, or SWAUN = 1 or 2: fine vertical discretization can be lumped
SWDISCRVERT = 0      ! SWDISCRVERT = 0: no conversion
! SWDISCRVERT = 1: convert vertical discretization,
* If SWDISCRVERT = 1 then specify:
NUMNODNEW = 6        ! New number of nodes [1..macp, I, -]
* List thickness of each compartment, total thickness should correspond to Soil Water Section, part 4
DZNEW = 10.0 10.0 10.0 20.0 30.0 50.0 ! thickness of compartments [1.0d-6...5.0d2, cm, R]
***** METEOROLOGY SECTION ****
***** METEOROLOGY SECTION ****
* General data
* File name
METFIL = 'Bilt' ! File name of meteorological data without extension .YYY, [A200]
! Extension is equal to last 3 digits of year, e.g. 003 denotes year 2003
* Use of reference evapotranspiration data from meteorological file instead of basic data
SWETR = 1            ! Switch, use reference ET values of meteo file [Y=1, N=0]
* If SWETR = 0, specify:
LAT = 52.0           ! Latitude of meteo station, [-60..60 degrees, R, North = +]
ALT = 10.0            ! Altitude of meteo station, [-400..3000 m, R]
ALTW = 2.0            ! Altitude of wind speed measurement (10 m is default) [0..99 m, R]
* Use of detailed meteorological records for both ET and rainfall (< 1 day) in stead of daily values
SWMETDETAIL = 0       ! Switch, use detailed meteorological records of both ET and rainfall [Y=1, N=0]
* In case of detailed meteorological weather records (SWMETDETAIL = 1), specify:
NMETDETAIL = 10       ! Number of weather data records per day, [1..96 -, I]
* In case of daily meteorological weather records (SWMETDETAIL = 0):
SWETSINE = 0          ! Switch, distribute daily Tp and Ep according to sinus wave [Y=1, N=0]
SWRAIN = 0             ! Switch for use of actual rainfall intensity (only if SWMETDETAIL = 0):
! SWRAIN = 0: Use daily rainfall amounts
! SWRAIN = 1: Use daily rainfall amounts + mean intensity
! SWRAIN = 2: Use daily rainfall amounts + duration
! SWRAIN = 3: Use short time rainfall intensities, as supplied in separate
file
* If SWRAIN = 1, then specify mean rainfall intensity RAINFLUX [0.d0..1000.d0 mm/d, R]
* as function of time TIME [0..366 d, R], maximum 30 records
TIME     RAINFLUX
1.0      20.0
360.0    20.0
* End of table
* If SWRAIN = 3, then specify file name of file with detailed rainfall data
RAINFIL = 'WagRain'   ! File name of detailed rainfall data without extension .YYY, [A200]
! Extension is equal to last 3 digits of year, e.g. 003 denotes year 2003
***** CROP SECTION ****
***** CROP SECTION ****
* Part 1: Crop rotation scheme during simulation period
* Specify information for each crop (maximum MACROP):
* CROPTSTART = date of crop emergence, [dd-mmm-yyyy]
* CROPPEND = date of crop harvest, [dd-mmm-yyyy]
* CROPNAME = crop name, [A16]
* CROPFIL = name of file with crop input parameters without extension .CRP, [A16]
* CROPTYPE = type of crop model: simple = 1, detailed general = 2, detailed grass = 3
CROPTSTART    CROPPEND    CROPNAME    CROPFIL    CROPTYPE

```



```

2-jan-1971 30-dec-1971 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1972 30-dec-1972 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1973 30-dec-1973 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1974 30-dec-1974 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1975 30-dec-1975 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1976 30-dec-1976 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1977 30-dec-1977 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1978 30-dec-1978 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1979 30-dec-1979 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1980 30-dec-1980 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1981 30-dec-1981 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1982 30-dec-1982 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1983 30-dec-1983 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1984 30-dec-1984 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1985 30-dec-1985 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1986 30-dec-1986 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1987 30-dec-1987 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1988 30-dec-1988 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1989 30-dec-1989 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1990 30-dec-1990 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1991 30-dec-1991 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1992 30-dec-1992 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1993 30-dec-1993 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1994 30-dec-1994 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1995 30-dec-1995 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1996 30-dec-1996 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1997 30-dec-1997 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1998 30-dec-1998 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-1999 30-dec-1999 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-2000 30-dec-2000 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-2001 30-dec-2001 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-2002 30-dec-2002 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-2003 30-dec-2003 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-2004 30-dec-2004 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-2005 30-dec-2005 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-2006 30-dec-2006 'Fboom' 'Fboom' 1
2-jan-2007 30-dec-2007 'Fboom' 'Fboom' 1
* End of table
*****
***** Part 2: Fixed irrigation applications
***** Switch for fixed irrigation applications
      SWIRFIX = 0      ! SWIRFIX = 0: no irrigation applications are prescribed
      ! SWIRFIX = 1: irrigation applications are prescribed
*****
*** SOIL WATER SECTION ***
***** Part 1: Initial soil moisture condition
      SWINCO = 2 ! Switch, type of initial soil moisture condition:
      ! 1 = pressure head as function of depth is input
      ! 2 = pressure head of each compartment is in hydrostatic equilibrium
      !       with initial groundwater level
      ! 3 = read final pressure heads from output of previous Swap simulation
* If SWINCO = 1, specify (maximum MACP):
* ZI = soil depth, [-10000..0 cm, R]
* H = initial soil water pressure head, [-1.d10..1.d4 cm, R]
      ZI      H
      -0.5    -93.0
      -195.0   120.0
* End of table
* If SWINCO = 2, specify:
      GWLI = -75.0 ! Initial groundwater level, [-10000..100 cm, R]
* If SWINCO = 3, specify:
      INIFIL = 'result.end' ! name of final with extension .END [a200]
*****
***** Part 2: Ponding, runoff and runon
***** Ponding
      PONDMMX = 100. ! In case of ponding, minimum thickness for runoff, [0..1000 cm, R]
***** Runoff
      RSRO = 0.5 ! Drainage resistance for surface runoff [0.001..1.0 d, R]
      RSROEXP = 1.0 ! Exponent in drainage equation of surface runoff [0.1..10.0 -, R]
***** Runon

```



```

* Specify whether runon data are provided in extra input file
SWRUNON = 0 ! 0 = No input of runon data
            ! 1 = Runon data are provided in extra input file
*****
***** Part 3: Soil evaporation
*****
* SWCFBS = 1 ! Switch for use of soil factor CFBS to calculate Epot from ETref
            ! 0 = CFBS is not used
            ! 1 = CFBS is used
* If SWCFBS = 1, specify soil factor CFBS:
CFBS    = 1.0 ! Coefficient to derive Epot from ETref [0.1..1.5 -, R]
*
*
SWREDU = 1 ! Switch, method for reduction of potential soil evaporation:
            ! 0 = reduction to maximum Darcy flux
            ! 1 = reduction to maximum Darcy flux and to maximum Black (1969)
            ! 2 = reduction to maximum Darcy flux and to maximum Bo/Str. (1986)
COFRED = 0.35 ! Soil evaporation coefficient of Black, [0..1 cm/d1/2, R],
            ! or Boesten/Stroosnijder, [0..1 cm1/2, R]
RSIGNI = 0.5 ! Minimum rainfall to reset method of Black [0..1 cm/d, R]
*****
***** Part 4: Vertical discretization of soil profile
* Specify the following data (maximum MACP lines):
* ISOILLAY = number of soil layer, start with 1 at soil surface, [1..MAHO, I]
* ISUBLAY = number of sub layer, start with 1 at soil surface, [1..MACP, I]
* HSUBLAY = height of sub layer, [0.0..1000.0 cm, R]
* HCOMP = height of compartments in this layer, [0.0..1000.0 cm, R]
* NCOMP = number of compartments in this layer (= HSUBLAY/HCOMP), [1..MACP, I]
ISOILLAY ISUBLAY HSUBLAY HCOMP NCOMP
      1      1     10.0    1.0     10
      1      2     20.0     5.0     4
      2      3     30.0     5.0     6
      2      4    140.0    10.0    14
      2      5    300.0    50.0     6
      2      6    500.0   100.0     5
* end of table
*****
***** Part 5: Soil hydraulic functions
* Specify for each soil layer (maximum MAHO):
* ISOILLAY1 = number of soil layer, as defined in part 4 [1..MAHO, I]
* ORES = Residual water content, [0..0.4 cm3/cm3, R]
* OSAT = Saturated water content, [0..0.95 cm3/cm3, R]
* ALFA = Shape parameter alfa of main drying curve, [0.0001..1 /cm, R]
* NPAR = Shape parameter n, [1..4 -, R]
* KSAT = Saturated vertical hydraulic conductivity, [1.d-5..1000 cm/d, R]
* LEXP = Exponent in hydraulic conductivity function, [-25..25 -, R]
* ALFAW = Alfa parameter of main wetting curve in case of hysteresis, [0.0001..1 /cm, R]
* H_ENPR = Air entry pressure head [-40.0..0.0 cm, R]
ISOILLAY1 ORES OSAT ALFA NPAR KSAT LEXP ALFAW H_ENPR
1      0.00  0.40  0.0194  1.250  14.07 -0.802  0.0194  0.0
2      0.00  0.47  0.0136  1.342  9.08  -0.803  0.0136  0.0
* --- end of table
*****
***** Part 6: Hysteresis of soil water retention function
* Switch for hysteresis:
SWHYST = 0 ! 0 = no hysteresis
            ! 1 = hysteresis, initial condition wetting
            ! 2 = hysteresis, initial condition drying
*****
***** Part 7: Maximum rooting depth
RDS = 200.0 ! Maximum rooting depth allowed by the soil profile, [1..5000 cm, R]
*****
***** Part 8: Similar media scaling of soil hydraulic functions
SWSCAL = 0 ! Switch for similar media scaling [Y=1, N=0]; no hysteresis is allowed
            ! in case of similar media scaling (SWHYST = 0)
*****

```



```

*****
* Part 9: Preferential flow due to macropores

SWMACRO = 0      ! Switch for macropore flow, [0..2, I]:
! 0 = no macropore flow
! 1 = macropore flow
*
*****
* Part 10: Snow and frost
* Snow
SWSNOW = 0      ! Switch, calculate snow accumulation and melt, [Y=1, N=0]
* Frost
SWFROST = 0    ! Switch, in case of frost: reduce soil water flow, [Y=1, N=0]
*****
* Part 11 Numerical solution of Richards' equation
DTMIN       = 1.0d-6      ! Minimum timestep, [1.d-7..0.01 d, R]
DTMAX       = 0.2          ! Maximum timestep, [ 0.01..0.5 d, R]
GWLCONV     = 100.0        ! Maximum dif. groundwater level between iterations, [1.d-5..1000 cm, R]
CritDevPondDt = 1.0d-4    ! Maximum water balance error of ponding layer, [1.0d-6..0.1 cm, R]
MaxIt       = 30           ! Maximum number of iteration cycles, [5..100 -, I]
MaxBackTr   = 3            ! Maximum number of back track cycles within an iteration cycle, [1..10
-,I]
* Switch for mean of hydraulic conductivity, [1..4 -, I]:
* 1 = unweighted arithmetic mean; 2 = weighted arithmetic mean
* 3 = unweighted geometric mean; 4 = weighted geometric mean
SWkmean = 1

* Switch for explicit/implicit solution Richards equation with hydraulic conductivity, [1..2 -, I]:
SWkImpl = 0      ! 0 = explicit solution
! 1 = implicit solution
*****
*** LATERAL DRAINAGE SECTION ***
*****
* Specify whether lateral drainage to surface water should be included
SWDRA = 1        ! Switch, simulation of lateral drainage:
! 0 = No simulation of drainage
! 1 = Simulation with basic drainage routine
! 2 = Simulation of drainage with surface water management

* If SWDRA = 1 or SWDRA = 2 specify name of file with drainage input data:
DRFIL = 'run' ! File name with drainage input data without extension .DRA, [A16]
*****
*** BOTTOM BOUNDARY SECTION ***
*****
* Bottom boundary condition
SWBBCFILE = 0    ! Switch for file with bottom boundary conditions:
! SWBBCFILE = 0: data are specified in the .swp file
! SWBBCFILE = 1: data are specified in a separate file
* If SWBBCFILE = 1 specify name of file with bottom boundary conditions:
BBCFIL = ''      ! File name without extension .BBC [A16]
* If SWBBCFILE = 0, select one of the following options:
! 1 Prescribe groundwater level
! 2 Prescribe bottom flux
! 3 Calculate bottom flux from hydraulic head of deep aquifer
! 4 Calculate bottom flux as function of groundwater level
! 5 Prescribe soil water pressure head of bottom compartment
! 6 Bottom flux equals zero
! 7 Free drainage of soil profile
! 8 Free outflow at soil-air interface
SWBOTB = 6       ! Switch for bottom boundary [1..8,-,I]
* Options 6,7 and 8 require no additional bottom input data
*****
* SWBOTB = 1 Prescribe groundwater level
* specify DATE [dd-mmm-yyyy] and groundwater level [cm, -10000..1000, R]
DATE1      GWLEVEL      ! (max. MABC records)
01-jan-1981 -95.0
31-dec-1983 -95.0
* End of table
*****
*** HEAT FLOW SECTION ***

```



```
*****
* Part 1: Specify whether simulation includes heat flow
  SWHEA = 0 ! Switch for simulation of heat transport, [Y=1, N=0]
*****
*** SOLUTE SECTION ***
*****
* Part 1: Specify whether simulation includes solute transport
  SWSOLU = 0 ! Switch for simulation of solute transport, [Y=1, N=0]
*****
* End of the main input file .SWP!
```



Voorbeeld drainage (*.dra) file

```
*****
* Filename: ZLTO.DRA
* Contents: SWAP input data for basic and extended drainage
*****
* Comment area:
*
*****
*** BASIC DRAINAGE SECTION ***
*****
* Part 0: General
  DRAMET = 3 ! Switch, method of lateral drainage calculation:
*           METHOD 1 = Use table of drainage flux - groundwater level relation
*           METHOD 2 = Use drainage formula of Hooghoudt or Ernst
*           METHOD 3 = Use drainage/infiltration resistance, multi-level if needed
  SWDIVD = 1 ! Calculate vertical distribution of drainage flux in groundwater [Y=1, N=0]
* If SWDIVD = 1, specify anisotropy factor COFANI (horizontal/vertical saturated hydraulic
* conductivity) for each soil layer (maximum MAHO), [0..1000 -, R] :
  COFANI =    1.0    1.0
* Switch to adjust upper boundary of model discharge layer [Y=1, N=0]
  SWDISPLAY = 0
*****
* METHOD 3 - Part 3: Drainage and infiltration resistance (DRAMET = 3)
  NRLEVS = 2          ! Number of drainage levels, [1..5, I]
* Option for interflow in highest drainage level (shallow system with short residence time)
  SWINTFL = 0          ! Switch for interflow [0,1, I]
* If SWINTFL = 1, specify:
  COFINTFLB = 0.5    ! Coefficient for interflow relation [0.01..10.0 d, R]
  EXPINTFLB = 1.0      ! Exponent for interflow relation [0.1..1.0 -, R]
*****
* Part 3a: Drainage to level 1
  DRARES1 =   20.000  ! Drainage resistance, [10..1d5 d, R]
  INFRES1 = 10000.0   ! Infiltration resistance, [0..1d5 d, R]
  SWALLO1 =    3       ! Switch, for allowance drainage/infiltration:
*           ! 1 = Drainage and infiltration are both allowed
*           ! 2 = Drainage is not allowed
*           ! 3 = Infiltration is not allowed
* If SWDIVD = 1 (drainage flux vertically distributed), specify the drain spacing:
  L1 = 20.          ! Drain spacing, [1..1000 m, R]
  ZBOTDR1 = -30.0  ! Level of drainage medium bottom, [-1000..0 cm, R]
  SWDTYP1 = 2        ! Type of drainage medium: 1 = drain tube, 2 = open channel
*
* In case of open channel (SWDTYP1 = 2), specify date DATOWL1 [dd-mmm-yyyy] and channel
* water level LEVEL1 [cm, negative if below soil surface], maximum MAOWL records:
  DATOWL1  LEVEL1
  01-jan-1971    -50.0
  31-dec-2007    -50.0
* End of table
*****
* Part 3b: Drainage to level 2
  DRARES2 =   60.000  ! Drainage resistance, [10..1E5 d, R]
  INFRES2 = 100.000   ! Infiltration resistance, [0..1E5 d, R]
  SWALLO2 =    3       ! Switch, for allowance drainage/infiltration:
*           ! 1 = Drainage and infiltration are both allowed
*           ! 2 = Drainage is not allowed
*           ! 3 = Infiltration is not allowed
* If SWDIVD = 1 (drainage flux vertically distributed), specify the drain spacing:
  L2 = 20.          ! Drain spacing, [1..1000 m, R]
  ZBOTDR2 = -120.000 ! Level of drainage medium bottom, [-1000..0 cm, R]
  SWDTYP2 = 2        ! Type of drainage medium: 1 = drain tube, 2 = open channel
* In case of open channel (SWDTYP2 = 2), specify date DATOWL2 [dd-mmm-yyyy] and channel
* water level LEVEL2 [cm, negative if below soil surface], maximum MAOWL records:
  DATOWL2  LEVEL2
  01-jan-1971    -100.000
  31-dec-2007    -100.000
* End of table
*****
* End of .dra file!
```



De 12 gewas (*.crp) files

```
*****
* Filename: Zgraan.crp (zomergraan)
* Data   : Feb-2009
* Author  : Peter Droogers, p.droogers@futurewater.nl
* Model   : SWAP2008
*****
*** PLANT GROWTH SECTION ***
*****
* Part 1: Crop development
  IDEV = 1 ! length of crop cycle: 1 = fixed, 2 = variable
* If fixed growth length (IDEV = 1), specify:
  LCC = 185 ! Length of the crop cycle [1..366 days, I]
* If variable growth length (IDEV = 2), specify:
  TSUMEA = 800.0 ! Temperature sum from emergence to anthesis [0..10000 C, R]
  TSUMAM = 750.0 ! Temperature sum from anthesis to maturity [0..10000 C, R]
  TBASE = 0.0 ! Start value of temperature sum [-10..30 C, R]
*****
* Part 2: Light extinction
  KDIF = 0.60 ! Extinction coefficient for diffuse visible light [0..2 -, R]
  KDIR = 1.0 ! Extinction coefficient for direct visible light [0..2 -, R]
*****
* Part 3: Leaf area index or soil cover fraction
  SWGC = 1 ! choice between LAI [=1] or soil cover fraction [=2]
* If SWGC = 1, list leaf area index [0..12 ha/ha, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* If SWGC = 2, list soil cover fraction [0..1 m2/m2, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
*      DVS LAI or SCF (maximum 36 records)
  GCTB =
    0.00 0.03
    0.50 0.30
    0.75 1.97
    1.00 3.00
    1.50 2.70
    2.00 0.00
* End of table
*****
* Part 4: crop factor or crop height
  SWCF = 1 ! choice between crop factor [=1] or crop height [=2]
* Choose crop factor if ETref is used, either from meteo input file (SWETR = 1) or with Penman-Monteith
* Choose crop height if Penman-Monteith should be used with actual crop height, albedo and resistance
* If SWCF = 1, list crop factor CF [0.5..1.5, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* If SWCF = 2, list crop height CH [0..1000 cm, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* (maximum 36 records)
    DVS CF
  0.00 1.15
  0.50 1.15
  0.75 1.15
  1.00 1.15
  1.50 1.15
  2.00 1.15
* End of table
* If SWCF = 2, in addition to crop height list crop specific values for:
  ALBEDO = 0.23 ! crop reflection coefficient [0..1.0 -, R]
  RSC = 70.0 ! Minimum canopy resistance [0..10^6 s/m, R]
*****
* Part 5: rooting depth
* List rooting depth [0..1000 cm, R], as a function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS RD (maximum 36 records)
  RDTB =
    0.00 10.0
    0.50 30.0
    0.75 40.0
    1.00 60.0
    1.50 60.0
    2.00 60.0
* End of table
*****
```



```

* Part 6: yield response
*
* List yield response factor [0..5 -,R], as function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS   KY   (maximum 36 records)
KYTB =
    0.00    1.15
    0.50    1.15
    0.75    1.15
    1.00    1.15
    1.50    1.15
    2.00    1.15
* End of table
*****
***** Part 7: soil water extraction by plant roots
HLIM1 =      0.0 ! No water extraction at higher pressure heads, [-100..100 cm, R]
HLIM2U =     -1.0 ! h below which optimum water extr. starts for top layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM2L =     -1.0 ! h below which optimum water extr. starts for sub layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM3H =    -500.0 ! h below which water uptake red. starts at high Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM3L =    -500.0 ! h below which water uptake red. starts at low Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM4 =   -3000.0 ! No water extraction at lower pressure heads, [-16000..100 cm, R]
ADCRH =      0.5 ! Level of high atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
ADCRL =      0.1 ! Level of low atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
*****
***** Part 8: salt stress
ECMAX =      6.0 ! ECsat level at which salt stress starts, [0..20 dS/m, R]
ECSLOP =      4.0 ! Decline of rootwater uptake above ECMAX [0..40 %/dS/m, R]
*****
***** Part 9: interception
SWINTER = 1 ! Switch for rainfall interception method:
! 0 = No interception calculated
! 1 = Agricultural crops (Von Hoyningen-Hune and Braden)
! 2 = Closed forest canopies (Gash)
* In case of interception method for agricultural crops (SWINTER = 1) specify:
COFAB = 0.25 ! Interception coefficient Von Hoyningen-Hune and Braden, [0..1 cm, R]
*****
***** Part 10: Root density distribution and root growth
* List relative root density [0..1 -, R], as function of rel. rooting depth [0..1 -, R]:
*      Rdepth Rdensity (maximum 11 records)
RDCTB =
    0.00    1.00
    0.50    1.00
    1.00    1.00
* End of table
*****
*** IRRIGATION SCHEDULING SECTION ***
*****
* Part 1: General
SCHEDULE = 0 ! Switch for application irrigation scheduling [Y=1, N=0]
* If SCHEDULE = 0, no more information is required in this input file!
*****
* End of .crp file !

*****
* Filename: Wgraan.crp (zomergraan)
* Data : Feb-2009
* Author : Peter Droogers, p.droogers@futurewater.nl
* Model : SWAP2008
*****
*** PLANT GROWTH SECTION ***
*****
* Part 1: Crop development
IDEV = 1 ! length of crop cycle: 1 = fixed, 2 = variable
* If fixed growth length (IDEV = 1), specify:
LCC = 350 ! Length of the crop cycle [1..366 days, I]
* If variable growth length (IDEV = 2), specify:

```



```

TSUMEA = 800.0      ! Temperature sum from emergence to anthesis [0..10000 C, R]
TSUMAM = 750.0      ! Temperature sum from anthesis to maturity [0..10000 C, R]
TBASE  = 0.0         ! Start value of temperature sum [-10..30 C, R]
*****
* Part 2: Light extinction
KDIF   = 0.60 ! Extinction coefficient for diffuse visible light [0..2 -, R]
KDIR   = 1.0  ! Extinction coefficient for direct visible light [0..2 -, R]
*****
* Part 3: Leaf area index or soil cover fraction
SWGc  = 1 ! choice between LAI [=1] or soil cover fraction [=2]
* If SWGc = 1, list leaf area index [0..12 ha/ha, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* If SWGc = 2, list soil cover fraction [0..1 m2/m2, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
*      DVS  LAI or SCF ( maximum 36 records)
GCTB =
    0.00  0.03
    0.50  0.30
    0.75  1.97
    1.00  3.00
    1.50  2.70
    2.00  0.00
* End of table
*****
* Part 4: crop factor or crop height
SWCF  = 1 ! choice between crop factor [=1] or crop height [=2]
* Choose crop factor if ETref is used, either from meteo input file (SWETR = 1) or with Penman-Monteith
* Choose crop height if Penman-Monteith should be used with actual crop height, albedo and resistance
* If SWCF = 1, list crop factor CF [0.5..1.5, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* If SWCF = 2, list crop height CH [0..1000 cm, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* (maximum 36 records)
      DVS          CF
0.00  1.15
0.50  1.15
0.75  1.15
1.00  1.15
1.50  1.15
2.00  1.15
* End of table
* If SWCF = 2, in addition to crop height list crop specific values for:
ALBEDO = 0.23 ! crop reflection coefficient [0..1.0 -, R]
RSC    = 70.0 ! Minimum canopy resistance [0..10^6 s/m, R]
*****
* Part 5: rooting depth
* List rooting depth [0..1000 cm, R], as a function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS  RD  (maximum 36 records)
RDTB =
    0.00  10.0
    0.50  30.0
    0.75  40.0
    1.00  60.0
    1.50  60.0
    2.00  60.0
* End of table
*****
* Part 6: yield response
* List yield response factor [0..5 -,R], as function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS  KY  (maximum 36 records)
KYTB =
    0.00  1.00
    0.50  1.00
    0.75  1.00
    1.00  1.00
    1.50  1.00
    2.00  1.00
* End of table
*****
* Part 7: soil water extraction by plant roots
HLIM1 = 0.0 ! No water extraction at higher pressure heads, [-100..100 cm, R]

```



```

HLIM2U =      -1.0 ! h below which optimum water extr. starts for top layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM2L =      -1.0 ! h below which optimum water extr. starts for sub layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM3H =     -500.0 ! h below which water uptake red. starts at high Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM3L =     -500.0 ! h below which water uptake red. starts at low Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM4 =     -2000.0 ! No water extraction at lower pressure heads, [-16000..100 cm, R]
ADCRH =       0.5 ! Level of high atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
ADCRL =       0.1 ! Level of low atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
*****
***** Part 8: salt stress
ECMAX =       6.0 ! ECsat level at which salt stress starts, [0..20 dS/m, R]
ECSLOP =       4.0 ! Decline of rootwater uptake above ECMAX [0..40 %/dS/m, R]
*****
***** Part 9: interception
SWINTER = 1 ! Switch for rainfall interception method:
! 0 = No interception calculated
! 1 = Agricultural crops (Von Hoyningen-Huene and Braden)
! 2 = Closed forest canopies (Gash)
* In case of interception method for agricultural crops (SWINTER = 1) specify:
COFAB =      0.25 ! Interception coefficient Von Hoyningen-Huene and Braden, [0..1 cm, R]
*****
***** Part 10: Root density distribution and root growth
* List relative root density [0..1 -, R], as function of rel. rooting depth [0..1 -, R]:
*   Rdepth Rdensity (maximum 11 records)
RDCTB =
  0.00    1.00
  0.50    1.00
  1.00    1.00
* End of table
*****
*** IRRIGATION SCHEDULING SECTION ***
*****
* Part 1: General
SCHEDULE = 0 ! Switch for application irrigation scheduling [Y=1, N=0]
* If SCHEDULE = 0, no more information is required in this input file!
*****
* End of .crp file !

```

```

*****
* Filename: Caard.crp (consumptie aardappelen)
* Data : Feb-2009
* Author : Peter Droogers, p.droogers@futurewater.nl
* Model : SWAP2008
*****
*** PLANT GROWTH SECTION ***
*****
* Part 1: Crop development
IDEV = 1 ! length of crop cycle: 1 = fixed, 2 = variable
* If fixed growth length (IDEV = 1), specify:
LCC = 214 ! Length of the crop cycle [1..366 days, I]
*****
* Part 2: Light extinction
KDIF = 1.00 ! Extinction coefficient for diffuse visible light [0..2 -, R]
KDIR = 1.00 ! Extinction coefficient for direct visible light [0..2 -, R]
*****
* Part 3: Leaf area index or soil cover fraction
SWG = 1 ! choice between LAI [=1] or soil cover fraction [=2]
* If SWG = 1, list leaf area index [0..12 ha/ha, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* If SWG = 2, list soil cover fraction [0..1 m2/m2, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
*   DVS LAI or SCF ( maximum 36 records)
GCTB =
0.00  0.00
0.50  1.20
0.75  4.90
1.00  5.40

```



```

1.50    4.30
2.00    0.00
* End of table
*****
***** Part 4: crop factor or crop height

SWCF = 1 ! choice between crop factor [=1] or crop height [=2]
* Choose crop factor if ETref is used, either from meteo input file (SWETR = 1) or with Penman-
Monteith
* Choose crop height if Penman-Monteith should be used with actual crop height, albedo and resistance
* If SWCF = 1, list crop factor CF [0.5..1.5, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* If SWCF = 2, list crop height CH [0..1000 cm, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* (maximum 36 records)
      DVS      CF
0.00    1.00
0.50    1.00
0.75    1.00
1.00    1.00
1.50    1.00
2.00    1.00
* End of table
*****
***** Part 5: rooting depth
* List rooting depth [0..1000 cm, R], as a function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS      RD      (maximum 36 records)
      RDTB =
0.00    10.00
0.50    22.00
0.75    26.00
1.00    30.00
1.50    50.00
2.00    50.00
* End of table
*****
***** Part 6: yield response
* List yield response factor [0.5 -,R], as function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS      KY      (maximum 36 records)
      KYTB =
0.00    1.00
0.50    1.00
0.75    1.00
1.00    1.00
1.50    1.00
2.00    1.00
* End of table
*****
***** Part 7: soil water extraction by plant roots
HLIM1 = -10.0 ! No water extraction at higher pressure heads, [-100..100 cm, R]
HLIM2U = -30.0 ! h below which optimum water extr. starts for top layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM2L = -30.0 ! h below which optimum water extr. starts for sub layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM3H = -200.0 ! h below which water uptake red. starts at high Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM3L = -200.0 ! h below which water uptake red. starts at low Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM4 = -2000.0 ! No water extraction at lower pressure heads, [-16000..100 cm, R]
ADCRH = 0.5 ! Level of high atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
ADCRL = 0.1 ! Level of low atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
*****
***** Part 8: salt stress
ECMAX = 2.0 ! ECsat level at which salt stress starts, [0..20 dS/m, R]
ECSLOP = 0.0 ! Decline of rootwater uptake above ECMAX [0..40 %/dS/m, R]
*****
***** Part 9: interception
SWINTER = 1 ! Switch for rainfall interception method:
            ! 0 = No interception calculated
            ! 1 = Agricultural crops (Von Hoyningen-Huene and Braden)
            ! 2 = Closed forest canopies (Gash)
* In case of interception method for agricultural crops (SWINTER = 1) specify:
COFAB = 0.25 ! Interception coefficient Von Hoyningen-Huene and Braden, [0..1 cm, R]

```



```

*****
***** Part 10: Root density distribution and root growth *****
***** List relative root density [0..1 -, R], as function of rel. rooting depth [0..1 -, R]: *****
***** Rdepth Rdensity (maximum 11 records) *****
RDCTB =
    0.00    1.00
    0.50    1.00
    1.00    1.00
* End of table
*****
*** IRRIGATION SCHEDULING SECTION ***
*****
* Part 1: General
SCHEDULE = 0 ! Switch for application irrigation scheduling [Y=1, N=0]
* If SCHEDULE = 0, no more information is required in this input file!
*****
* End of .crp file !

*****
* Filename: Paard.crp (poot aardappelen)
* Data : Feb-2009
* Author : Peter Droogers, p.droogers@futurewater.nl
* Model : SWAP2008
*****
*** PLANT GROWTH SECTION ***
*****
* Part 1: Crop development
IDEV = 1 ! length of crop cycle: 1 = fixed, 2 = variable
* If fixed growth length (IDEV = 1), specify:
LCC = 183 ! Length of the crop cycle [1..366 days, I]
*****
* Part 2: Light extinction
KDIF = 1.00 ! Extinction coefficient for diffuse visible light [0..2 -, R]
KDIR = 1.00 ! Extinction coefficient for direct visible light [0..2 -, R]
*****
* Part 3: Leaf area index or soil cover fraction
SWG = 1 ! choice between LAI [=1] or soil cover fraction [=2]
* If SWG = 1, list leaf area index [0..12 ha/ha, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* If SWG = 2, list soil cover fraction [0..1 m2/m2, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* DVS LAI or SCF ( maximum 36 records)
GCTB =
0.00    0.00
0.50    1.20
0.75    4.90
1.00    5.40
1.50    4.30
2.00    0.00
* End of table
*****
* Part 4: crop factor or crop height
SWCF = 1 ! choice between crop factor [=1] or crop height [=2]
* Choose crop factor if ETref is used, either from meteo input file (SWETR = 1) or with Penman-Monteith
* Choose crop height if Penman-Monteith should be used with actual crop height, albedo and resistance
* If SWCF = 1, list crop factor CF [0.5..1.5, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* If SWCF = 2, list crop height CH [0..1000 cm, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* (maximum 36 records)
    DVS      CF
0.00    1.00
0.50    1.00
0.75    1.00
1.00    1.00
1.50    1.00
2.00    1.00
* End of table
*****

```



```

* Part 5: rooting depth
* List rooting depth [0..1000 cm, R], as a function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS      RD      (maximum 36 records)
      RDTB =
0.00    10.00
0.50    22.00
0.75    26.00
1.00    30.00
1.50    50.00
2.00    50.00
* End of table
*****
***** Part 6: yield response
* List yield response factor [0..5 -,R], as function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS      KY      (maximum 36 records)
      KYTB =
0.00    1.00
0.50    1.00
0.75    1.00
1.00    1.00
1.50    1.00
2.00    1.00
* End of table
*****
***** Part 7: soil water extraction by plant roots
      HLIM1 = -10.0 ! No water extraction at higher pressure heads, [-100..100 cm, R]
      HLIM2U = -25.0 ! h below which optimum water extr. starts for top layer, [-1000..100 cm, R]
      HLIM2L = -25.0 ! h below which optimum water extr. starts for sub layer, [-1000..100 cm, R]
      HLIM3H = -250.0 ! h below which water uptake red. starts at high Tpot, [-10000..100 cm, R]
      HLIM3L = -250.0 ! h below which water uptake red. starts at low Tpot, [-10000..100 cm, R]
      HLIM4 = -2000.0 ! No water extraction at lower pressure heads, [-16000..100 cm, R]
      ADCRH = 0.5 ! Level of high atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
      ADCRL = 0.1 ! Level of low atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
*****
***** Part 8: salt stress
      ECMAX = 2.0 ! ECsat level at which salt stress starts, [0..20 dS/m, R]
      ECSLOP = 0.0 ! Decline of rootwater uptake above ECMAX [0..40 %/dS/m, R]
*****
***** Part 9: interception
      SWINTER = 1 ! Switch for rainfall interception method:
! 0 = No interception calculated
! 1 = Agricultural crops (Von Hoyningen-Huene and Braden)
! 2 = Closed forest canopies (Gash)
* In case of interception method for agricultural crops (SWINTER = 1) specify:
      COFAB = 0.25 ! Interception coefficient Von Hoyningen-Huene and Braden, [0..1 cm, R]
*****
***** Part 10: Root density distribution and root growth
* List relative root density [0..1 -, R], as function of rel. rooting depth [0..1 -, R]:
*      Rdepth Rdensity  (maximum 11 records)
      RDCTB =
0.00    1.00
0.50    1.00
1.00    1.00
* End of table
*****
*** IRRIGATION SCHEDULING SECTION ***
*****
* Part 1: General
      SCHEDULE = 0 ! Switch for application irrigation scheduling [Y=1, N=0]
* If SCHEDULE = 0, no more information is required in this input file!
*****
* End of .crp file !

```

```

*****
* Filename: Zaard.crp (zetmeel aardappelen)

```



```

* Data      : Feb-2009
* Author    : Peter Droogers, p.droogers@futurewater.nl
* Model     : SWAP2008
*****
*** PLANT GROWTH SECTION ***
*****
* Part 1: Crop development
  IDEV = 1 ! length of crop cycle: 1 = fixed, 2 = variable
* If fixed growth length (IDEV = 1), specify:
  LCC = 214 ! Length of the crop cycle [1..366 days, I]
*****
* Part 2: Light extinction
  KDIF = 1.00 ! Extinction coefficient for diffuse visible light [0..2 -, R]
  KDIR = 1.00 ! Extinction coefficient for direct visible light [0..2 -, R]
*****
* Part 3: Leaf area index or soil cover fraction
  SWGC = 1 ! choice between LAI [=1] or soil cover fraction [=2]
* If SWGC = 1, list leaf area index [0..12 ha/ha, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* If SWGC = 2, list soil cover fraction [0..1 m2/m2, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
*       DVS LAI or SCF (maximum 36 records)
  GCTB =
  0.00 0.00
  0.50 1.20
  0.75 4.90
  1.00 5.40
  1.50 4.30
  2.00 0.00
* End of table
*****
* Part 4: crop factor or crop height
  SWCF = 1 ! choice between crop factor [=1] or crop height [=2]
* Choose crop factor if ETref is used, either from meteo input file (SWETR = 1) or with Penman-Monteith
* Choose crop height if Penman-Monteith should be used with actual crop height, albedo and resistance
* If SWCF = 1, list crop factor CF [0.5..1.5, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* If SWCF = 2, list crop height CH [0..1000 cm, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* (maximum 36 records)
  DVS CF
  0.00 1.00
  0.50 1.00
  0.75 1.00
  1.00 1.00
  1.50 1.00
  2.00 1.00
* End of table
*****
* Part 5: rooting depth
* List rooting depth [0..1000 cm, R], as a function of development stage [0..2 -,R]:
*       DVS RD (maximum 36 records)
  RDTB =
  0.00 10.00
  0.50 22.00
  0.75 26.00
  1.00 30.00
  1.50 50.00
  2.00 50.00
* End of table
*****
* Part 6: yield response
* List yield response factor [0..5 -,R], as function of development stage [0..2 -,R]:
*       DVS KY (maximum 36 records)
  KYTB =
  0.00 1.00
  0.50 1.00
  0.75 1.00
  1.00 1.00
  1.50 1.00
  2.00 1.00

```



```

* End of table
*****
***** Part 7: soil water extraction by plant roots
HLIM1 = -10.0 ! No water extraction at higher pressure heads, [-100..100 cm, R]
HLIM2U = -25.0 ! h below which optimum water extr. starts for top layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM2L = -25.0 ! h below which optimum water extr. starts for sub layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM3H = -320.0 ! h below which water uptake red. starts at high Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM3L = -320.0 ! h below which water uptake red. starts at low Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM4 = -2000.0 ! No water extraction at lower pressure heads, [-16000..100 cm, R]
ADCRH = 0.5 ! Level of high atmospheric demand, [0.5 cm/d, R]
ADCRL = 0.1 ! Level of low atmospheric demand, [0.5 cm/d, R]
*****
***** Part 8: salt stress
ECMAX = 2.0 ! ECsat level at which salt stress starts, [0..20 dS/m, R]
ECSLOP = 0.0 ! Decline of rootwater uptake above ECMAX [0..40 %/dS/m, R]
*****
***** Part 9: interception
SWINTER = 1 ! Switch for rainfall interception method:
! 0 = No interception calculated
! 1 = Agricultural crops (Von Hoyningen-Huene and Braden)
! 2 = Closed forest canopies (Gash)

* In case of interception method for agricultural crops (SWINTER = 1) specify:
COFAB = 0.25 ! Interception coefficient Von Hoyningen-Huene and Braden, [0..1 cm, R]
*****
***** Part 10: Root density distribution and root growth
* List relative root density [0..1 -, R], as function of rel. rooting depth [0..1 -, R]:
* Rdepth Rdensity (maximum 11 records)
RDCTB =
    0.00   1.00
    0.50   1.00
    1.00   1.00
* End of table
*****
*** IRRIGATION SCHEDULING SECTION ***
*****
* Part 1: General
SCHEDULE = 0 ! Switch for application irrigation scheduling [Y=1, N=0]
* If SCHEDULE = 0, no more information is required in this input file!
*****
* End of .crp file !

*****
* Filename: Sbiet.crp (suikerbiet)
* Data : Feb-2009
* Author : Peter Droogers, p.droogers@futurewater.nl
* Model : SWAP2008
*****
*** PLANT GROWTH SECTION ***
*****
* Part 1: Crop development
IDEV = 1 ! length of growth period: 1 = fixed, 2 = variable
* If fixed growth period (IDEV = 1), specify:
LCC = 276 ! Length of the crop cycle [1..366 days, I]
*****
* Part 2: Light extinction
KDIF = 0.70 ! Extinction coefficient for diffuse visible light [0..2 -, R]
KDIR = 1.00 ! Extinction coefficient for direct visible light [0..2 -, R]
*****
* Part 3: Leaf area index or soil cover fraction
*
SWGc = 1 ! choice between LAI [=1] or soil cover fraction [=2]
*
* If SWGC = 1, list leaf area index [0..12 ha/ha, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* If SWGC = 2, list soil cover fraction [0..1 m2/m2, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* DVS LAI or SCF ( maximum 36 records)

```



```

GCTB =
0.00    0.01
0.50    0.10
0.75    0.50
1.00    1.50
1.50    5.00
2.00    4.00
* End of table
*****
***** Part 4: Crop factor or crop height
SWCF = 1 ! choice between crop factor [=1] or crop height [=2]
* If SWCF = 1, list crop factor [0.5..1.5, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* If SWCF = 2, list crop height [0..1000 cm, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
*      DVS   CF or CH   (maximum 36 records)
      DVS   CF
0.00    1.00
0.50    1.00
0.75    1.00
1.00    1.00
1.50    1.00
2.00    1.00
* End of table
*****
***** Part 5: Rooting depth
* List rooting depth [0..1000 cm, R], as a function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS   RD   (maximum 36 records)
      RDTB =
0.00    10.00
0.50    22.00
0.75    26.00
1.00    30.00
1.50    50.00
2.00    50.00
* End of table
*****
***** Part 6: Yield response
* List yield response factor [0..5 -,R], as function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS   KY   (maximum 36 records)
      KYTB =
      0.00    1.00
      0.50    1.00
      0.75    1.00
      1.00    1.00
      1.50    1.00
      2.00    1.00
* End of table
*****
***** Part 7: Soil water extraction by plant roots
HLIM1 = -10.0 ! No water extraction at higher pressure heads, [-100..100 cm, R]
HLIM2U = -25.0 ! h below which optimum water uptake starts for top layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM2L = -25.0 ! h below which optimum water uptake starts for sub layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM3H = -200.0 ! h below which water uptake reduction starts at high Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM3L = -200.0 ! h below which water uptake reduction starts at low Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM4 = -2000.0 ! Wilting point, no water uptake at lower pressure heads, [-16000..100 cm, R]
ADCRH = 0.5 ! Level of high atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
ADCRl = 0.1 ! Level of low atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
*****
***** Part 8: Salt stress
ECMAX = 7.0 ! ECsat level at which salt stress starts, [0..20 dS/m, R]
ECSLOP = 5.9 ! Decline of rootwater uptake above ECMAX [0..40 %/dS/m, R]
*****
***** Part 9: Interception
SWINTER = 1 ! Switch for rainfall interception method:
! 0 = No interception calculated
! 1 = Agricultural crops (Von Hoyningen-Huene and Braden)
! 2 = Trees and forests (Gash)
* In case of interception method for agricultural crops (SWINTER = 1) specify:

```



```

COFAB = 0.25 ! Interception coefficient Von Hoyningen-Huene and Braden, [0..1 cm, R]
*****
***** Part 10: Root density distribution and root growth
***** List relative root density [0..1 -, R], as function of relative rooting depth [0..1 -, R]:
***** Rdepth Rdensity (maximum 11 records)
RDCTB =
    0.00  1.00
    1.00  1.00
* End of table
*****
*** IRRIGATION SCHEDULING SECTION ***
*****
* Part 1: General
SCHEDULE = 0 ! Switch for application irrigation scheduling [Y=1, N=0]
* If SCHEDULE = 0, no more information is required in this input file!
*****
* End of .crp file !

***** File: Wpeen.crp (winterpeen)
* Data : Feb-2009
* Author : Peter Droogers, p.droogers@futurewater.nl
* Model : SWAP2008
*****
*** PLANT GROWTH SECTION ***
*****
* Part 1: Crop development
IDEV = 1 ! length of crop cycle: 1 = fixed, 2 = variable
* If fixed growth length (IDEV = 1), specify:
LCC = 200 ! Length of the crop cycle [1..366 days, I]
*****
* Part 2: Light extinction
KDIF = 0.60 ! Extinction coefficient for diffuse visible light [0..2 -, R]
KDIR = 0.75 ! Extinction coefficient for direct visible light [0..2 -, R]
*****
* Part 3: Leaf area index or soil cover fraction
SWG = 1 ! choice between LAI [=1] or soil cover fraction [=2]
* If SWG = 1, list leaf area index [0..12 ha/ha, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* If SWG = 2, list soil cover fraction [0..1 m2/m2, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* DVS LAI or SCF ( maximum 36 records)
GCTB =
0.00  0.30
0.50  2.50
0.75  3.50
1.00  3.50
1.50  1.00
2.00  0.00
* End of table
*****
* Part 4: crop factor or crop height
SWCF = 1 ! choice between crop factor [=1] or crop height [=2]
* Choose crop factor if ETref is used, either from meteo input file (SWETR = 1) or with Penman-Monteith
* Choose crop height if Penman-Monteith should be used with actual crop height, albedo and resistance
* If SWCF = 1, list crop factor CF [0.5..1.5, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* If SWCF = 2, list crop height CH [0..1000 cm, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* (maximum 36 records)
DVS      CF
0.00    1.05
0.50    1.05
0.75    1.05
1.00    1.05
1.50    1.05
2.00    1.05
* End of table
*****

```



```
*****
* Part 5: rooting depth
* List rooting depth [0..1000 cm, R], as a function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS      RD    (maximum 36 records)
RDDB = 
0.00   1.00
0.50   20.00
0.75   40.00
1.00   54.00
1.50   60.00
2.00   60.00
* End of table
*****
*****
* Part 6: yield response
* List yield response factor [0..5 -,R], as function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS      KY    (maximum 36 records)
KYTB = 
0.00   1.00
0.50   1.00
0.75   1.00
1.00   1.00
1.50   1.00
2.00   1.00
* End of table
*****
*****
* Part 7: soil water extraction by plant roots
HLIM1 = -10.0 ! No water extraction at higher pressure heads, [-100..100 cm, R]
HLIM2U = -25.0 ! h below which optimum water extr. starts for top layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM2L = -25.0 ! h below which optimum water extr. starts for sub layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM3H = -350.0 ! h below which water uptake red. starts at high Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM3L = -350.0 ! h below which water uptake red. starts at low Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM4 = -2000.0 ! No water extraction at lower pressure heads, [-16000..100 cm, R]
ADCRH = 0.5 ! Level of high atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
ADCRL = 0.1 ! Level of low atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
*****
*****
* Part 8: salt stress
ECMAX = 2.0 ! ECsat level at which salt stress starts, [0..20 dS/m, R]
ECSLOP = 0.0 ! Decline of rootwater uptake above ECMAX [0..40 %/dS/m, R]
*****
*****
* Part 9: interception
SWINTER = 1 ! Switch for rainfall interception method:
! 0 = No interception calculated
! 1 = Agricultural crops (Von Hoyningen-Huene and Braden)
! 2 = Closed forest canopies (Gash)

* In case of interception method for agricultural crops (SWINTER = 1) specify:
COFAB = 0.25 ! Interception coefficient Von Hoyningen-Huene and Braden, [0..1 cm, R]
*****
*****
* Part 10: Root density distribution and root growth
* List relative root density [0..1 -, R], as function of rel. rooting depth [0..1 -, R]:
*      Rdepth Rdensity  (maximum 11 records)
RDCTB = 
0.00   1.00
0.50   1.00
1.00   1.00
* End of table
*****
*** IRRIGATION SCHEDULING SECTION ***
*****
* Part 1: General
SCHEDULE = 0 ! Switch for application irrigation scheduling [Y=1, N=0]
* If SCHEDULE = 0, no more information is required in this input file!
*****
* End of .crp file !

*****
* Filename: Zui.crp (zaai ui)
```



```

* Data      : Feb-2009
* Author    : Peter Droogers, p.droogers@futurewater.nl
* Model     : SWAP2008
*****
*** PLANT GROWTH SECTION ***
*****
* Part 1: Crop development
  IDEV = 1 ! length of crop cycle: 1 = fixed, 2 = variable

* If fixed growth length (IDEV = 1), specify:
  LCC = 183 ! Length of the crop cycle [1..366 days, I]
*****
* Part 2: Light extinction
  KDIF = 0.60 ! Extinction coefficient for diffuse visible light [0..2 -, R]
  KDIR = 0.75 ! Extinction coefficient for direct visible light [0..2 -, R]
*****
* Part 3: Leaf area index or soil cover fraction
  SWGC = 1 ! choice between LAI [=1] or soil cover fraction [=2]
* If SWGC = 1, list leaf area index [0..12 ha/ha, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* If SWGC = 2, list soil cover fraction [0..1 m2/m2, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
*       DVS   LAI or SCF (maximum 36 records)
  GCTB =
  0.00   0.02
  0.50   1.10
  0.75   1.50
  1.00   1.50
  1.50   0.30
  2.00   0.00
* End of table
*****
* Part 4: crop factor or crop height
  SWCF = 1 ! choice between crop factor [=1] or crop height [=2]
* Choose crop factor if ETref is used, either from meteo input file (SWETR = 1) or with Penman-Monteith
* Choose crop height if Penman-Monteith should be used with actual crop height, albedo and resistance
* If SWCF = 1, list crop factor CF [0.5..1.5, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* If SWCF = 2, list crop height CH [0..1000 cm, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* (maximum 36 records)
  DVS      CF
  0.00   1.05
  0.50   1.05
  0.75   1.05
  1.00   1.05
  1.50   1.05
  2.00   1.05
* End of table
*****
* Part 5: rooting depth
* List rooting depth [0..1000 cm, R], as a function of development stage [0..2 -,R]:
*       DVS      RD (maximum 36 records)
  RDTB =
  0.00   1.00
  0.50   20.00
  0.75   40.00
  1.00   50.00
  1.50   50.00
  2.00   50.00
* End of table
*****
* Part 6: yield response
* List yield response factor [0..5 -,R], as function of development stage [0..2 -,R]:
*       DVS      KY (maximum 36 records)
  KYTB =
  0.00   1.10
  0.50   1.10
  0.75   1.10
  1.00   1.10
  1.50   1.10

```



```

2.00      1.10
* End of table
*****
***** Part 7: soil water extraction by plant roots
HLIM1 = -10.0 ! No water extraction at higher pressure heads, [-100..100 cm, R]
HLIM2U = -25.0 ! h below which optimum water extr. starts for top layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM2L = -25.0 ! h below which optimum water extr. starts for sub layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM3H = -200.0 ! h below which water uptake red. starts at high Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM3L = -200.0 ! h below which water uptake red. starts at low Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM4 = -2000.0 ! No water extraction at lower pressure heads, [-16000..100 cm, R]
ADCRH = 0.5 ! Level of high atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
ADCRL = 0.1 ! Level of low atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
*****
***** Part 8: salt stress
ECMAX = 2.0 ! ECsat level at which salt stress starts, [0..20 dS/m, R]
ECSLOP = 0.0 ! Decline of rootwater uptake above ECMAX [0..40 %/dS/m, R]
*****
***** Part 9: interception
SWINTER = 1 ! Switch for rainfall interception method:
! 0 = No interception calculated
! 1 = Agricultural crops (Von Hoyningen-Huene and Braden)
! 2 = Closed forest canopies (Gash)

* In case of interception method for agricultural crops (SWINTER = 1) specify:
COFAB = 0.25 ! Interception coefficient Von Hoyningen-Huene and Braden, [0..1 cm, R]
*****
***** Part 10: Root density distribution and root growth
* List relative root density [0..1 -, R], as function of rel. rooting depth [0..1 -, R]:
* Rdepth Rdensity (maximum 11 records)
RDCTB =
    0.00   1.00
    0.50   1.00
    1.00   1.00
* End of table
*****
*** IRRIGATION SCHEDULING SECTION ***
*****
* Part 1: General
SCHEULE = 0 ! Switch for application irrigation scheduling [Y=1, N=0]
* If SCHEULE = 0, no more information is required in this input file!
*****
* End of .crp file !

*****
* Filename: Smais.crp (snijmais)
* Data : Feb-2009
* Author : Peter Droogers, p.droogers@futurewater.nl
* Model : SWAP2008
*****
*** PLANT GROWTH SECTION ***
*****
* Part 1: Crop development
IDEV = 1 ! length of growth period: 1 = fixed, 2 = variable
* If fixed growth period (IDEV = 1), specify:
LCC = 184 ! Length of the crop cycle [1..366 days, I]
*****
* Part 2: Light extinction
KDIF = 0.60 ! Extinction coefficient for diffuse visible light [0..2 -, R]
KDIR = 0.75 ! Extinction coefficient for direct visible light [0..2 -, R]
*****
* Part 3: Leaf area index or soil cover fraction
SWG = 1 ! choice between LAI [=1] or soil cover fraction [=2]
* If SWG = 1, list leaf area index [0..12 ha/ha, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* If SWG = 2, list soil cover fraction [0..1 m2/m2, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* DVS LAI or SCF ( maximum 36 records)
GCTB =

```



```

0.00    0.05
0.50    0.60
0.75    4.20
1.00    5.00
1.50    5.80
2.00    5.20
* End of table
*****
***** Part 4: crop factor or crop height
SWCF = 1 ! choice between crop factor [=1] or crop height [=2]
* Choose crop factor if ETref is used, either from meteo input file (SWETR = 1) or with Penman-Monteith
* Choose crop height if Penman-Monteith should be used with actual crop height, albedo and resistance
* If SWCF = 1, list crop factor CF [0..5..1.5, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* If SWCF = 2, list crop height CH [0..1000 cm, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* (maximum 36 records)
      DVS      CF
0.00    0.80
0.50    0.93
0.75    1.07
1.00    1.20
1.50    1.20
2.00    1.20
* End of table
*****
***** Part 5: Rooting depth
* List rooting depth [0..1000 cm, R], as a function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS      RD      (maximum 36 records)
      RDTB =
0.00    5.00
0.50   20.00
0.75   30.00
1.00   50.00
1.50   60.00
2.00   60.00
* End of table
*****
***** Part 6: yield response
* List yield response factor [0..5 -,R], as function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS      KY      (maximum 36 records)
      KYTB =
0.00    1.00
0.50    1.00
0.75    1.00
1.00    1.00
1.50    1.00
2.00    1.00
* End of table
*****
***** Part 7: Soil water extraction by plant roots
HLIM1 =      0.0 ! No water extraction at higher pressure heads, [-100..100 cm, R]
HLIM2U =     -1.0 ! h below which optimum water extr. starts for top layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM2L =     -1.0 ! h below which optimum water extr. starts for sub layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM3H =    -500.0 ! h below which water uptake red. starts at high Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM3L =    -500.0 ! h below which water uptake red. starts at low Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM4 =   -2000.0 ! No water extraction at lower pressure heads, [-16000..100 cm, R]
ADCRH =      0.5 ! Level of high atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
ADCRL =      0.1 ! Level of low atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
*****
***** Part 8: Salt stress
ECMAX =      2.0 ! ECsat level at which salt stress starts, [0..20 dS/m, R]
ECSLOP =      0.0 ! Decline of rootwater uptake above ECMAX [0..40 %/dS/m, R]
*****
***** Part 9: Interception
SWINTER = 1 ! Switch for rainfall interception method:
            ! 0 = No interception calculated
            ! 1 = Agricultural crops (Von Hoyningen-Huene and Braden)

```



```

! 2 = Trees and forests (Gash)

* In case of interception method for agricultural crops (SWINTER = 1) specify:
COFAB = 0.25 ! Interception coefficient Von Hoyningen-Hune and Braden, [0..1 cm, R]
*****
* Part 10: Root density distribution and root growth

* List relative root density [0..1 -, R], as function of relative rooting depth [0..1 -, R]:
* Rdepth Rdensity (maximum 11 records)
RDCTB =
    0.00    1.00
    0.50    1.00
    1.00    1.00
* End of table
*****
*** IRRIGATION SCHEDULING SECTION ***
*****
* Part 1: General
SCHEDULE = 0 ! Switch for application irrigation scheduling [Y=1, N=0]
* End of .crp file !

*****
* Filename: Gzaad.crp (graszaad)
* Data : Feb-2009
* Author : Peter Droogers, p.droogers@futurewater.nl
* Model : SWAP2008
*****
*** PLANT GROWTH SECTION ***
*****
* Part 1: Crop development
IDEV = 1 ! length of crop cycle: 1 = fixed, 2 = variable
* If fixed growth length (IDEV = 1), specify:
LCC = 365 ! Length of the crop cycle [1..366 days, I]
*****
* Part 2: Light extinction
KDIF = 0.75 ! Extinction coefficient for diffuse visible light [0..2 -, R]
KDIR = 0.75 ! Extinction coefficient for direct visible light [0..2 -, R]
*****
* Part 3: Leaf area index or soil cover fraction
SWG = 1 ! choice between LAI [=1] or soil cover fraction [=2]
* If SWG = 1, list leaf area index [0..12 ha/ha, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* If SWG = 2, list soil cover fraction [0..1 m2/m2, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* DVS LAI or SCF ( maximum 36 records)
GCTB =
0.00    3.00
0.50    3.00
0.75    3.00
1.00    3.00
1.50    3.00
2.00    3.00
* End of table
*****
* Part 4: crop factor or crop height
SWCF = 1 ! choice between crop factor [=1] or crop height [=2]
* Choose crop factor if ETref is used, either from meteo input file (SWETR = 1) or with Penman-Monteith
* Choose crop height if Penman-Monteith should be used with actual crop height, albedo and resistance
* If SWCF = 1, list crop factor CF [0.5..1.5, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* If SWCF = 2, list crop height CH [0..1000 cm, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* (maximum 36 records)
DVS      CF
0.00    1.00
0.50    1.00
0.75    1.00
1.00    1.00
1.50    1.00
2.00    1.00
* End of table

```



```

*****
***** Part 5: rooting depth *****
* List rooting depth [0..1000 cm, R], as a function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS      RD      (maximum 36 records)
RDCTB =
0.00    30.00
0.50    30.00
0.75    30.00
1.00    30.00
1.50    30.00
2.00    30.00
* End of table
*****
***** Part 6: yield response *****
* List yield response factor [0..5 -,R], as function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS      KY      (maximum 36 records)
KYTB =
0.00    1.00
0.50    1.00
0.75    1.00
1.00    1.00
1.50    1.00
2.00    1.00
* End of table
*****
***** Part 7: soil water extraction by plant roots *****
HLIM1 = -10.0 ! No water extraction at higher pressure heads, [-100..100 cm, R]
HLIM2U = -25.0 ! h below which optimum water extr. starts for top layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM2L = -25.0 ! h below which optimum water extr. starts for sub layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM3H = -200.0 ! h below which water uptake red. starts at high Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM3L = -200.0 ! h below which water uptake red. starts at low Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM4 = -2000.0 ! No water extraction at lower pressure heads, [-16000..100 cm, R]
ADCRH = 0.5 ! Level of high atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
ADCRL = 0.1 ! Level of low atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
*****
***** Part 8: salt stress *****
ECMAX = 2.0 ! ECsat level at which salt stress starts, [0..20 dS/m, R]
ECSLOP = 0.0 ! Decline of rootwater uptake above ECMAX [0..40 %/dS/m, R]
*****
***** Part 9: interception *****
SWINTER = 1 ! Switch for rainfall interception method:
! 0 = No interception calculated
! 1 = Agricultural crops (Von Hoyningen-Hune and Braden)
! 2 = Closed forest canopies (Gash)
* In case of interception method for agricultural crops (SWINTER = 1) specify:
COFAB = 0.25 ! Interception coefficient Von Hoyningen-Hune and Braden, [0..1 cm, R]
*****
***** Part 10: Root density distribution and root growth *****
* List relative root density [0..1 -, R], as function of rel. rooting depth [0..1 -, R]:
*      Rdepth Rdensity      (maximum 11 records)
RDCTB =
0.00    1.00
0.50    1.00
1.00    1.00
* End of table
*****
*** IRRIGATION SCHEDULING SECTION ***
*****
* Part 1: General
SCHEDULE = 0 ! Switch for application irrigation scheduling [Y=1, N=0]
* If SCHEDULE = 0, no more information is required in this input file!
*****
* End of .crp file !
*****
* Filename: Peulvr.crp (peulvruchten)

```



```

* Data      : Feb-2009
* Author   : Peter Droogers, p.droogers@futurewater.nl
* Model    : SWAP2008
*****
*** PLANT GROWTH SECTION ***
*****
* Part 1: Crop development
  IDEV = 1 ! length of crop cycle: 1 = fixed, 2 = variable

* If fixed growth length (IDEV = 1), specify:
  LCC = 201 ! Length of the crop cycle [1..366 days, I]
*****
* Part 2: Light extinction
  KDIF = 0.60 ! Extinction coefficient for diffuse visible light [0..2 -, R]
  KDIR = 0.75 ! Extinction coefficient for direct visible light [0..2 -, R]
*****
* Part 3: Leaf area index or soil cover fraction
  SWGC = 1 ! choice between LAI [=1] or soil cover fraction [=2]
* If SWGC = 1, list leaf area index [0..12 ha/ha, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* If SWGC = 2, list soil cover fraction [0..1 m2/m2, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
*       DVS LAI or SCF (maximum 36 records)
  GCTB =
  0.00  0.04
  0.50  0.40
  0.75  3.20
  1.00  3.20
  1.50  4.00
  2.00  3.20
* End of table
*****
* Part 4: crop factor or crop height
  SWCF = 1 ! choice between crop factor [=1] or crop height [=2]
* Choose crop factor if ETref is used, either from meteo input file (SWETR = 1) or with Penman-Monteith
* Choose crop height if Penman-Monteith should be used with actual crop height, albedo and resistance
* If SWCF = 1, list crop factor CF [0.5..1.5, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* If SWCF = 2, list crop height CH [0..1000 cm, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* (maximum 36 records)
  DVS      CF
  0.00    1.15
  0.50    1.15
  0.75    1.15
  1.00    1.15
  1.50    1.15
  2.00    1.15
* End of table
*****
* Part 5: rooting depth
* List rooting depth [0..1000 cm, R], as a function of development stage [0..2 -,R]:
*       DVS      RD (maximum 36 records)
  RDTB =
  0.00    1.00
  0.50    20.00
  0.75    40.00
  1.00    50.00
  1.50    60.00
  2.00    60.00
* End of table
*****
* Part 6: yield response
* List yield response factor [0..5 -,R], as function of development stage [0..2 -,R]:
*       DVS      KY (maximum 36 records)
  KYTB =
  0.00    1.15
  0.50    1.15
  0.75    1.15
  1.00    1.15
  1.50    1.15

```



```

2.00      1.15
* End of table
*****
***** Part 7: soil water extraction by plant roots
HLIM1 = -10.0 ! No water extraction at higher pressure heads, [-100..100 cm, R]
HLIM2U = -25.0 ! h below which optimum water extr. starts for top layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM2L = -25.0 ! h below which optimum water extr. starts for sub layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM3H = -300.0 ! h below which water uptake red. starts at high Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM3L = -300.0 ! h below which water uptake red. starts at low Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM4 = -2000.0 ! No water extraction at lower pressure heads, [-16000..100 cm, R]
ADCRH = 0.5 ! Level of high atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
ADCRL = 0.1 ! Level of low atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
*****
***** Part 8: salt stress
ECMAX = 2.0 ! ECsat level at which salt stress starts, [0..20 dS/m, R]
ECSLOP = 0.0 ! Decline of rootwater uptake above ECMAX [0..40 %/dS/m, R]
*****
***** Part 9: interception
SWINTER = 1 ! Switch for rainfall interception method:
! 0 = No interception calculated
! 1 = Agricultural crops (Von Hoyningen-Huene and Braden)
! 2 = Closed forest canopies (Gash)

* In case of interception method for agricultural crops (SWINTER = 1) specify:
COFAB = 0.25 ! Interception coefficient Von Hoyningen-Huene and Braden, [0..1 cm, R]
*****
***** Part 10: Root density distribution and root growth
* List relative root density [0..1 -, R], as function of rel. rooting depth [0..1 -, R]:
*   Rdepth Rdensity (maximum 11 records)
RDCTB =
    0.00  1.00
    0.50  1.00
    1.00  1.00
* End of table
*****
*** IRRIGATION SCHEDULING SECTION ***
*****
* Part 1: General
SCHEULE = 0 ! Switch for application irrigation scheduling [Y=1, N=0]
* If SCHEULE = 0, no more information is required in this input file!
*****
* End of .crp file !

*****
* Filename: Fboom.crp (fruit bomen)
* Data : Feb-2009
* Author : Peter Droogers, p.droogers@futurewater.nl
* Model : SWAP2008
*****
*** PLANT GROWTH SECTION ***
*****
* Part 1: Crop development
IDEV = 1 ! length of crop cycle: 1 = fixed, 2 = variable
* If fixed growth length (IDEV = 1), specify:
LCC = 363 ! Length of the crop cycle [1..366 days, I]
*****
* Part 2: Light extinction
KDIF = 0.60 ! Extinction coefficient for diffuse visible light [0..2 -, R]
KDIR = 0.75 ! Extinction coefficient for direct visible light [0..2 -, R]
*****
* Part 3: Leaf area index or soil cover fraction
SWG = 1 ! choice between LAI [=1] or soil cover fraction [=2]
* If SWG = 1, list leaf area index [0..12 ha/ha, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
* If SWG = 2, list soil cover fraction [0..1 m2/m2, R], as function of dev. stage [0..2 -,R]:
*   DVS LAI or SCF ( maximum 36 records)
GCTB =

```



```

0.00    2.00
0.50    4.00
0.75    4.00
1.00    4.00
1.50    4.00
2.00    4.00
* End of table
*****
***** Part 4: crop factor or crop height
SWCF = 1 ! choice between crop factor [=1] or crop height [=2]
* Choose crop factor if ETref is used, either from meteo input file (SWETR = 1) or with Penman-Monteith
* Choose crop height if Penman-Monteith should be used with actual crop height, albedo and resistance
* If SWCF = 1, list crop factor CF [0..5..1.5, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* If SWCF = 2, list crop height CH [0..1000 cm, R], as function of dev. stage DVS [0..2 -,R]:
* (maximum 36 records)
      DVS      CF
0.00    1.20
0.50    1.20
0.75    1.20
1.00    1.20
1.50    1.20
2.00    1.20
* End of table
*****
***** Part 5: rooting depth
* List rooting depth [0..1000 cm, R], as a function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS      RD      (maximum 36 records)
      RDTB =
0.00    70.00
0.50    70.00
0.75    70.00
1.00    70.00
1.50    70.00
2.00    70.00
* End of table
*****
***** Part 6: yield response
* List yield response factor [0..5 -,R], as function of development stage [0..2 -,R]:
*      DVS      KY      (maximum 36 records)
      KYTB =
      0.00    0.95
      0.50    0.95
      0.75    0.95
      1.00    0.95
      1.50    0.95
      2.00    0.95
* End of table
*****
***** Part 7: soil water extraction by plant roots
      HLIM1 =      0.0 ! No water extraction at higher pressure heads, [-100..100 cm, R]
      HLIM2U =     -1.0 ! h below which optimum water extr. starts for top layer, [-1000..100 cm, R]
      HLIM2L =     -1.0 ! h below which optimum water extr. starts for sub layer, [-1000..100 cm, R]
      HLIM3H =    -400.0 ! h below which water uptake red. starts at high Tpot, [-10000..100 cm, R]
      HLIM3L =    -400.0 ! h below which water uptake red. starts at low Tpot, [-10000..100 cm, R]
      HLIM4 =   -6000.0 ! No water extraction at lower pressure heads, [-16000..100 cm, R]
      ADCRH =      0.5 ! Level of high atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
      ADCRL =      0.1 ! Level of low atmospheric demand, [0..5 cm/d, R]
*****
***** Part 8: salt stress
      ECMAX =      2.0 ! ECsat level at which salt stress starts, [0..20 dS/m, R]
      ECSLOP =      0.0 ! Decline of rootwater uptake above ECMAX [0..40 %/dS/m, R]
*****
***** Part 9: interception
      SWINTER = 1 ! Switch for rainfall interception method:
                  ! 0 = No interception calculated
                  ! 1 = Agricultural crops (Von Hoyningen-Huene and Braden)

```



```

! 2 = Closed forest canopies (Gash)
* In case of interception method for agricultural crops (SWINTER = 1) specify:
COFAB = 0.25 ! Interception coefficient Von Hoyningen-Huene and Braden, [0..1 cm, R]
*****
***** Part 10: Root density distribution and root growth
* List relative root density [0..1 -, R], as function of rel. rooting depth [0..1 -, R]:
* Rdepth Rdensity (maximum 11 records)
RDCTB =
    0.00    1.00
    0.50    1.00
    1.00    1.00
* End of table
*****
*** IRRIGATION SCHEDULING SECTION ***
*****
* Part 1: General
SCHEDULE = 0 ! Switch for application irrigation scheduling [Y=1, N=0]
* If SCHEDULE = 0, no more information is required in this input file!
*****
* End of .crp file !

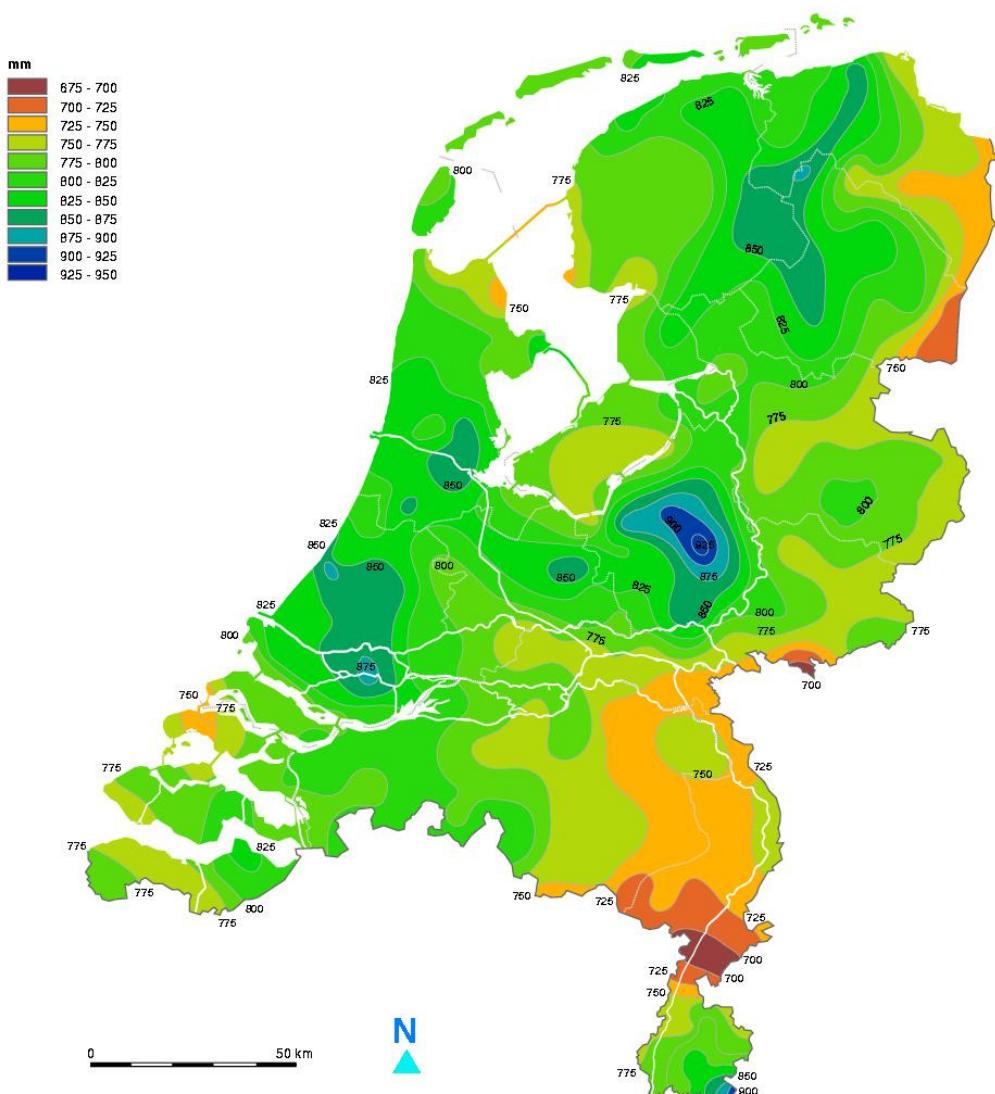
```



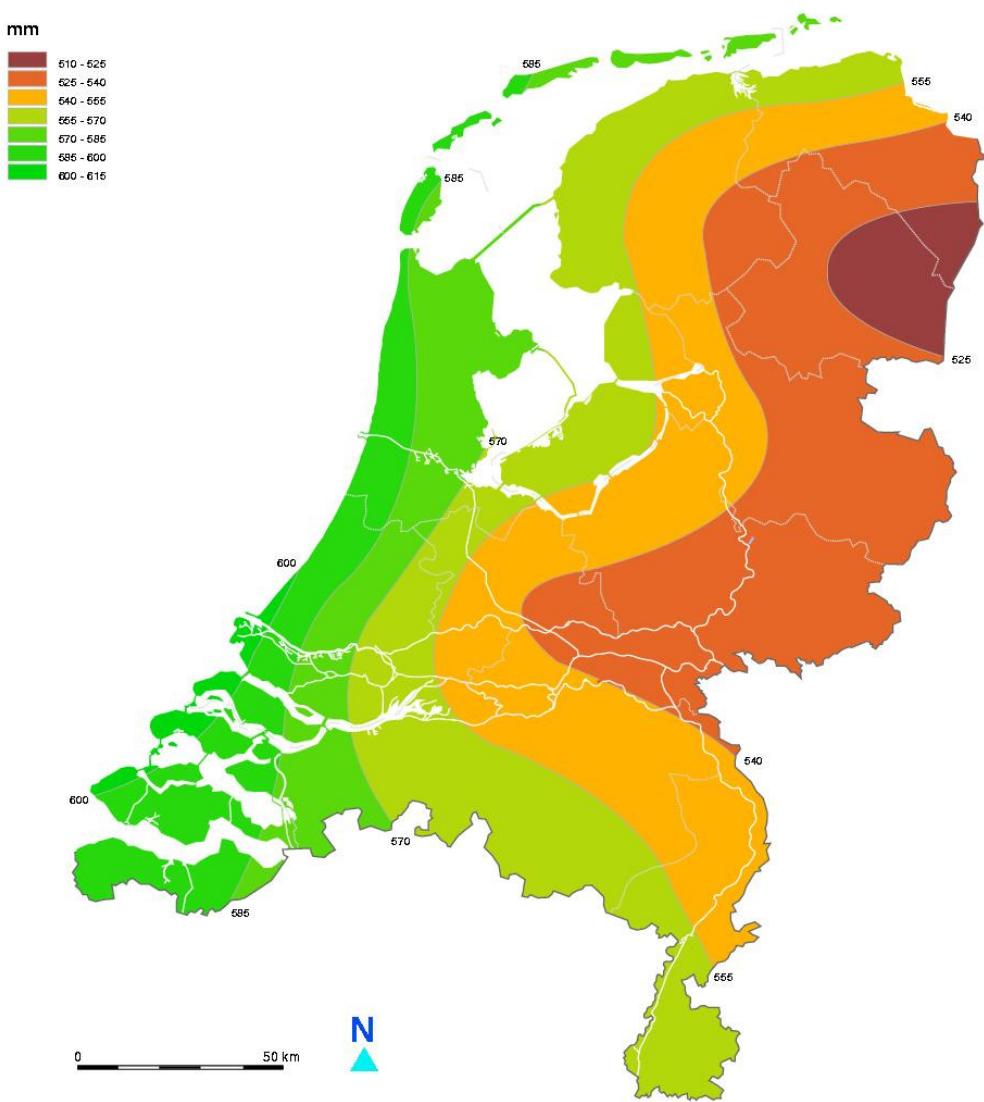
Bijlage 2

Regionale spreiding langjarige gemiddelde neerslag, verdamping en neerslagoverschot



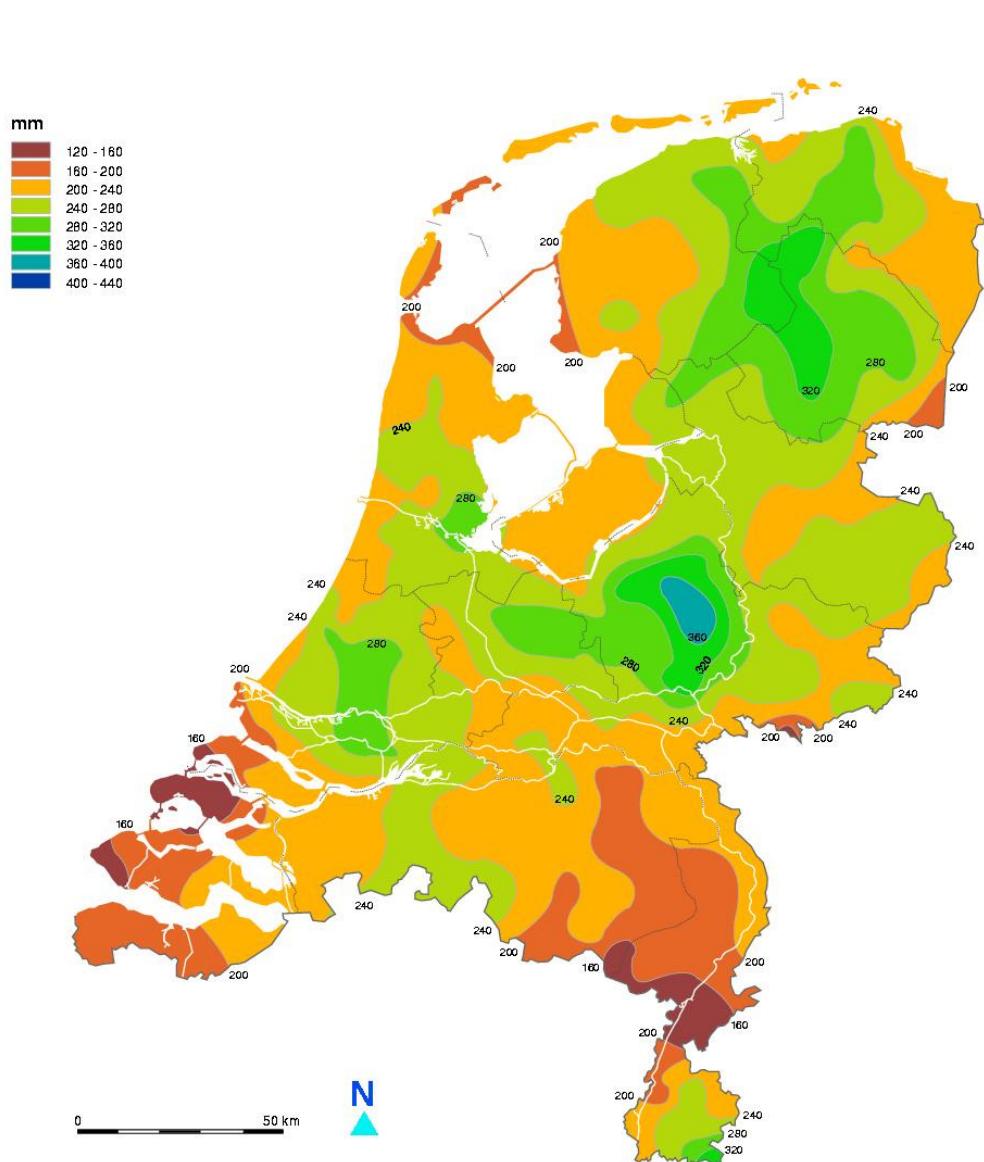


Figuur 1: Langjarige (1951-2007) jaarlijkse neerslag in Nederland (KNMI Klimaatatlas)



Figuur 2: Langjarig (1951-2007) gemiddelde jaarlijkse verdamping (KNMI Klimaatsatlas)





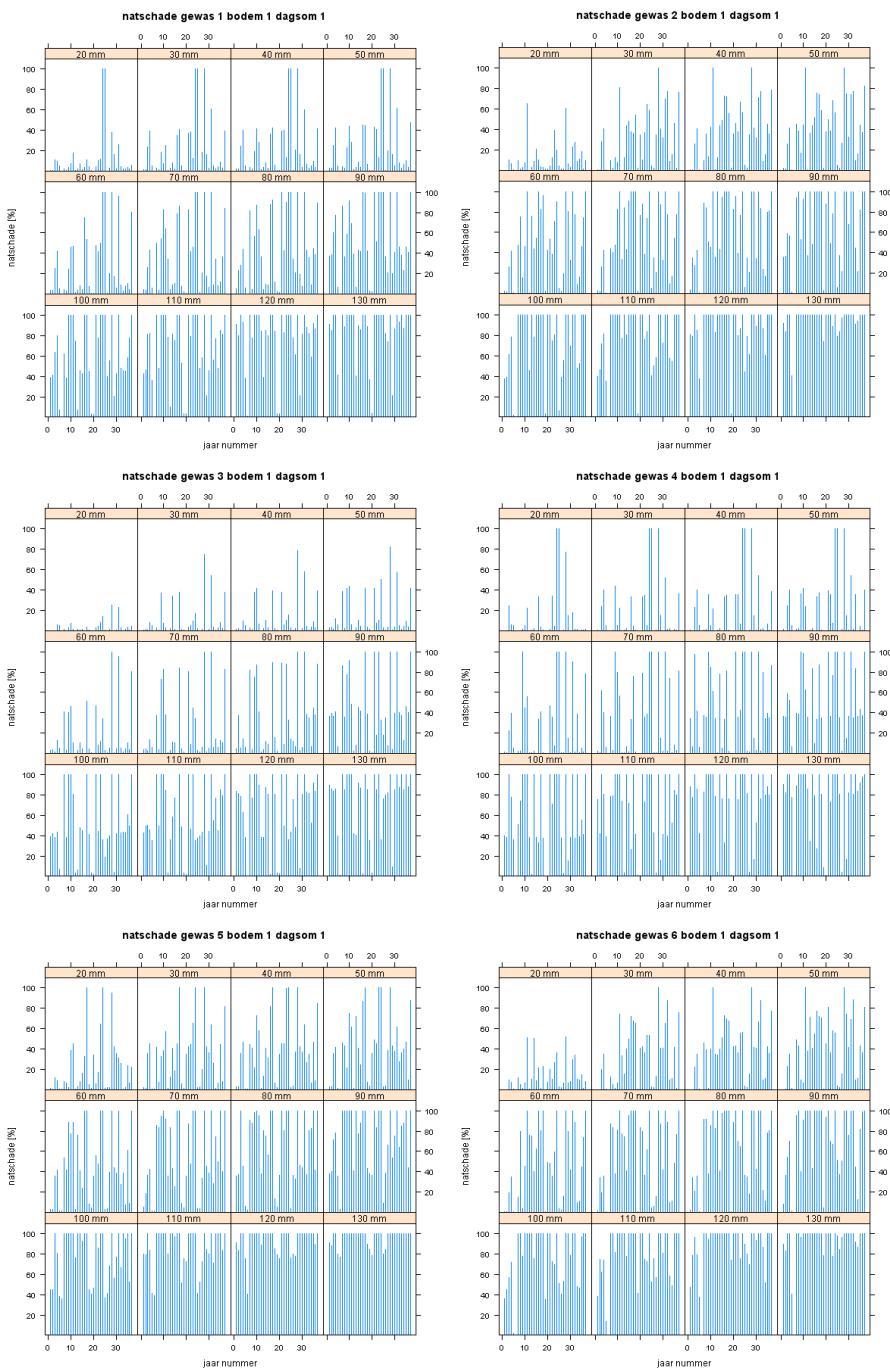
Figuur 2: Langjarig (1951-2007) gemiddelde jaarlijkse neerslagoverschot (KNMI Klimaatsatlas)

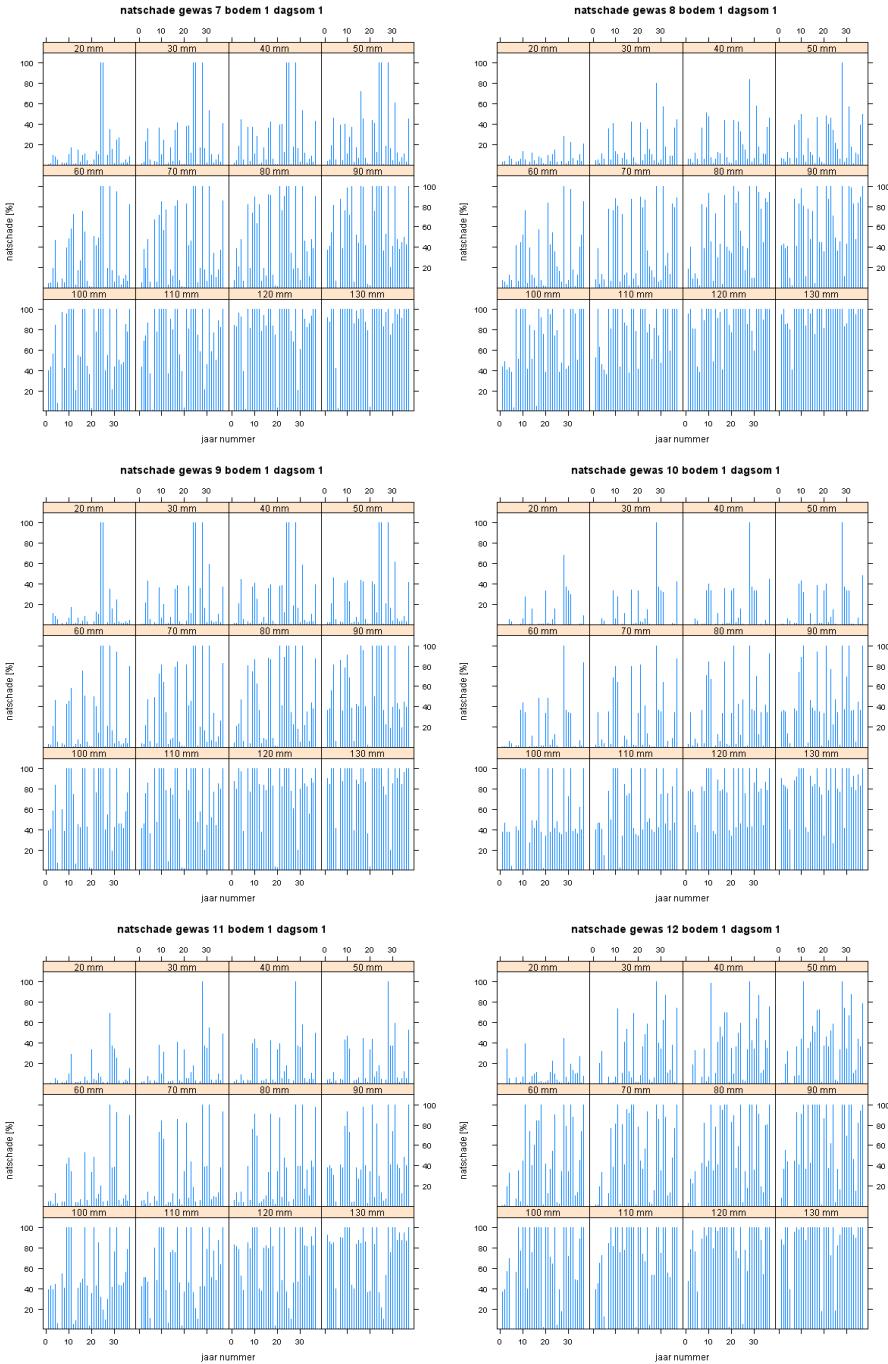
Bijlage 3

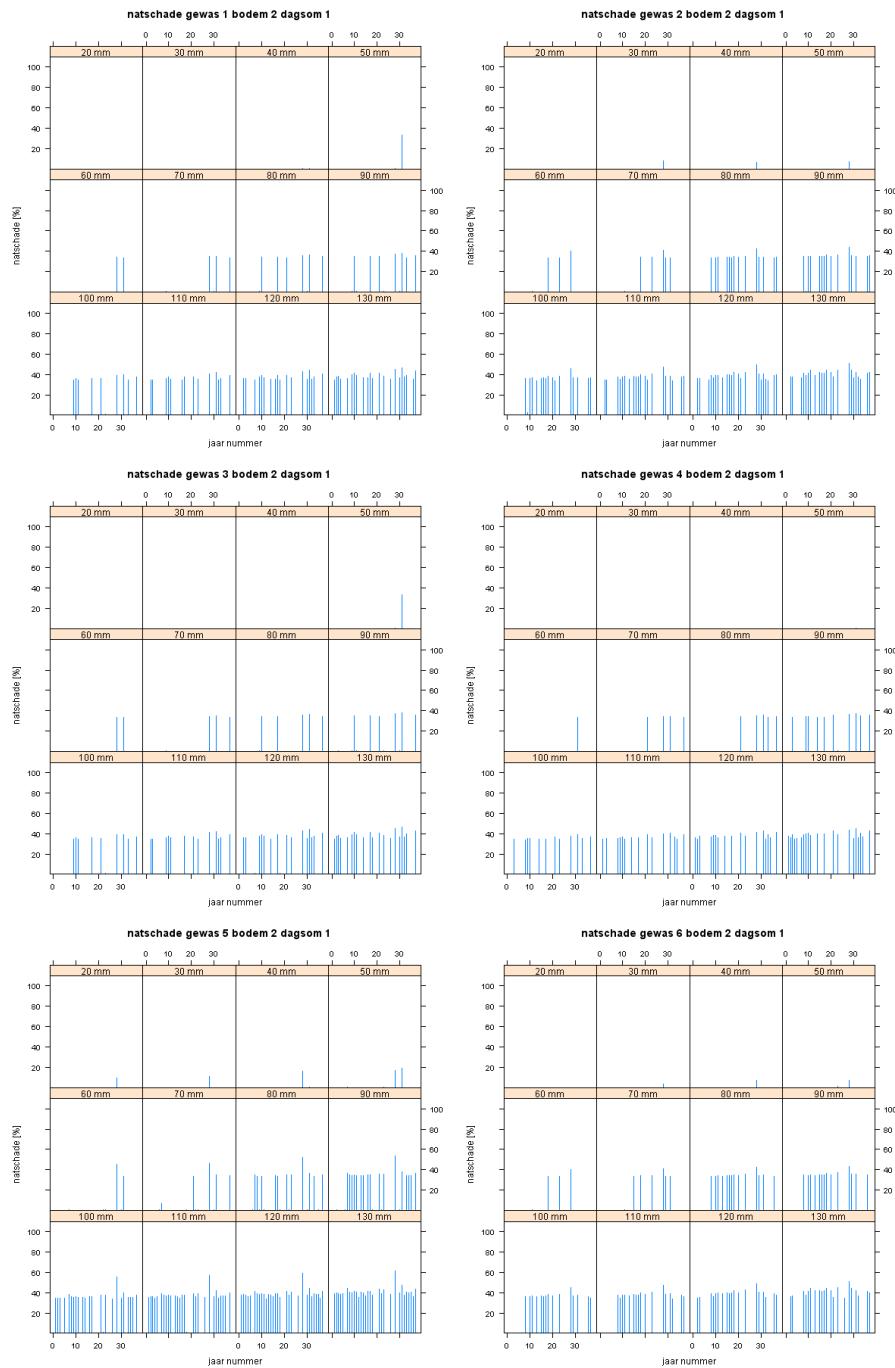
Natschade per gewas-bodemcombinatie voor verschillende neerslagintensiteiten

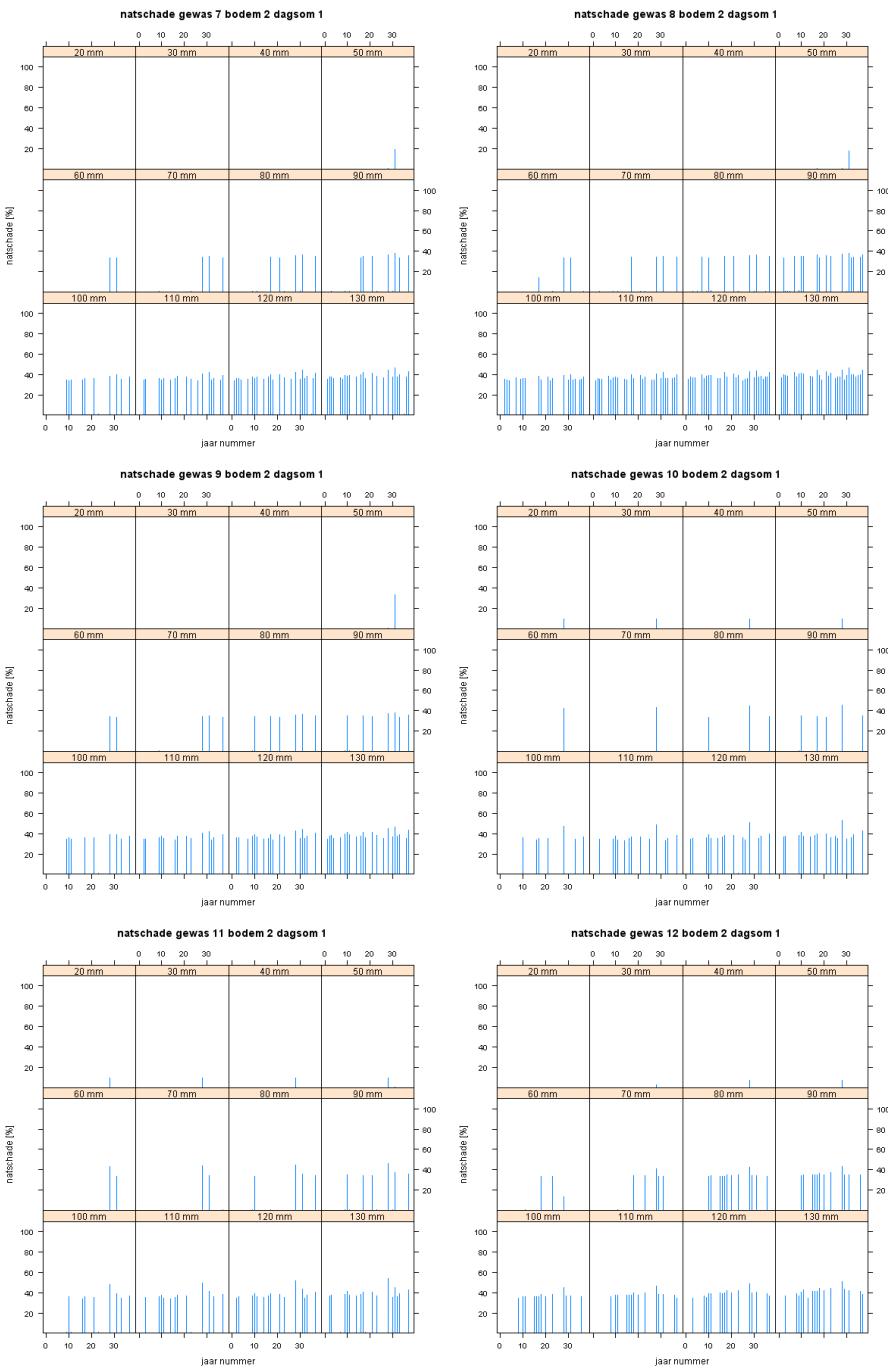


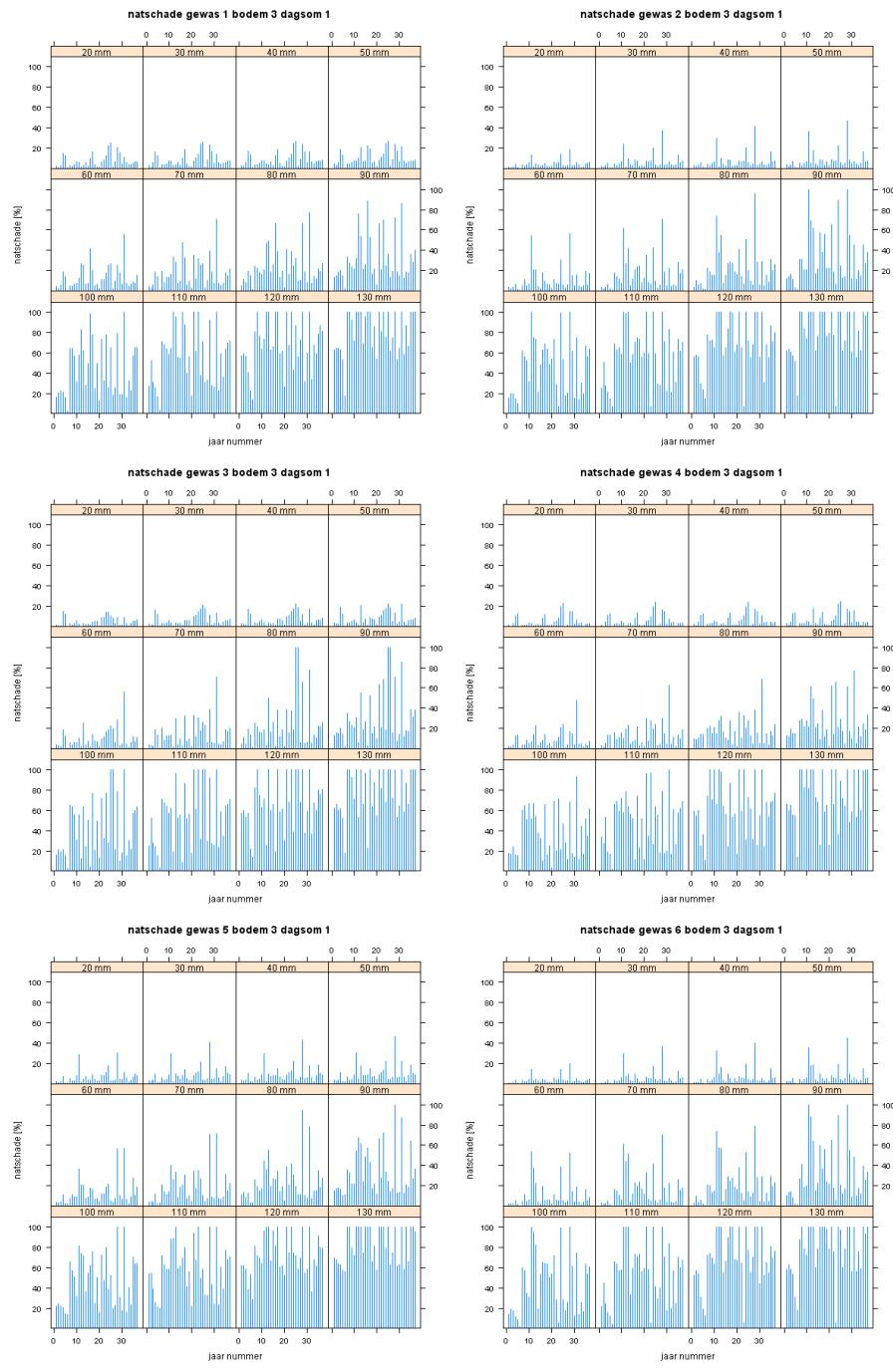
1 daagse som:

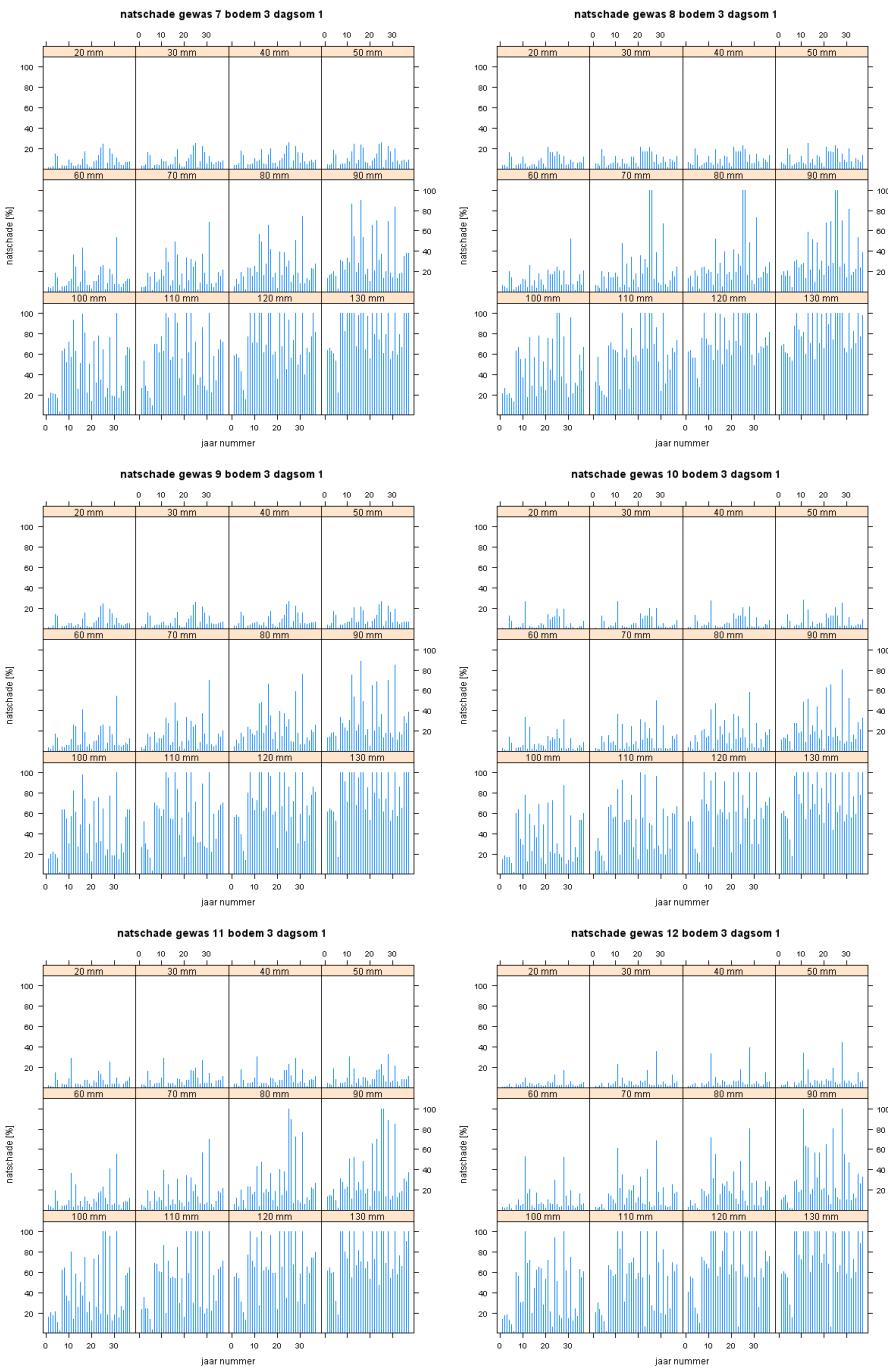


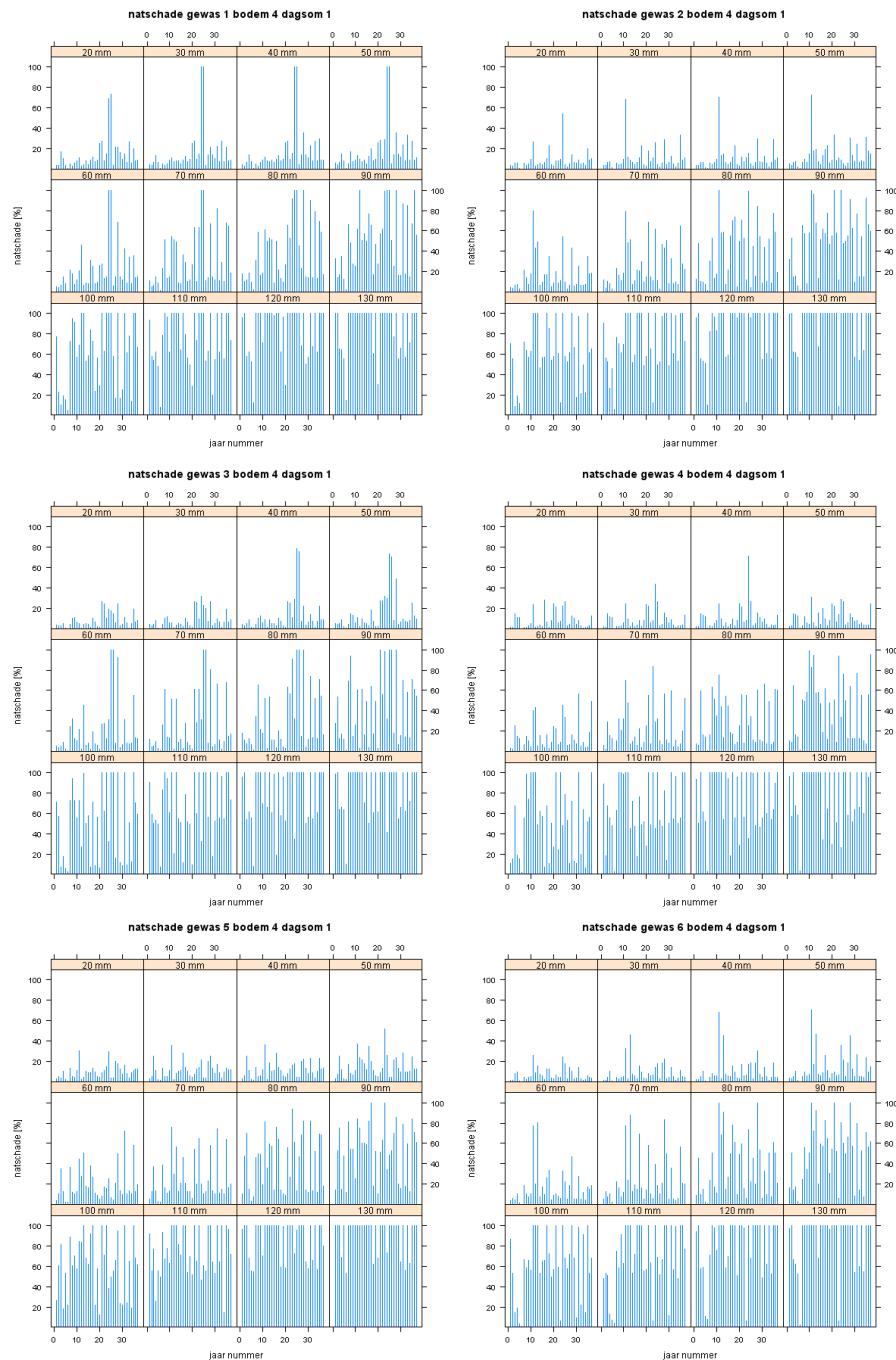


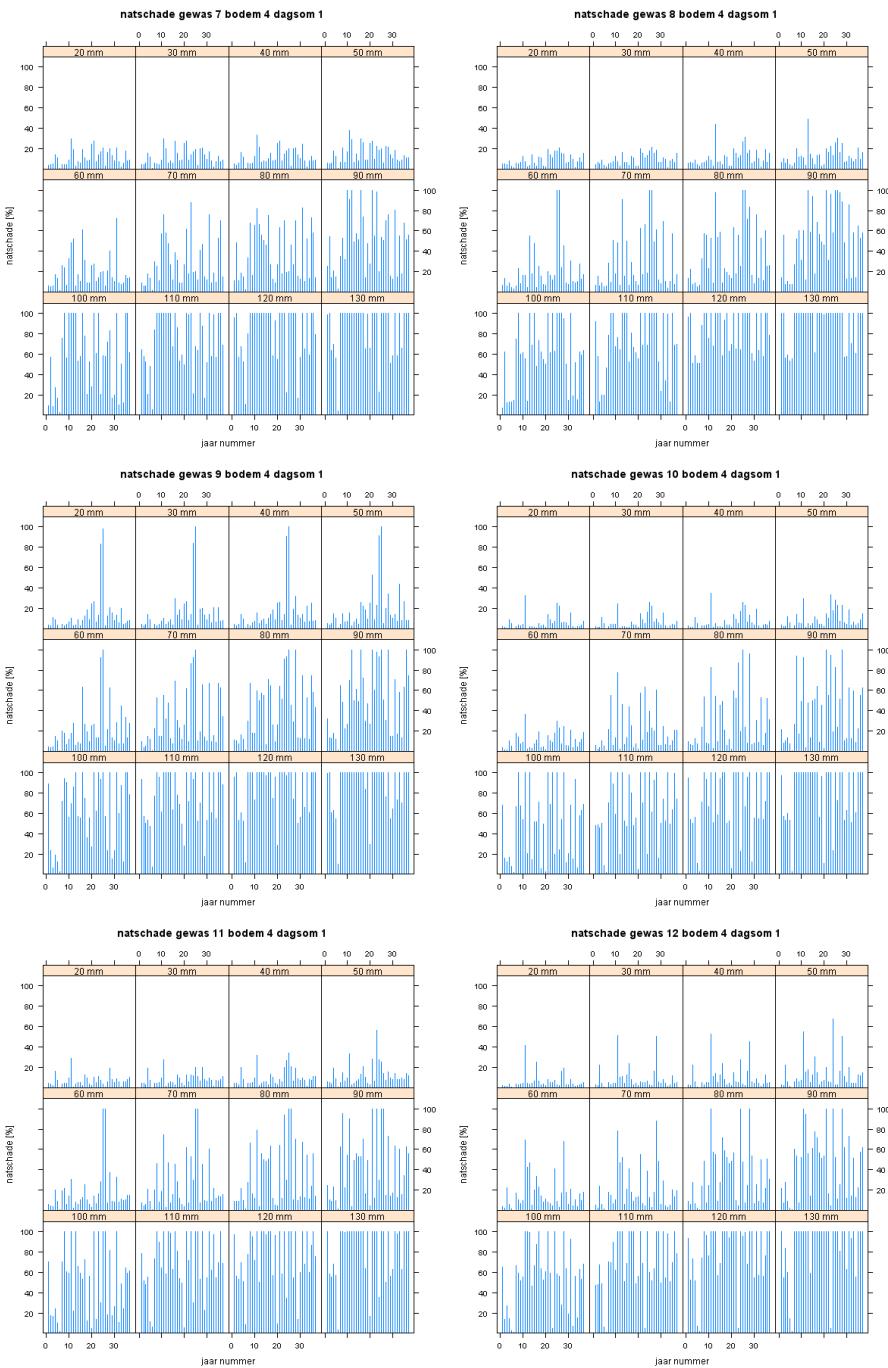


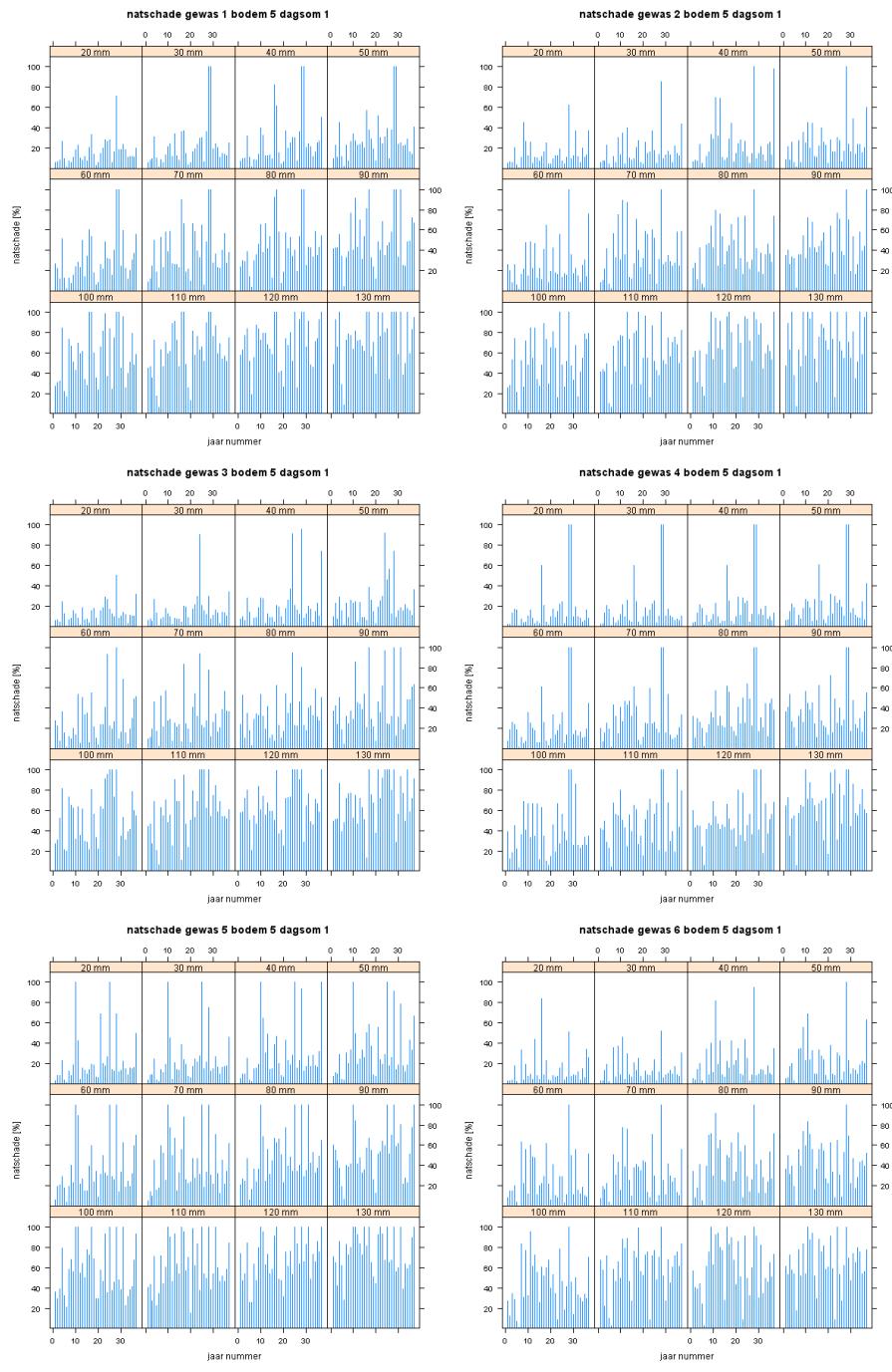


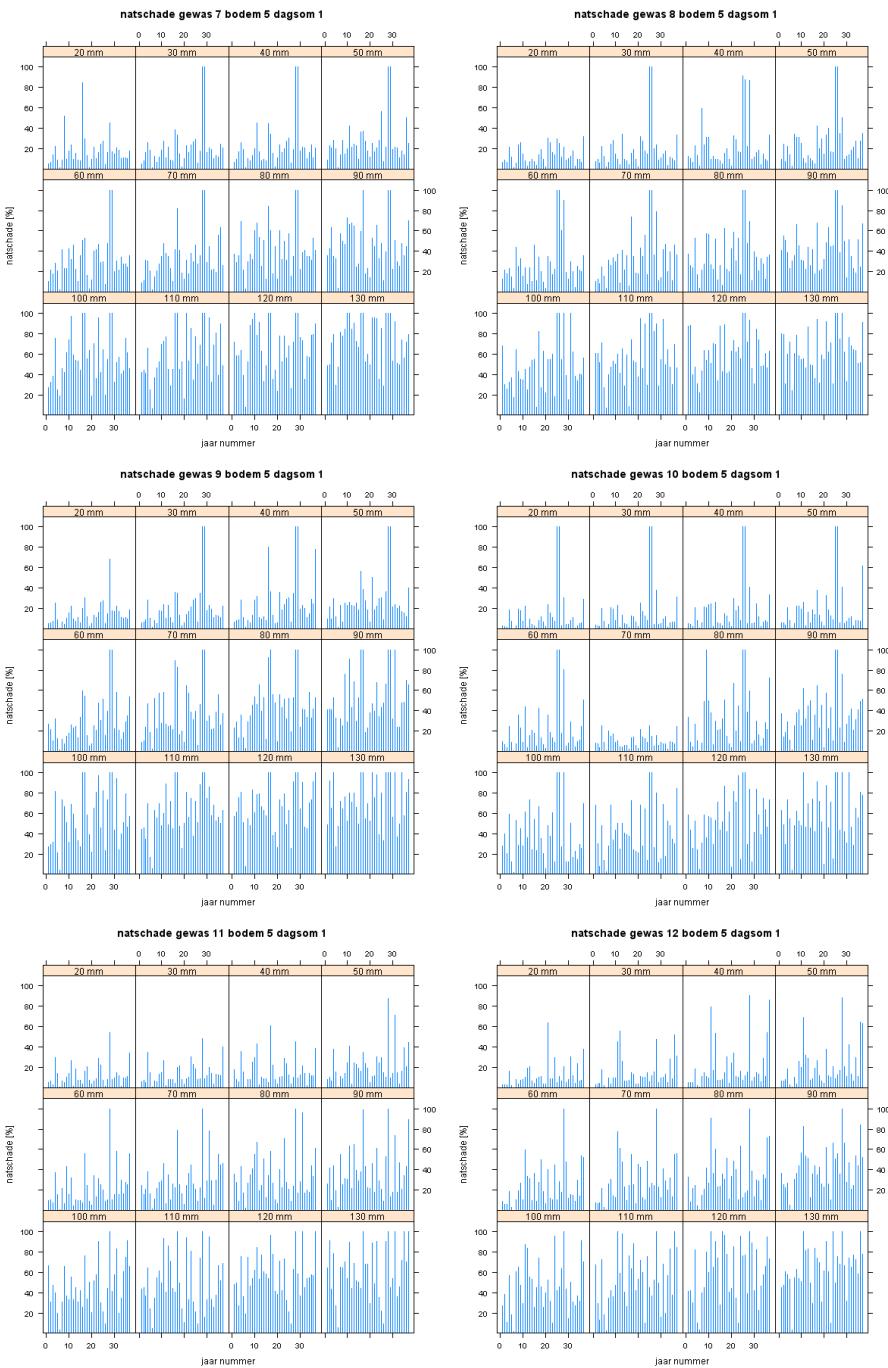


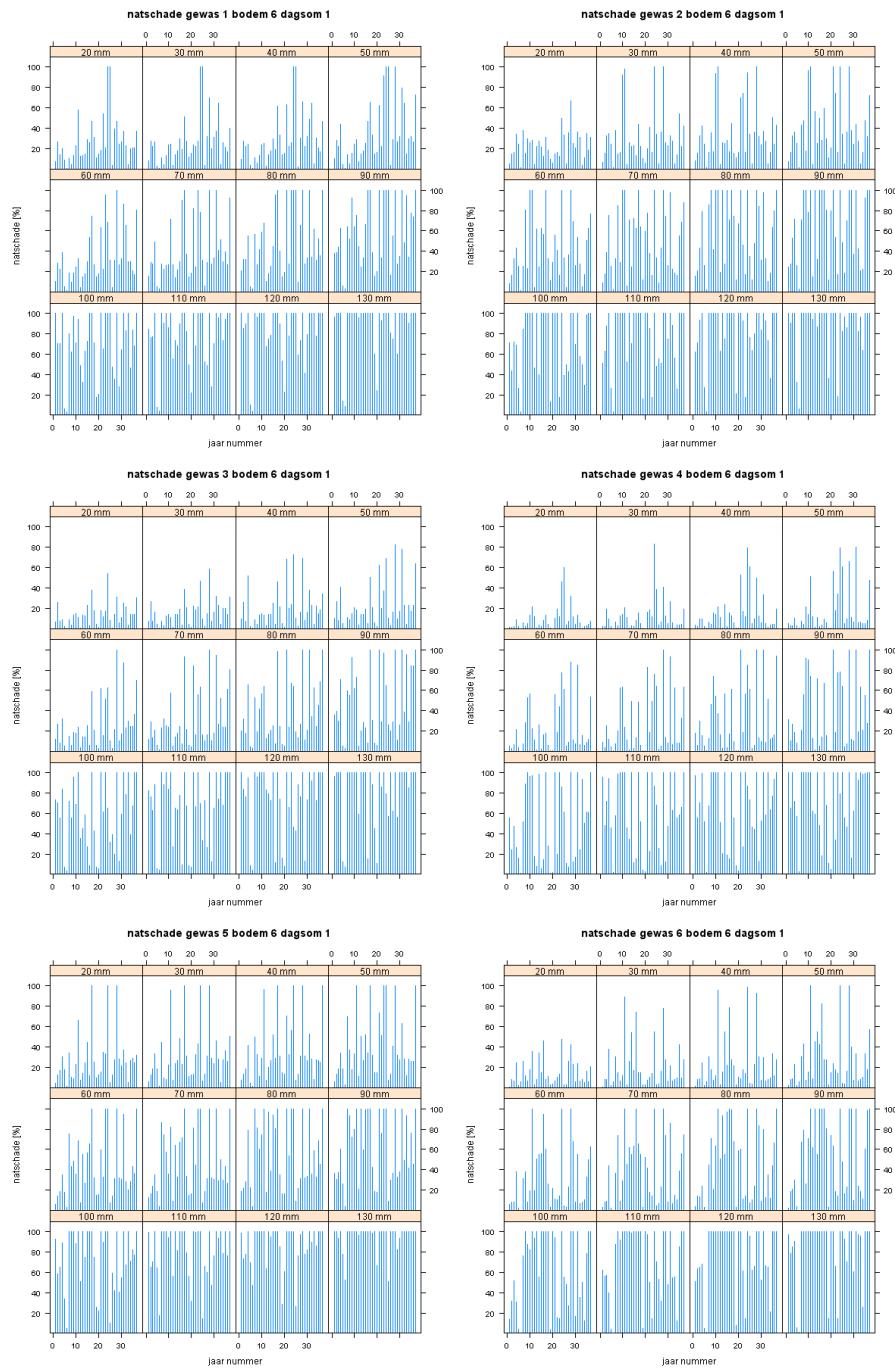


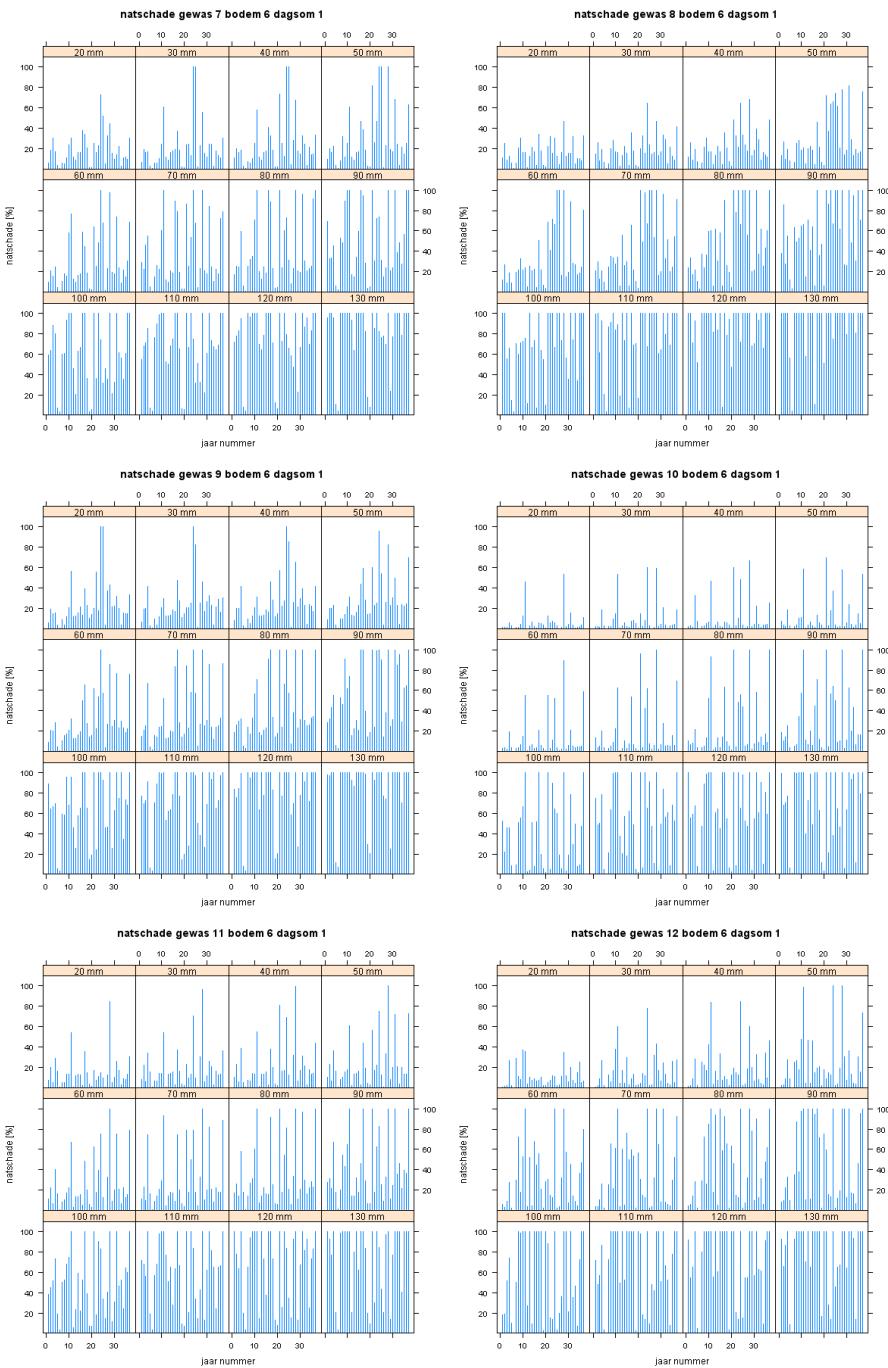


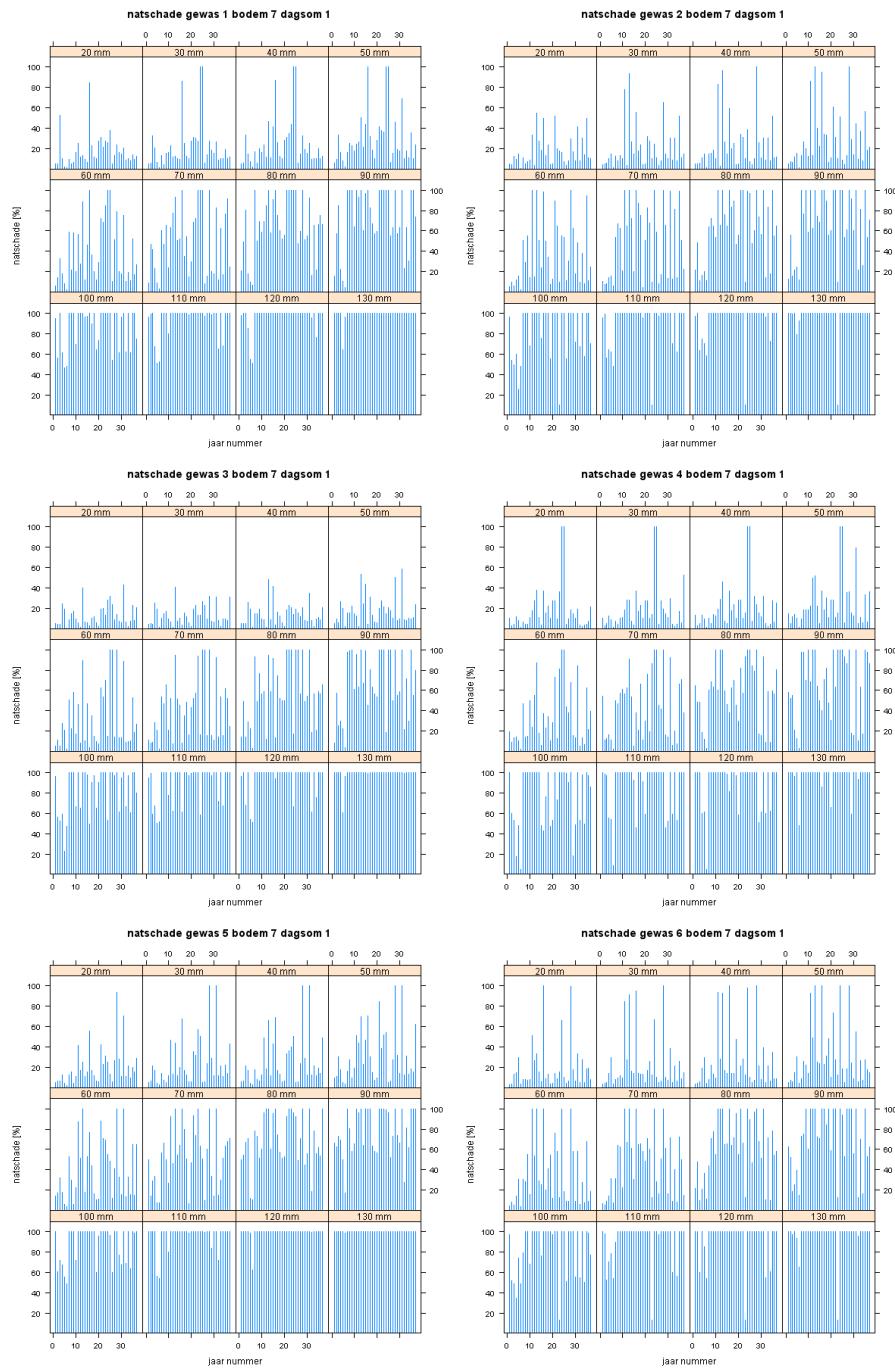


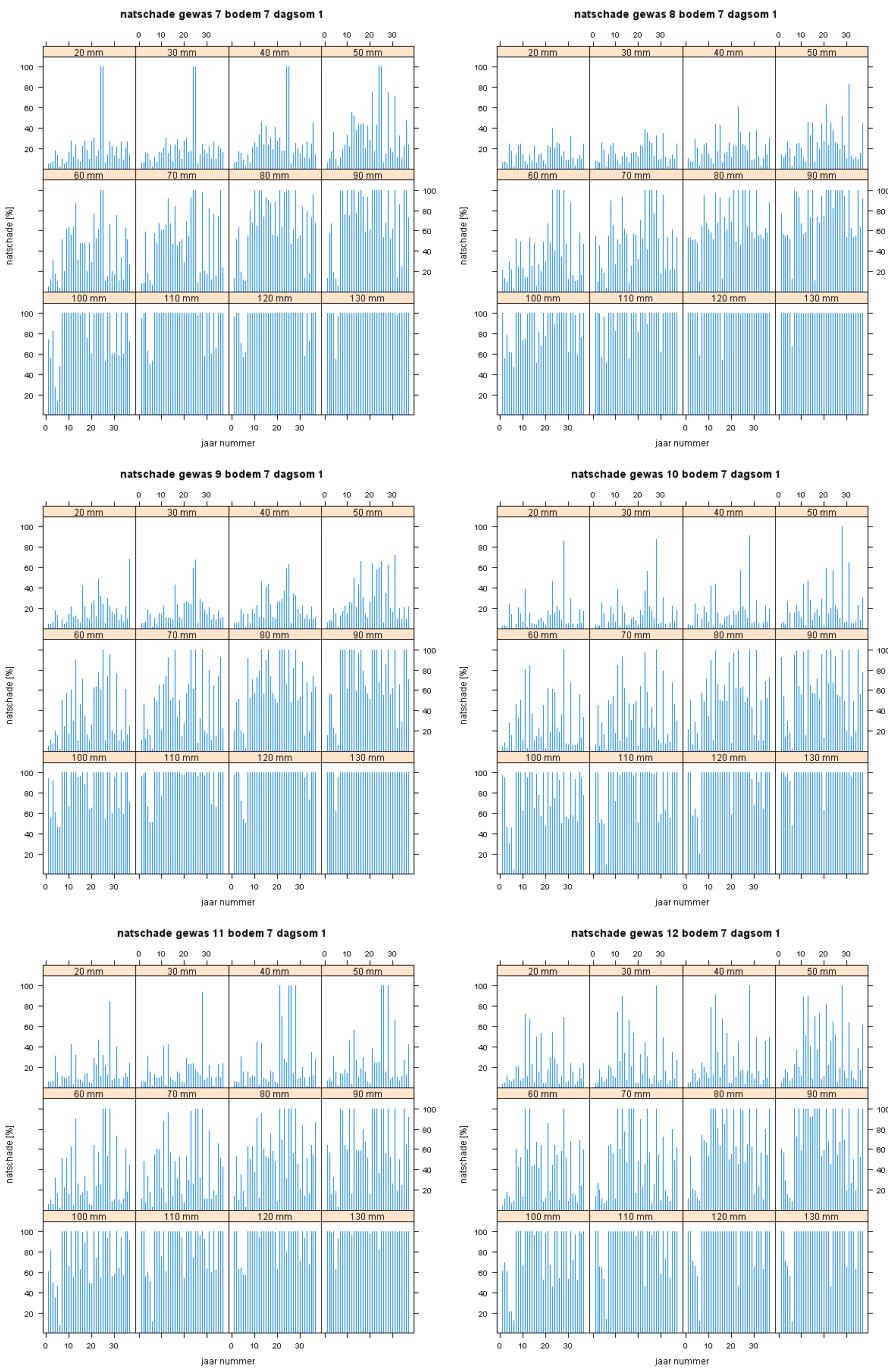




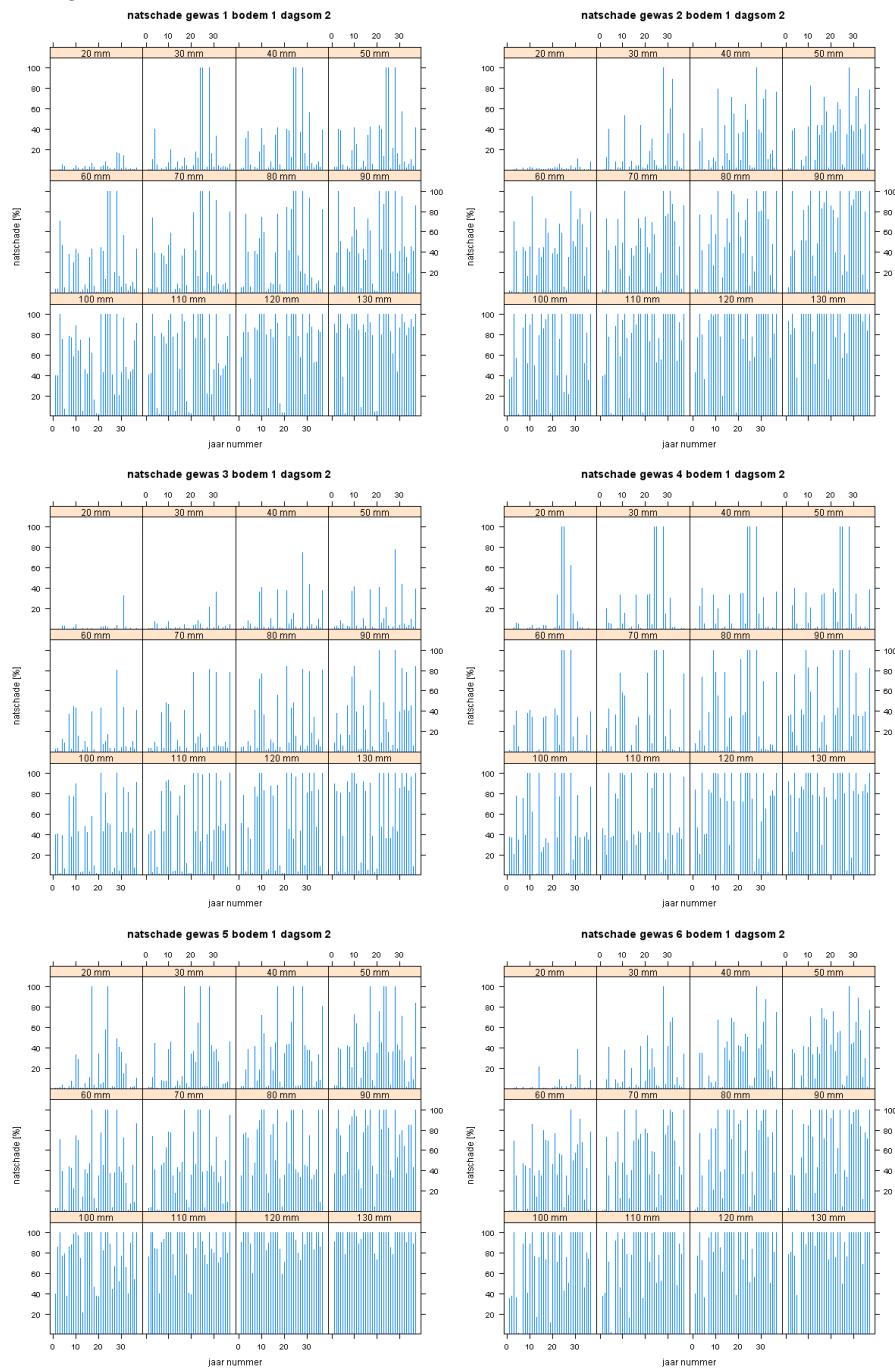


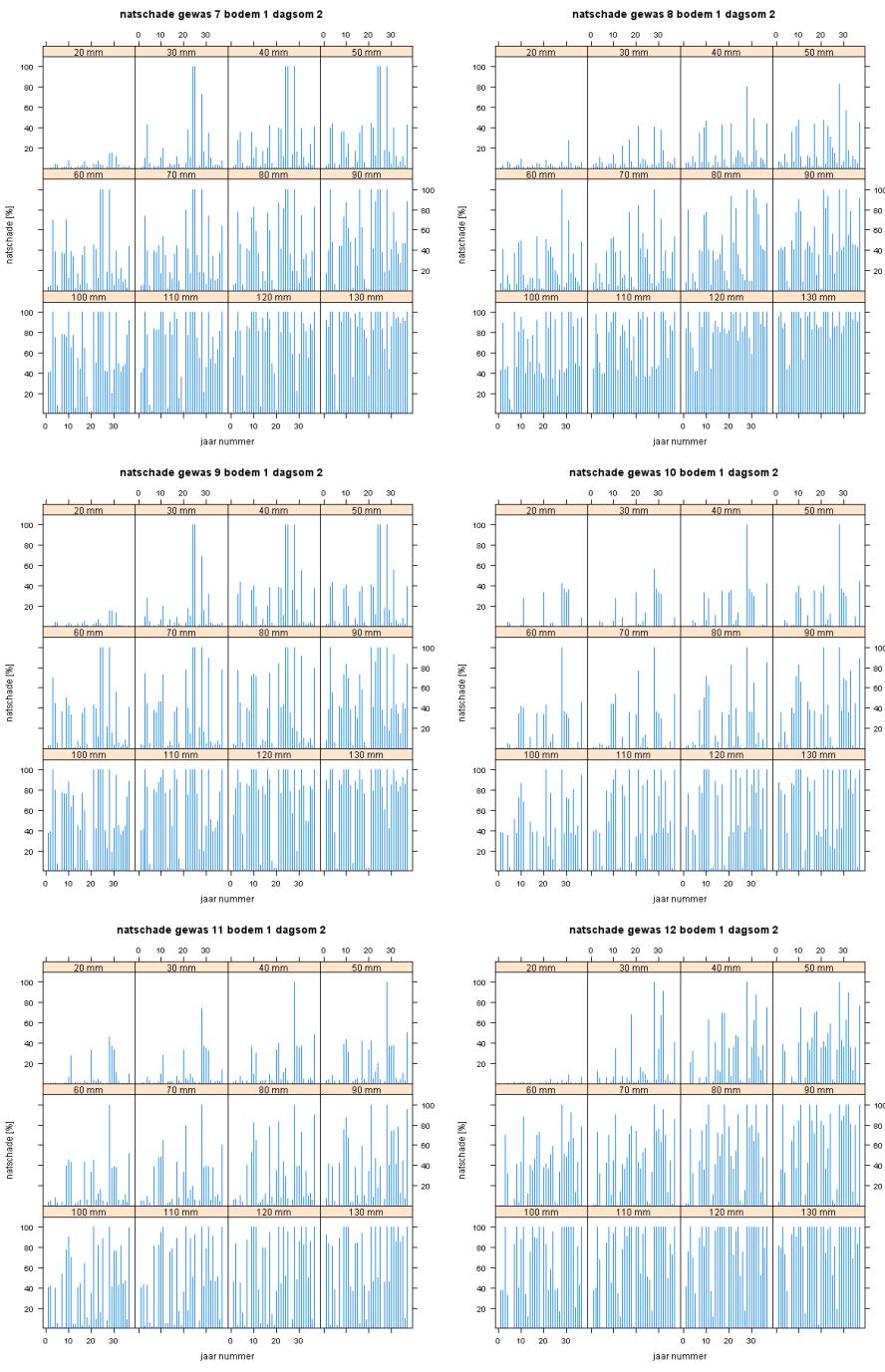


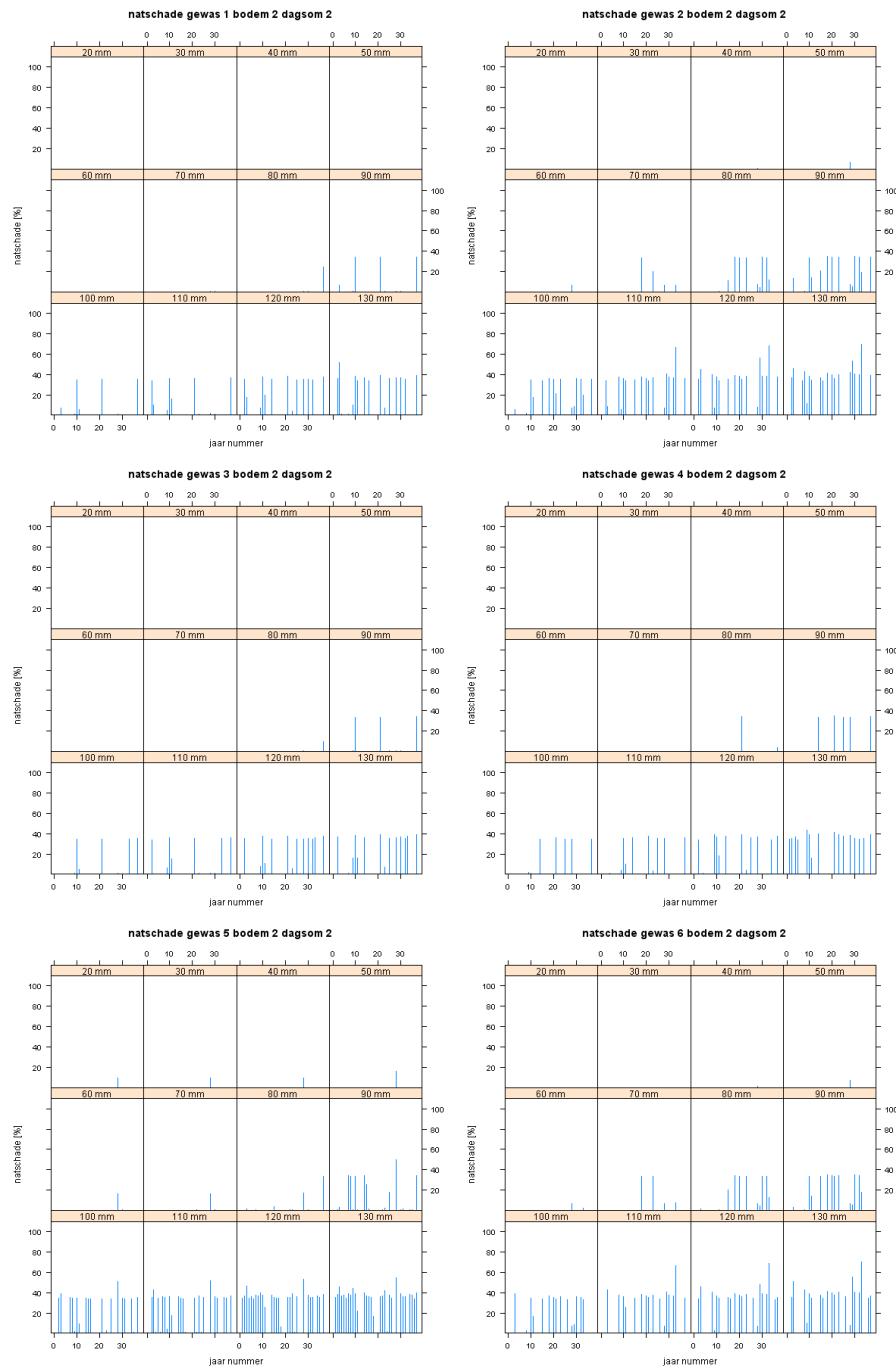


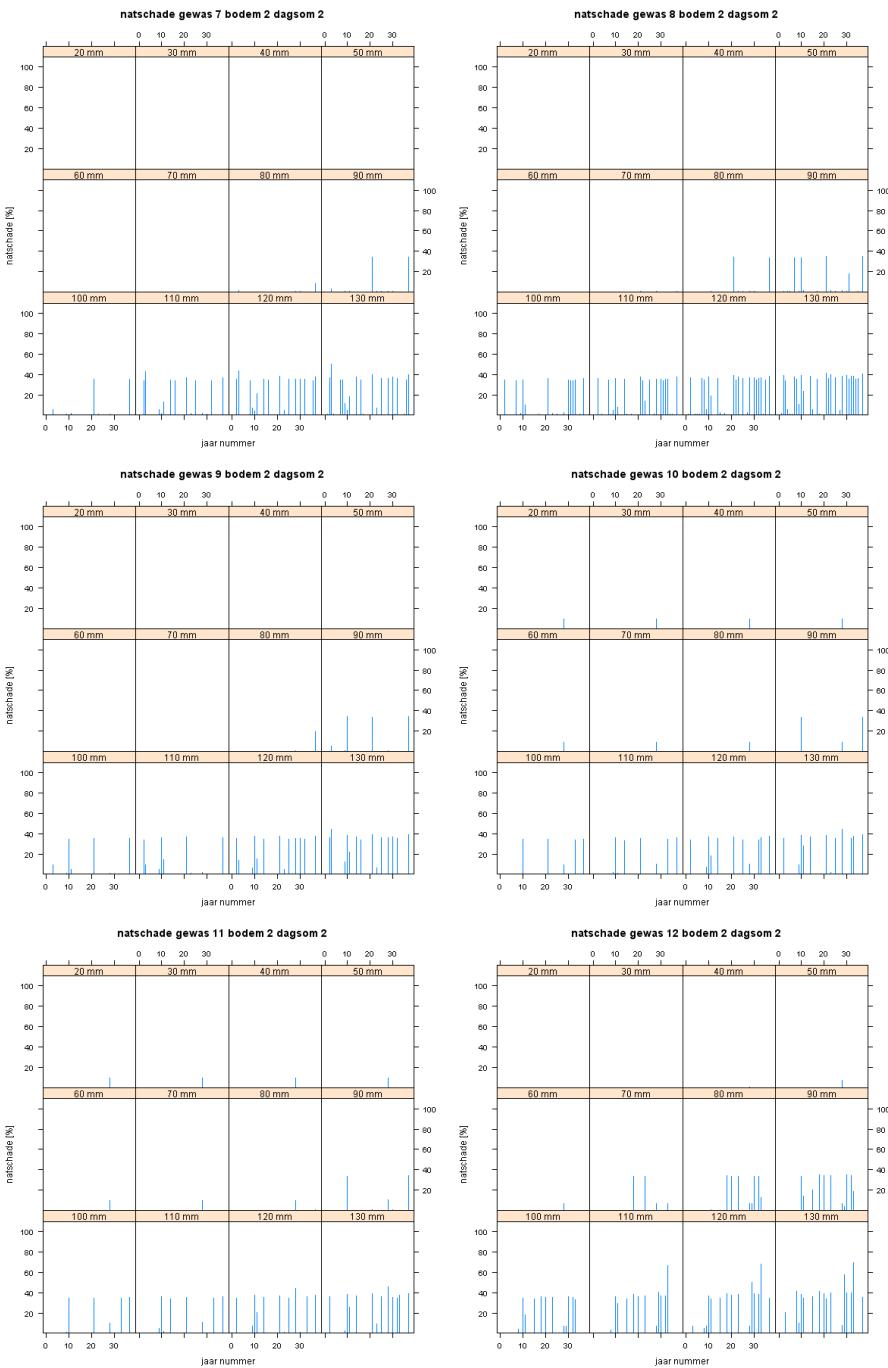


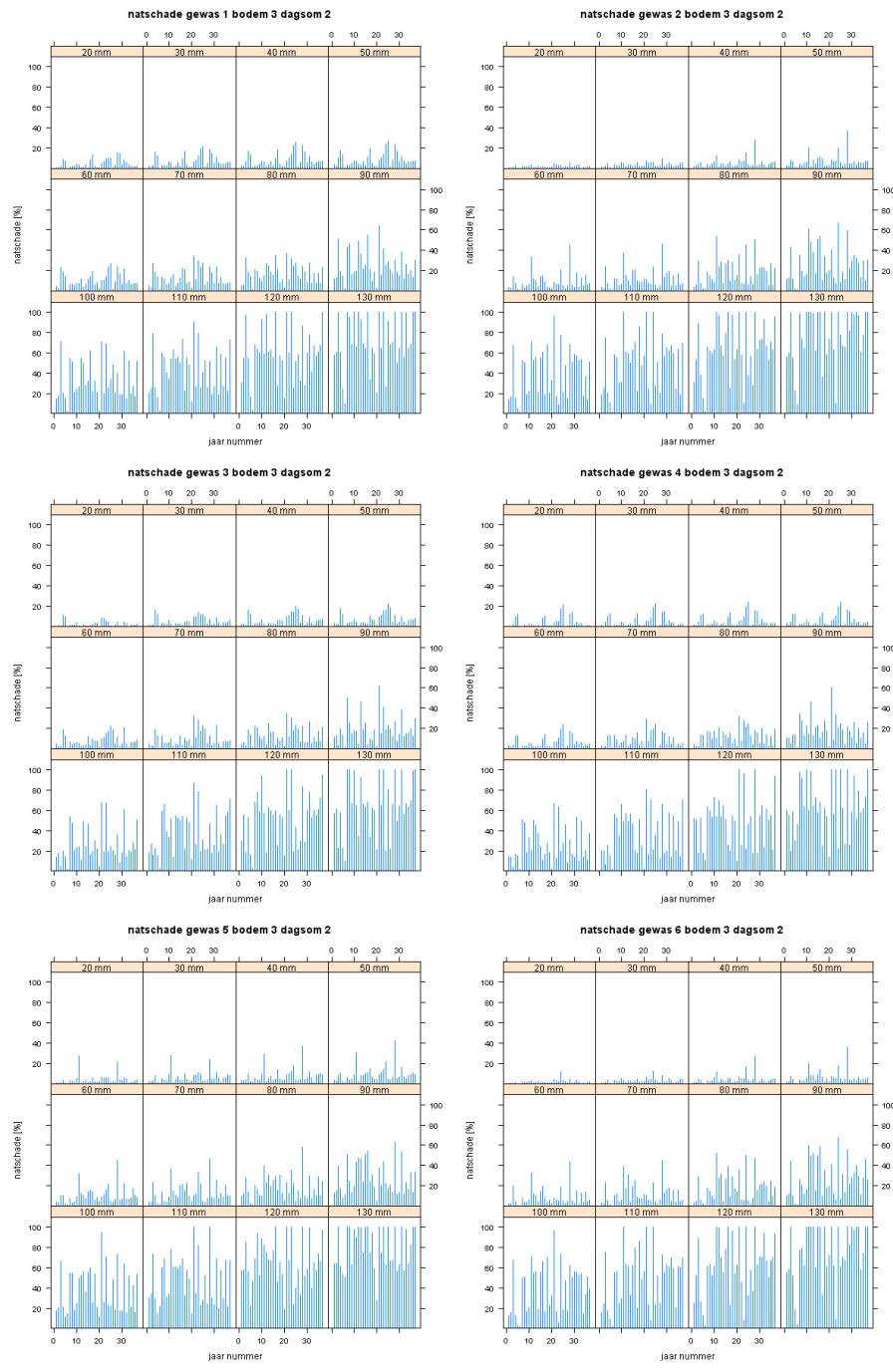
2 daagse som:

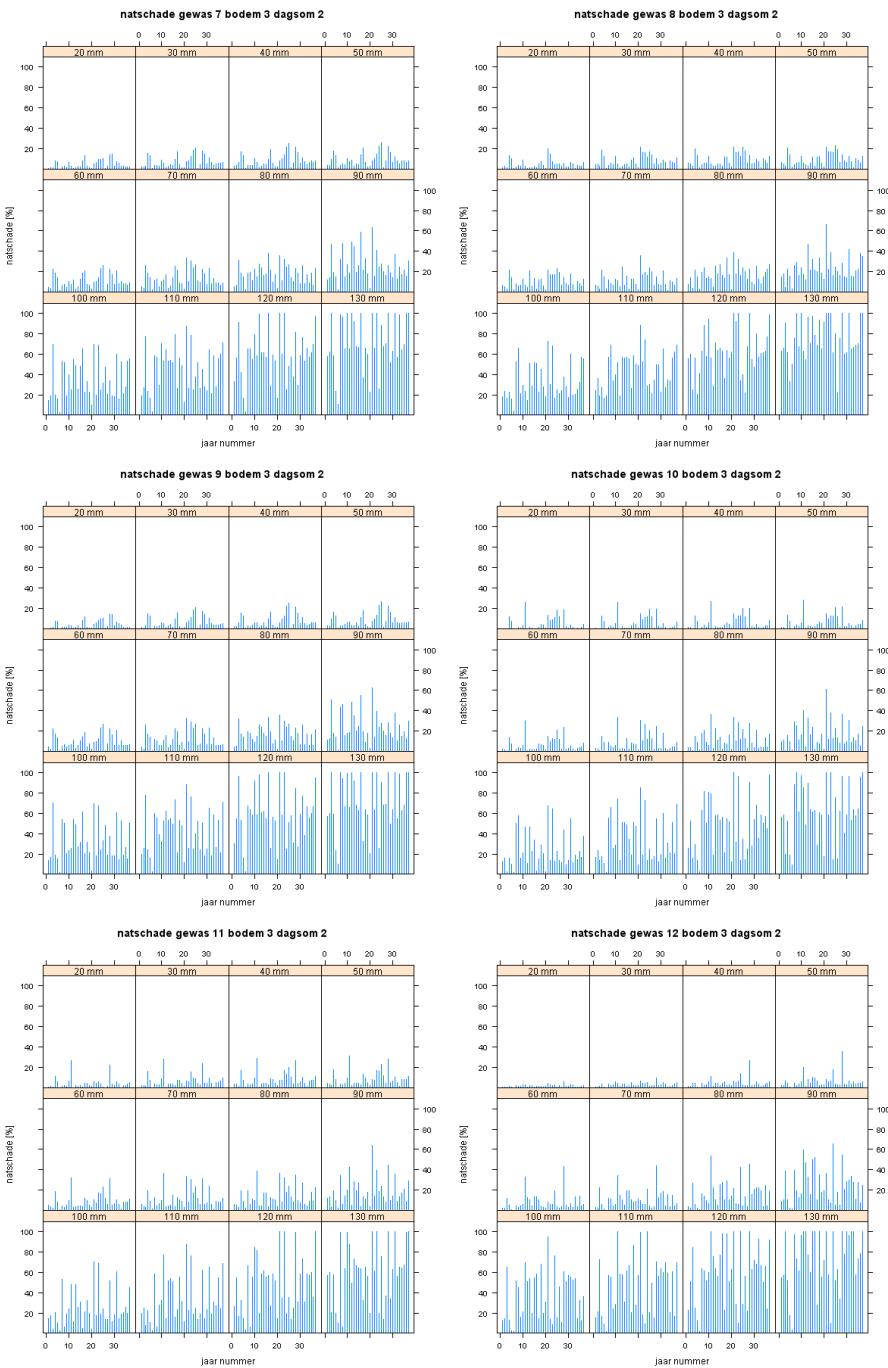


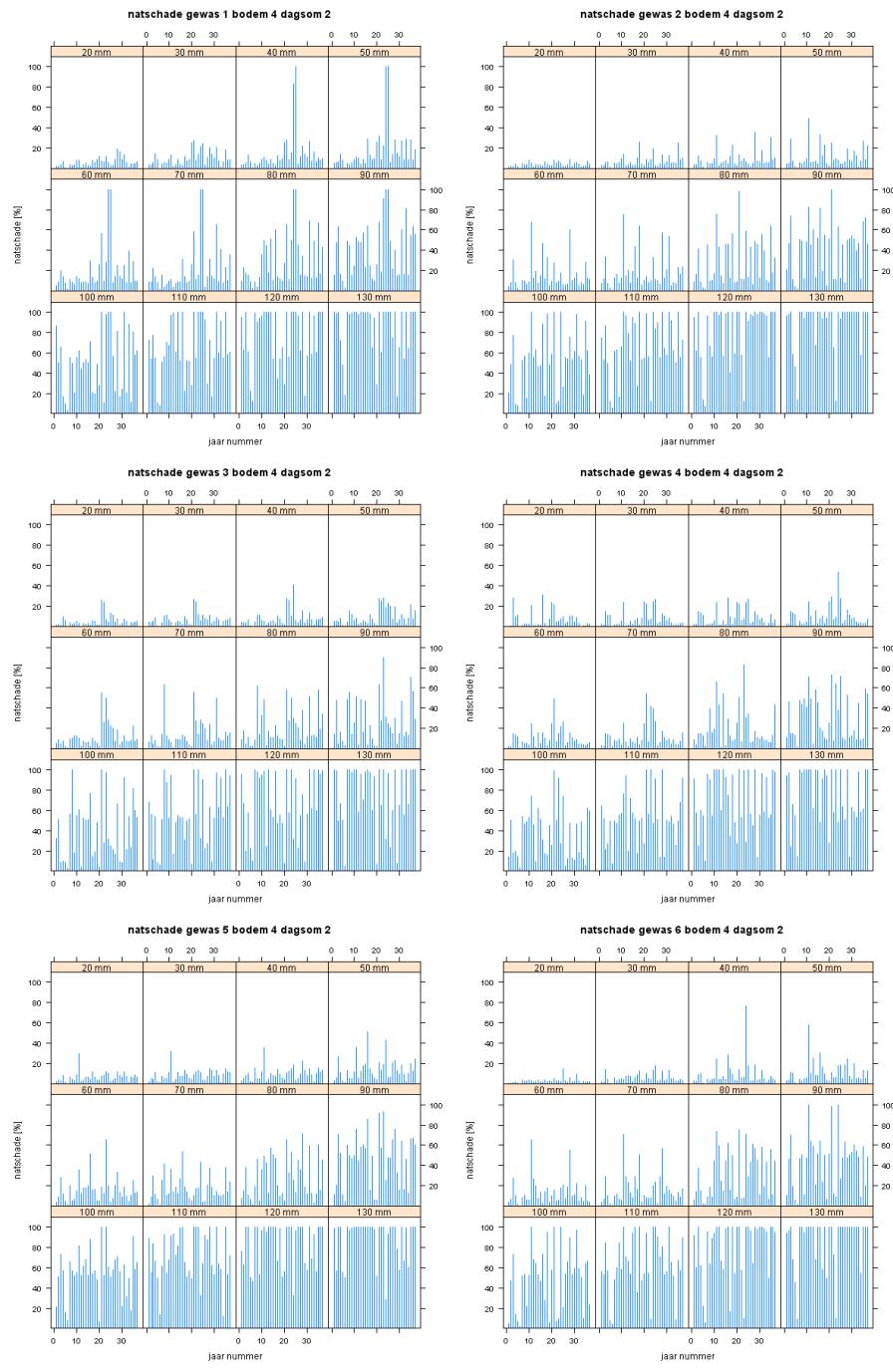


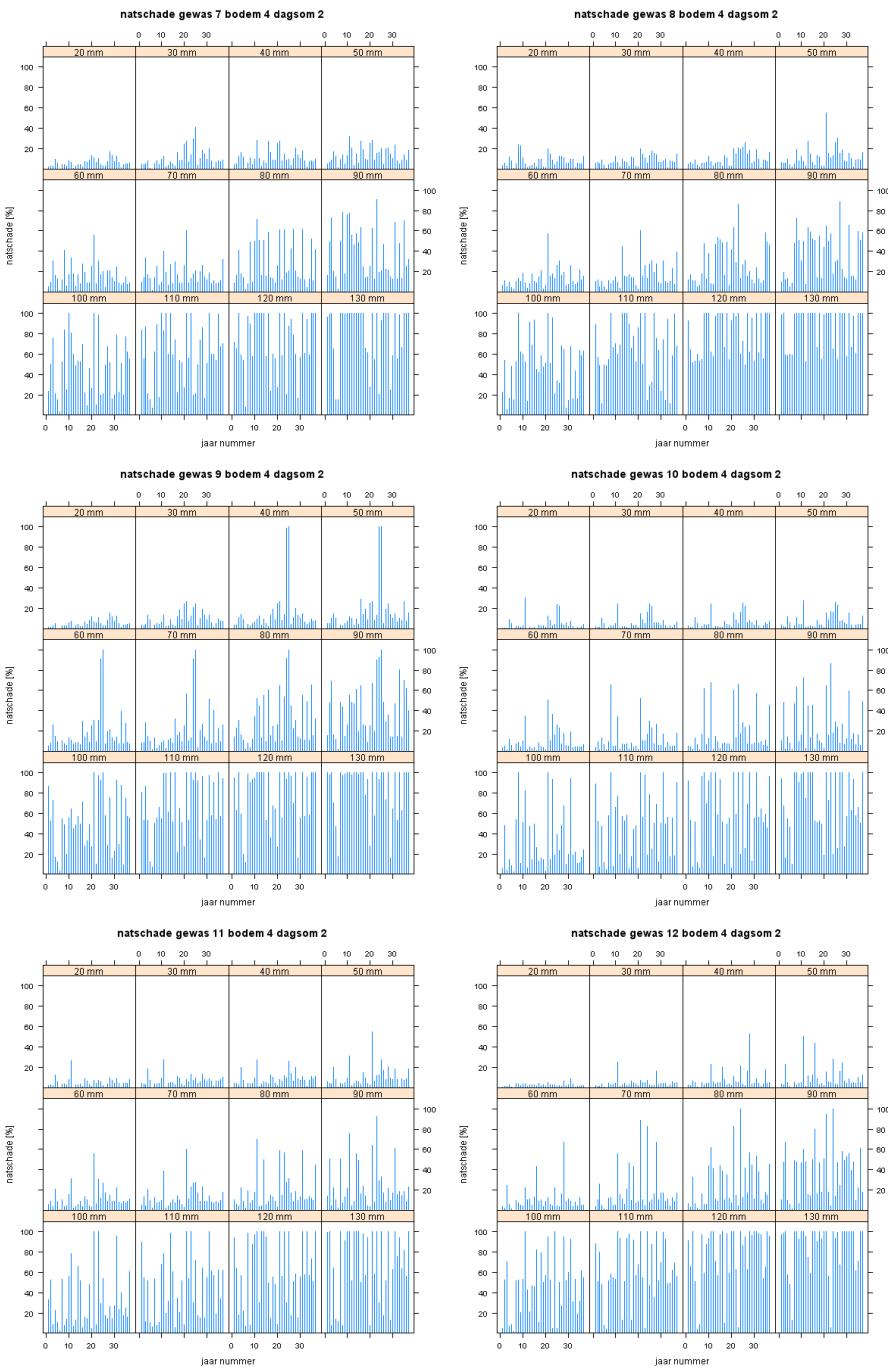


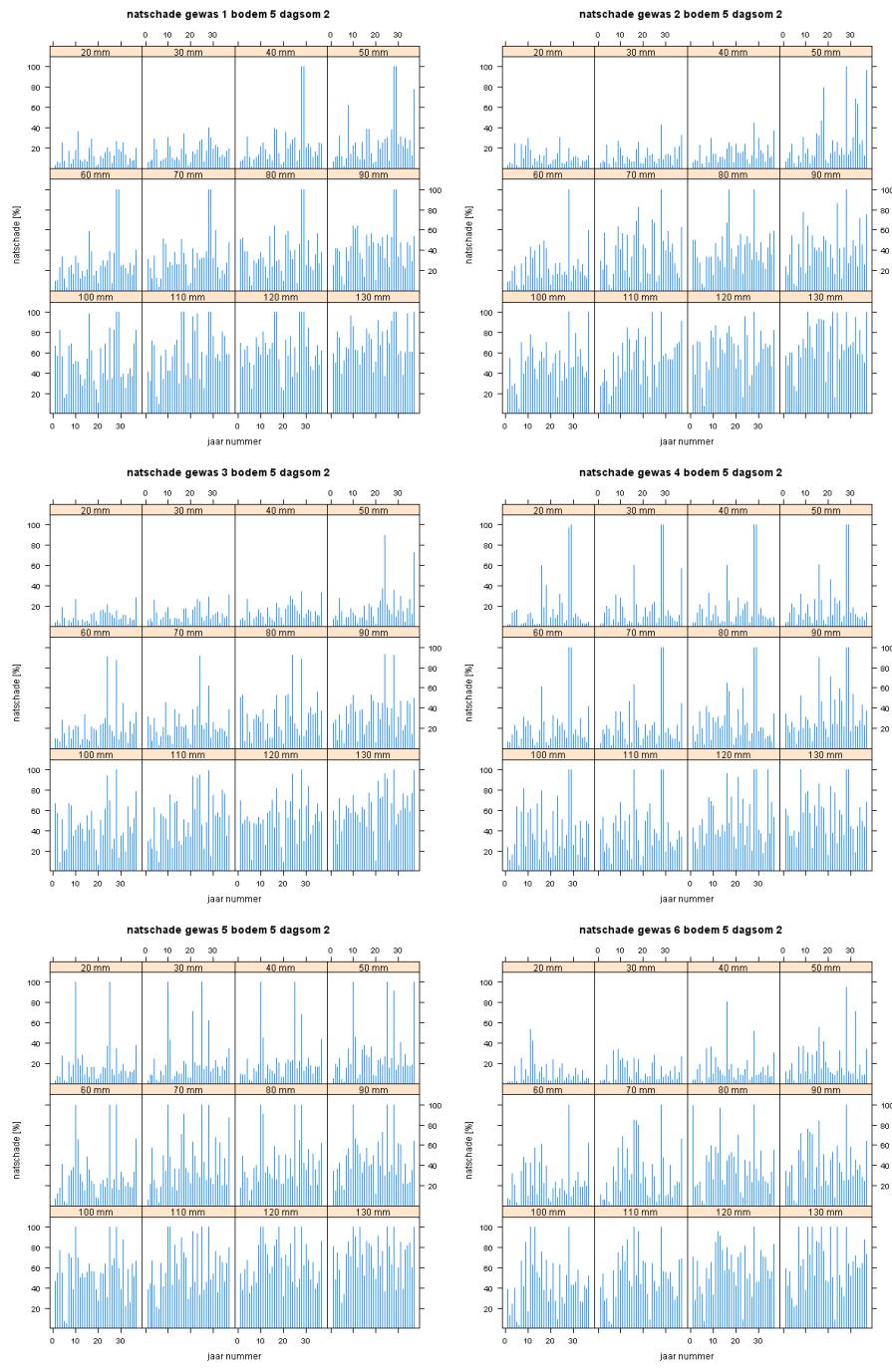


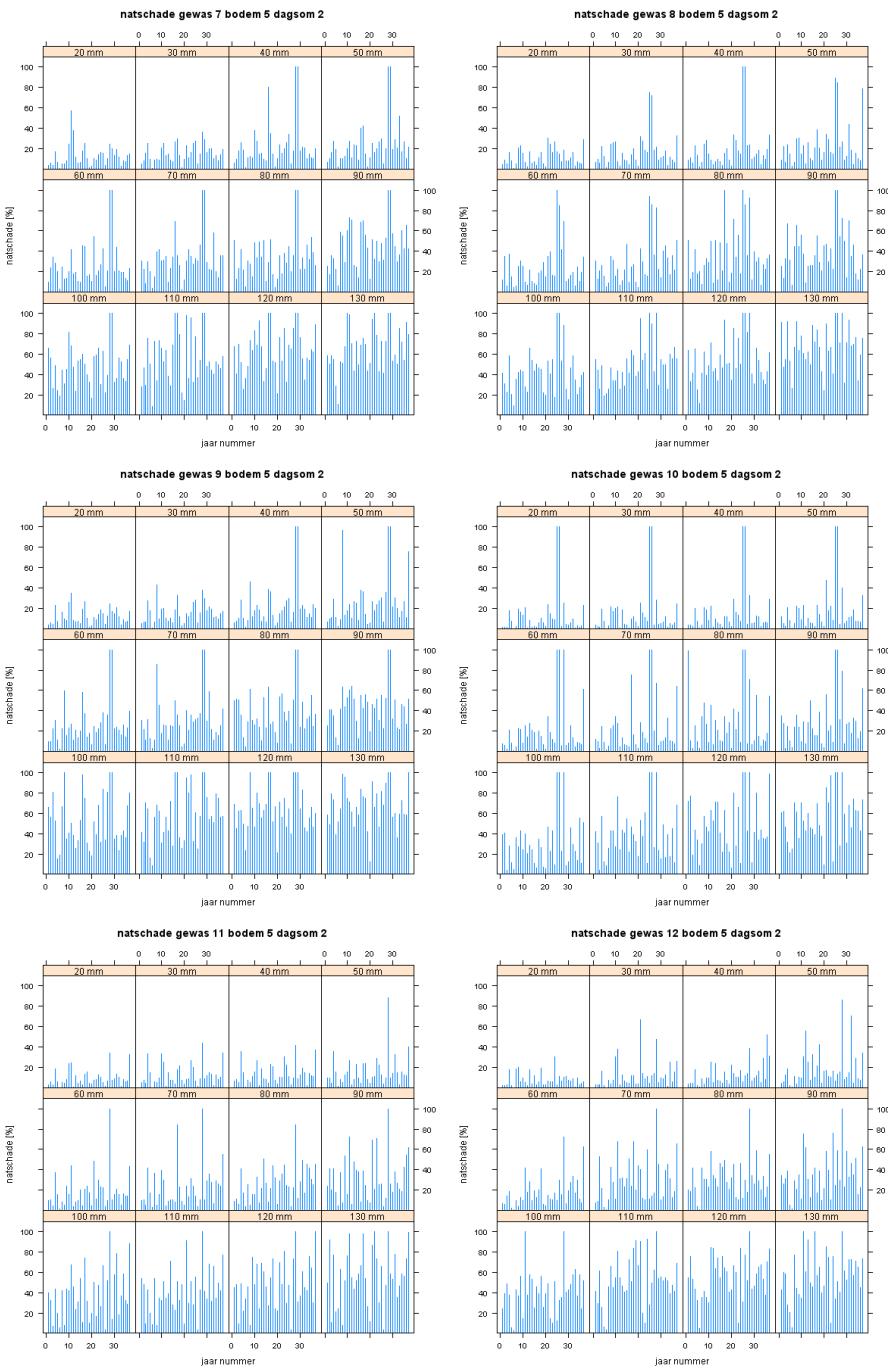


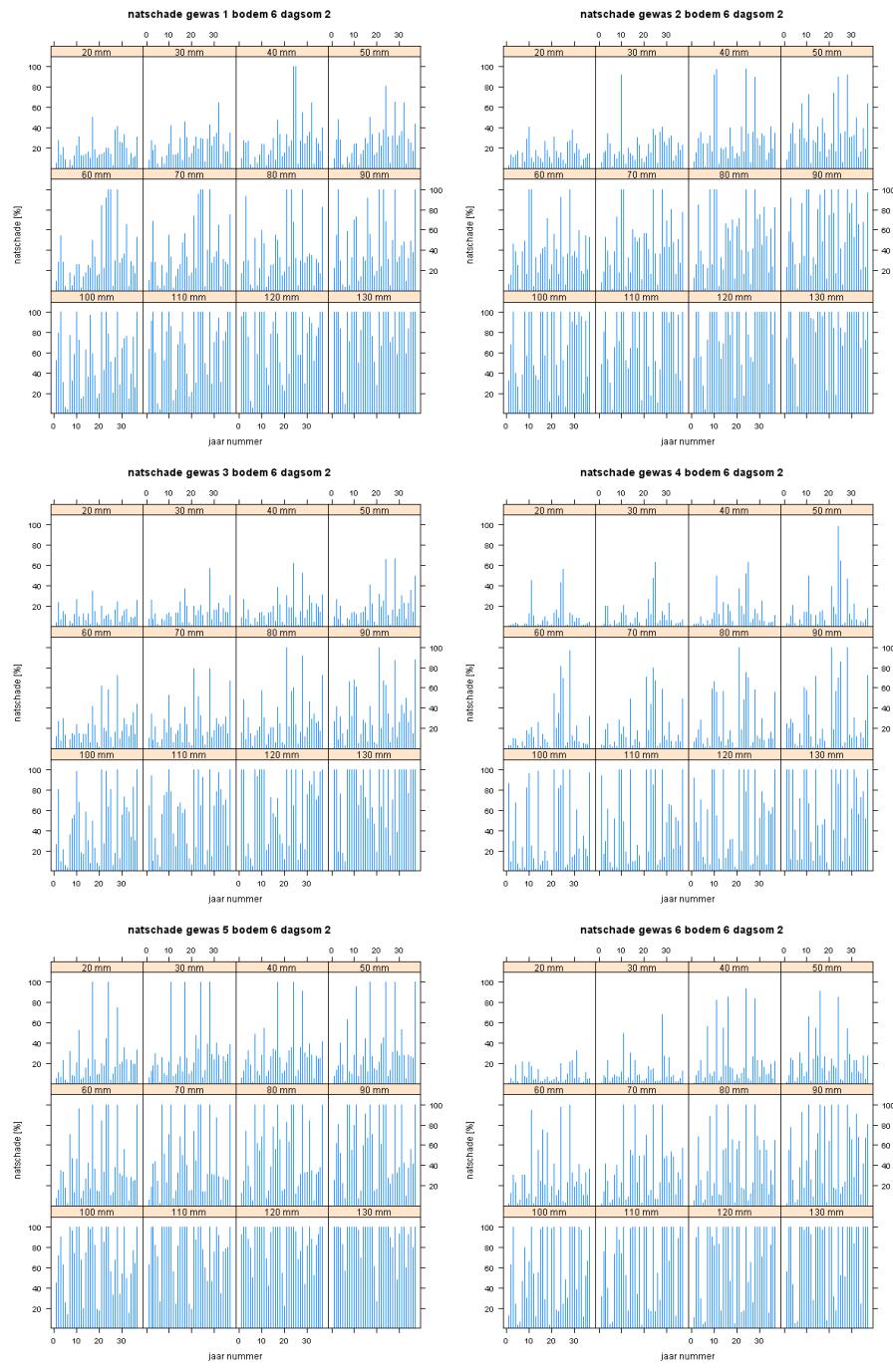


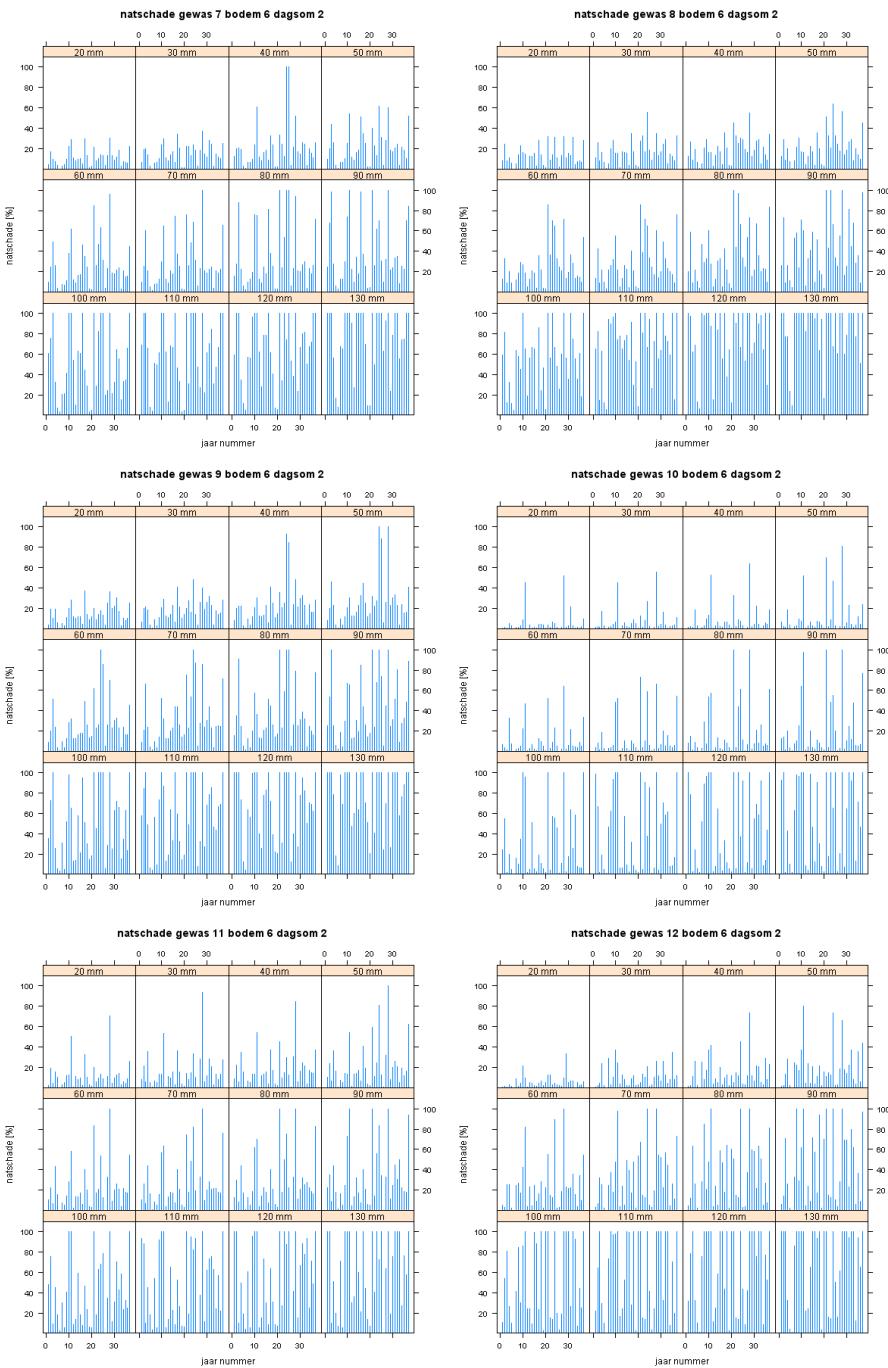


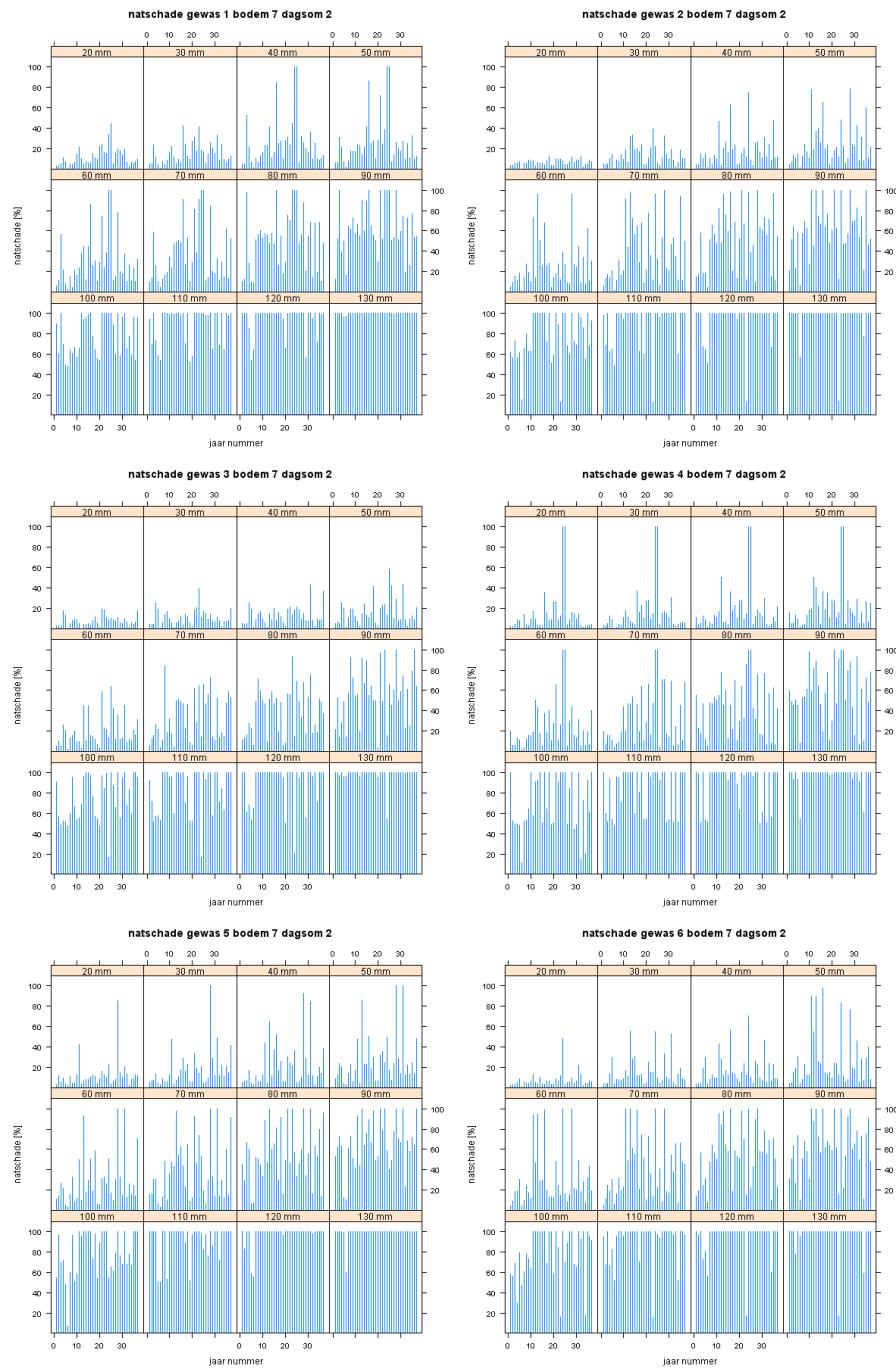


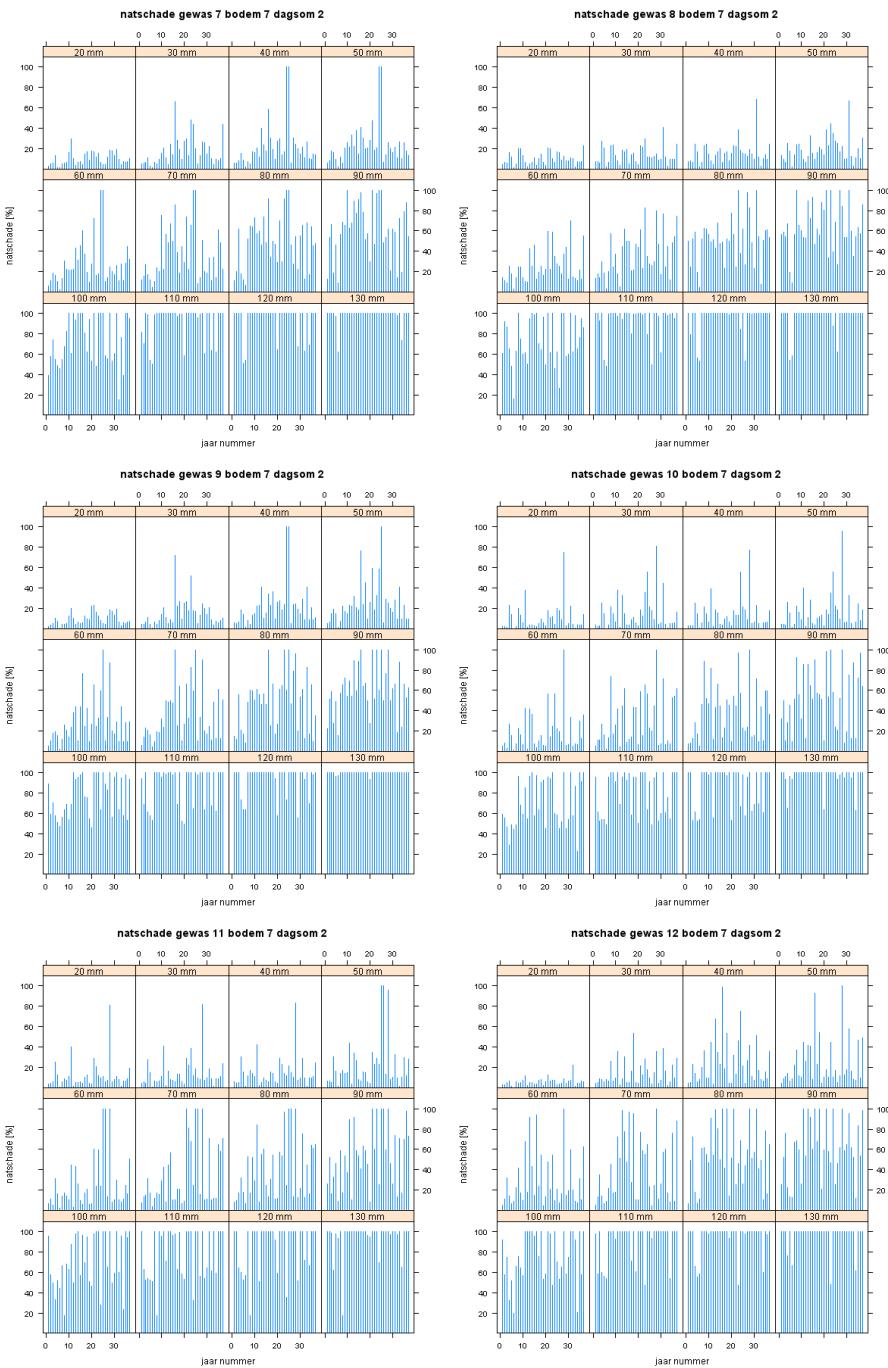




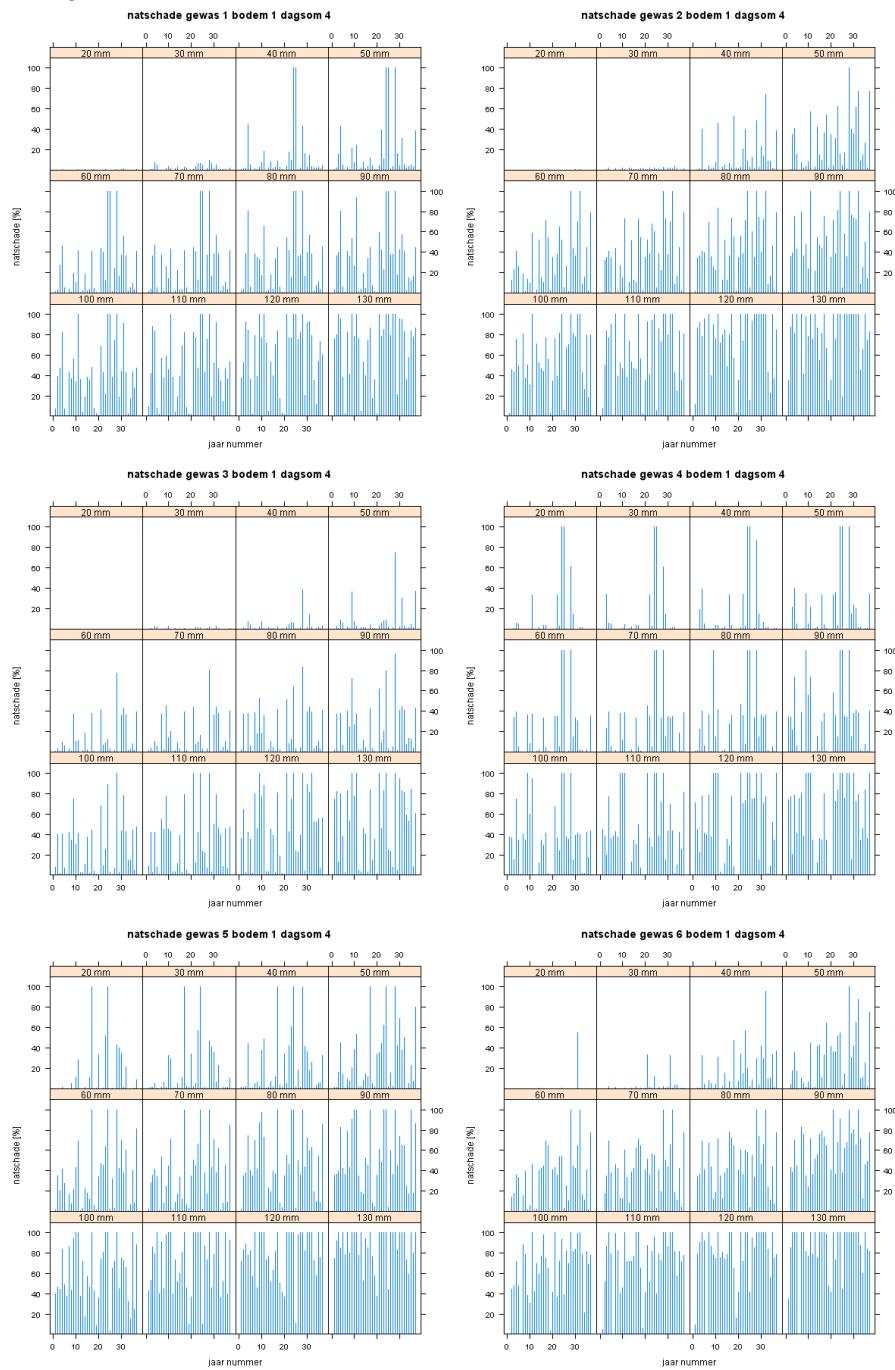


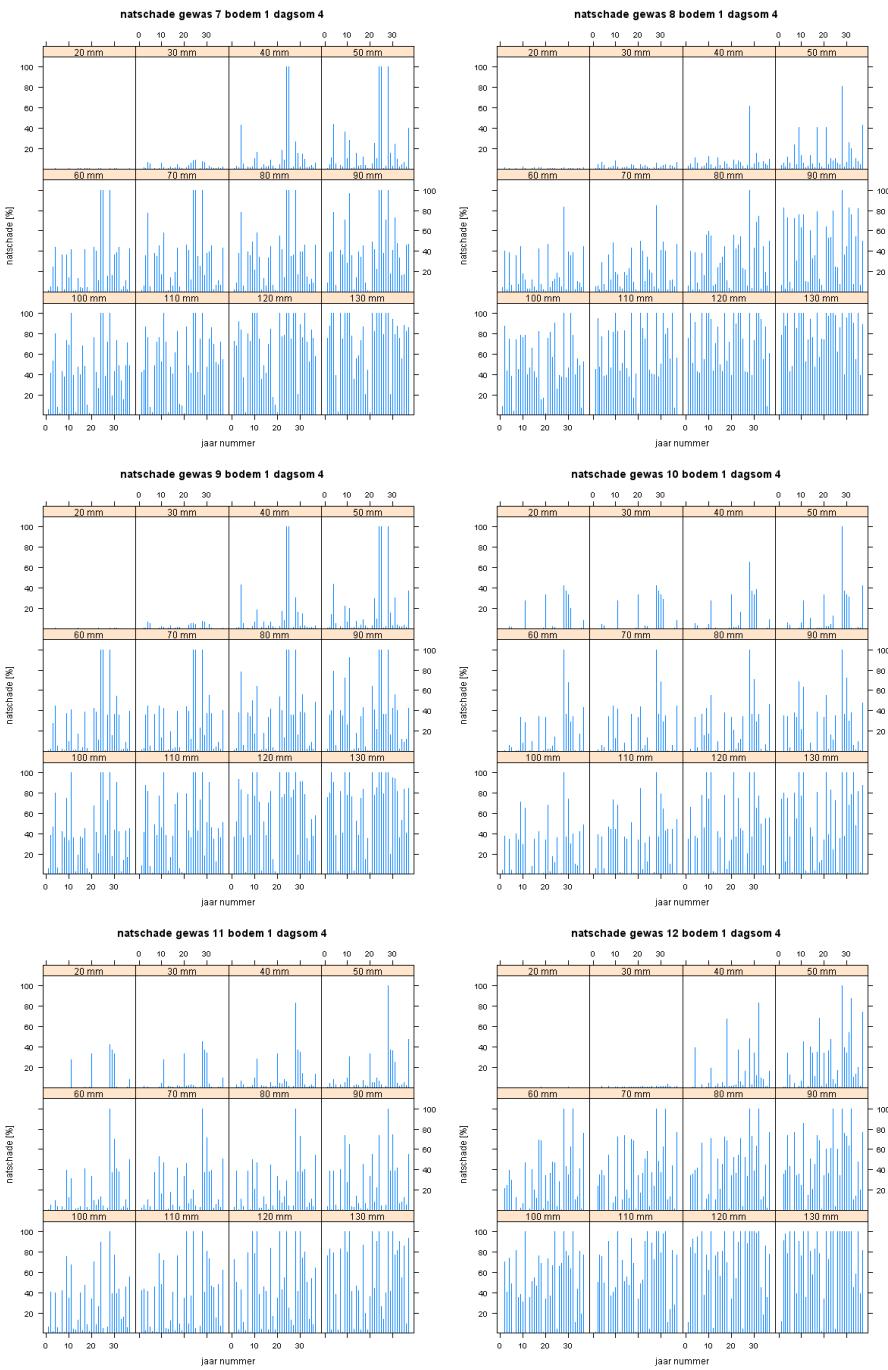


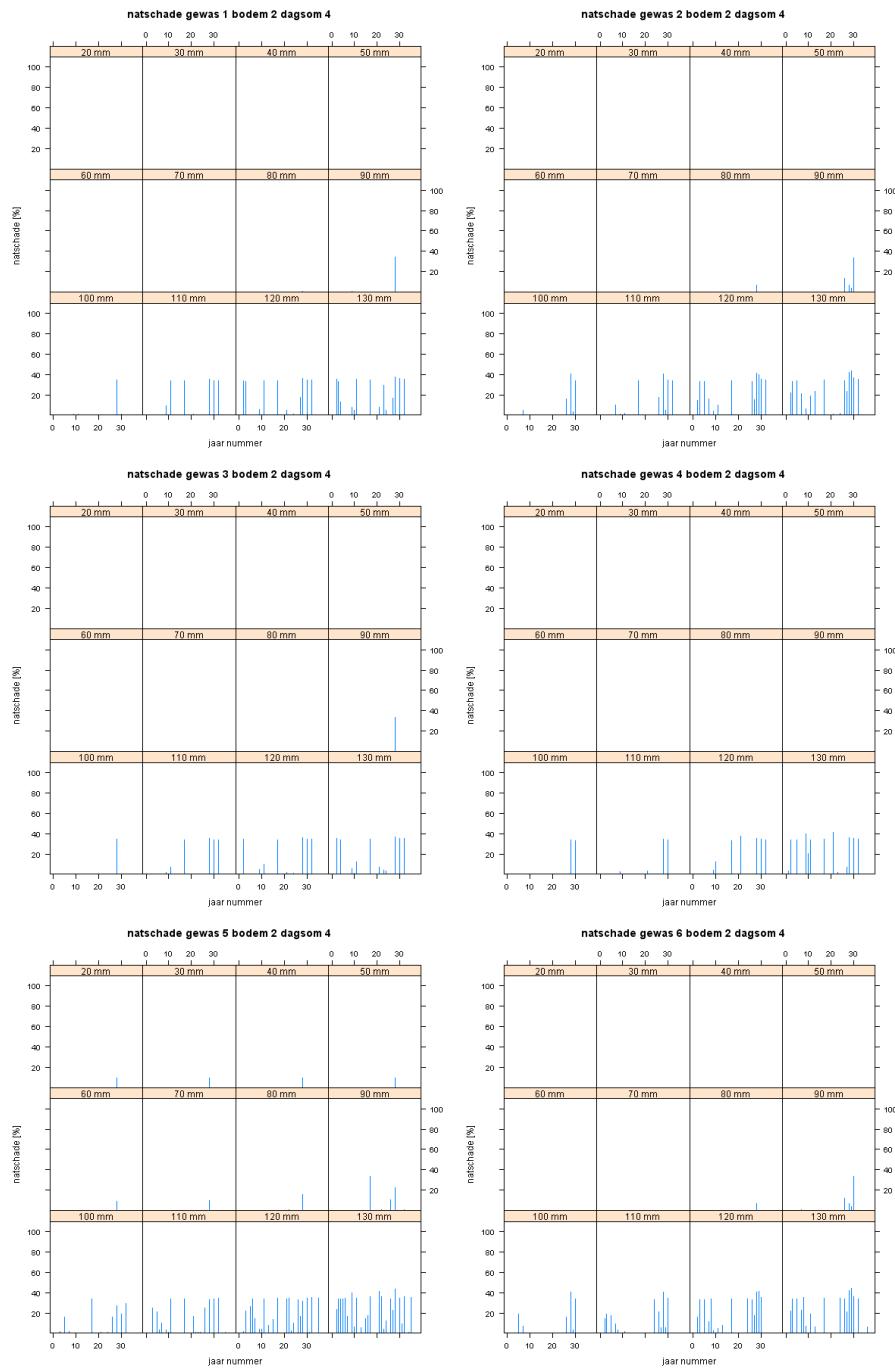


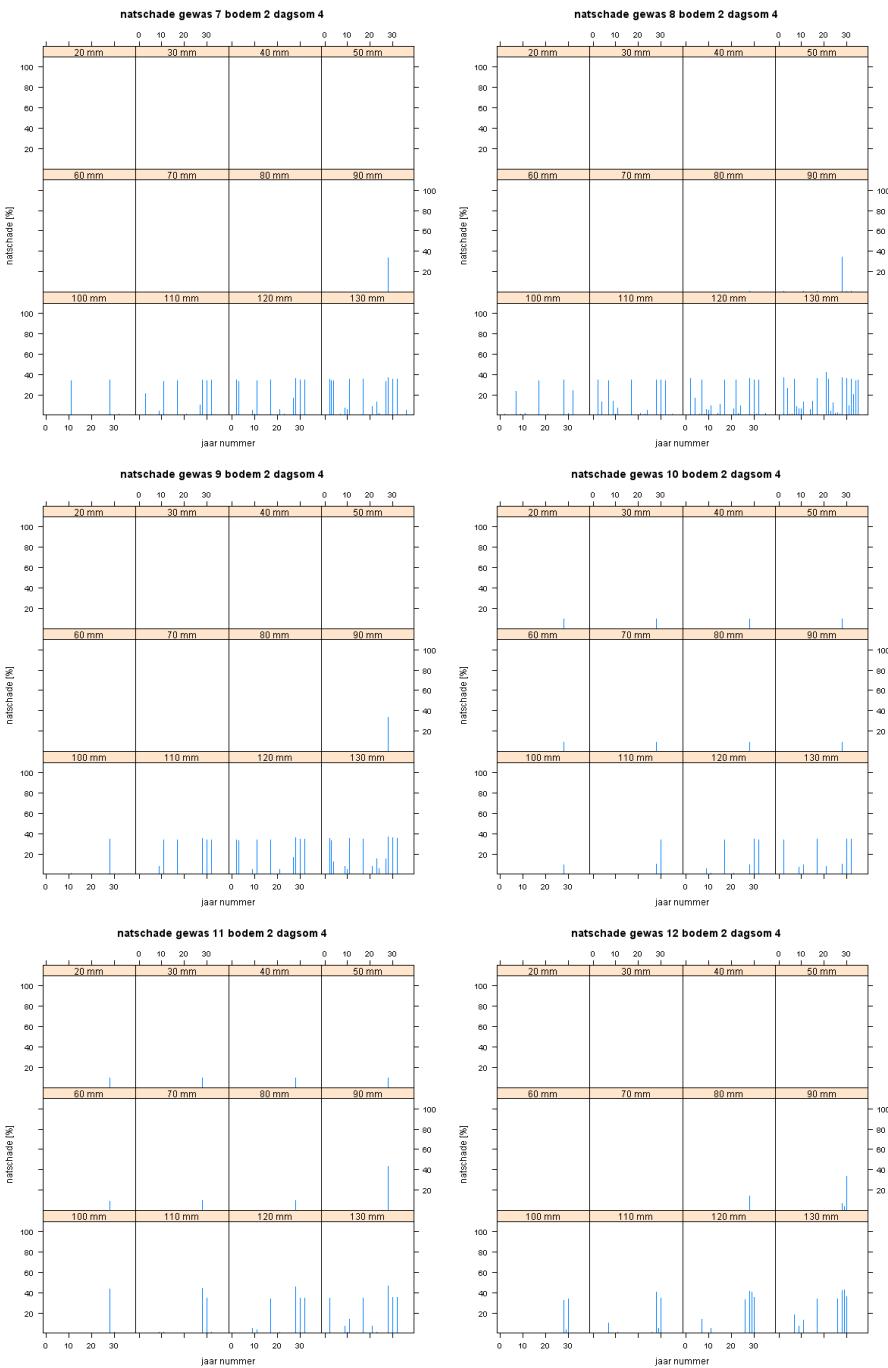


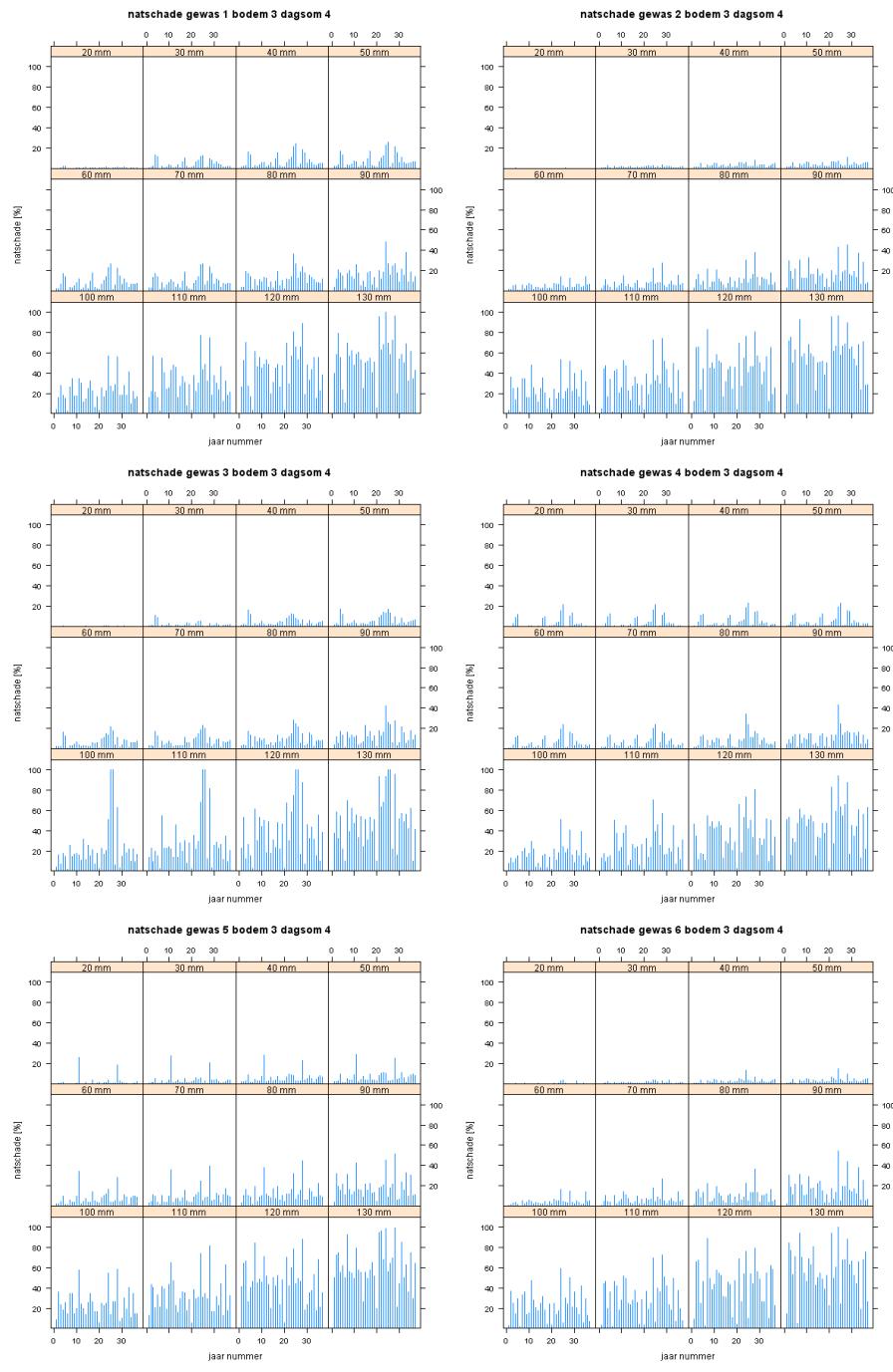
4 daagse som:

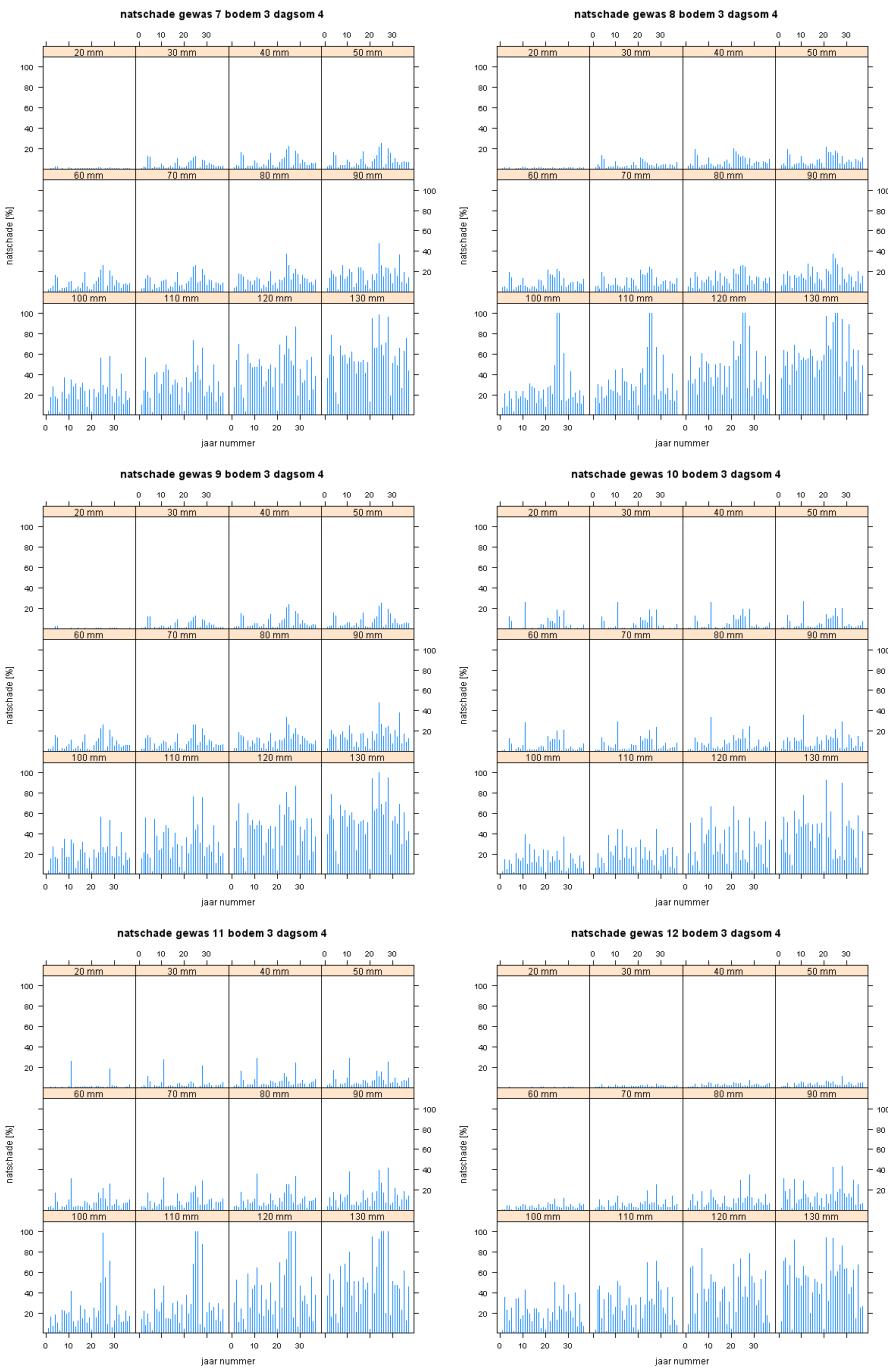


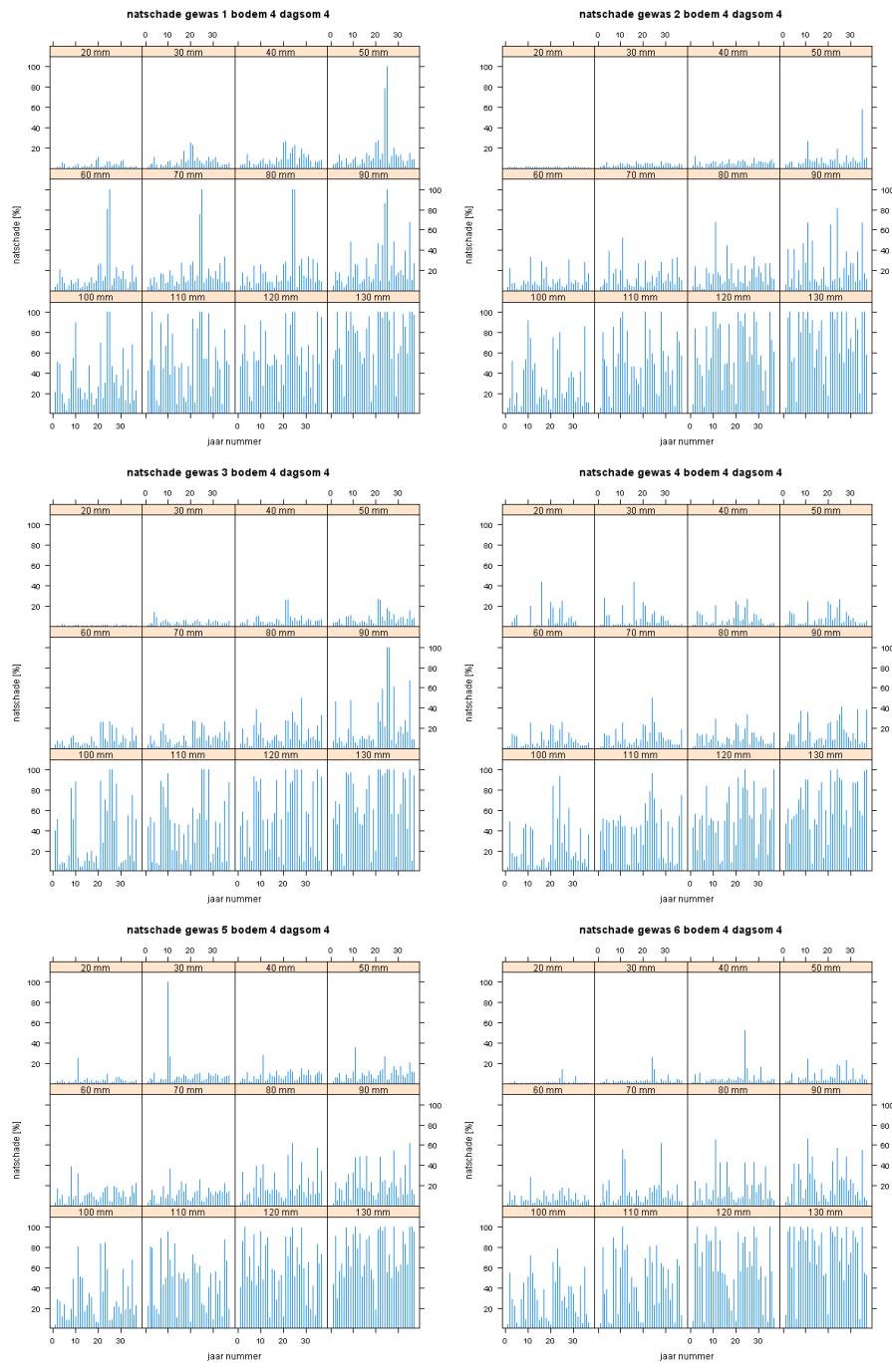


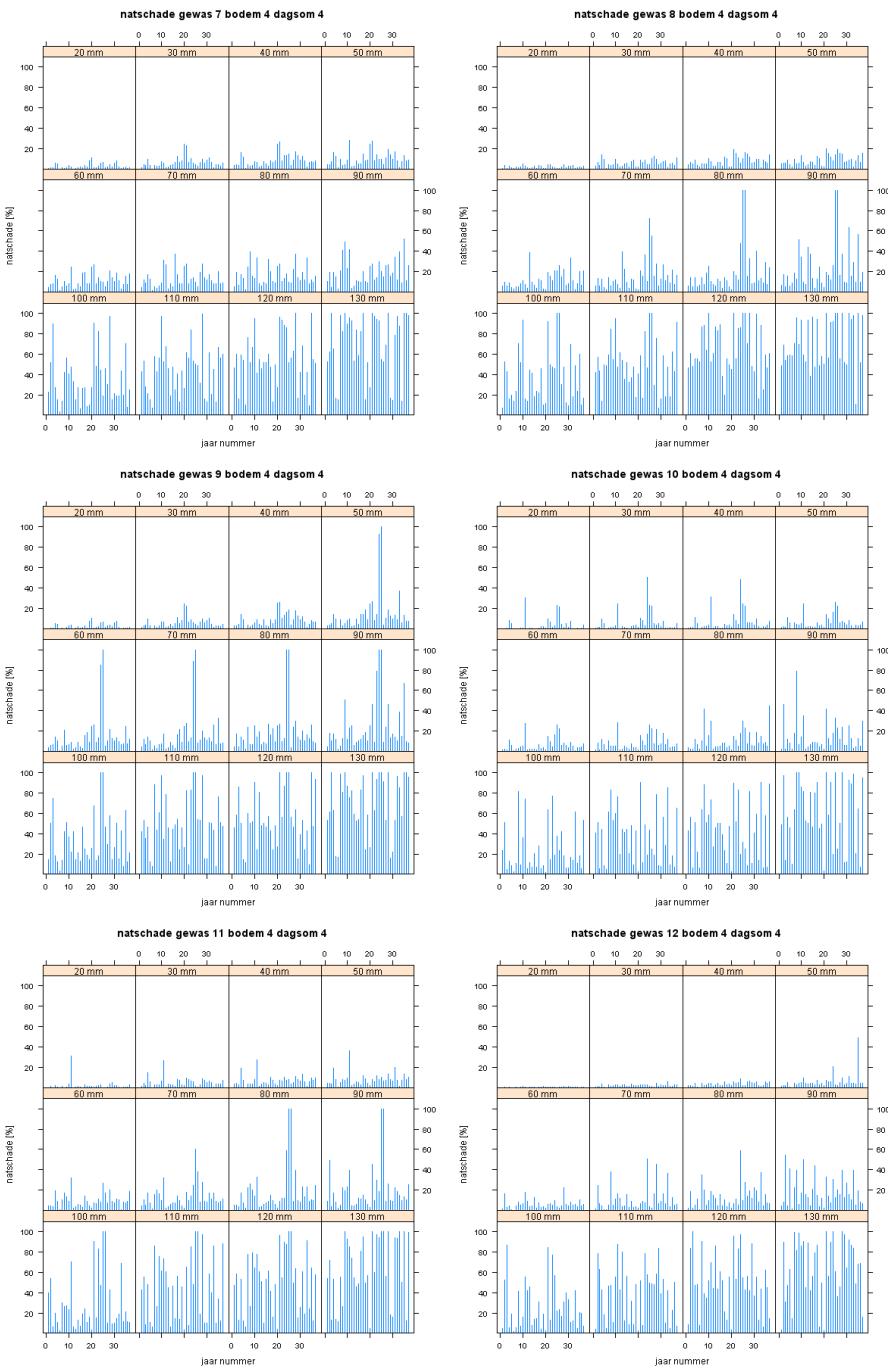


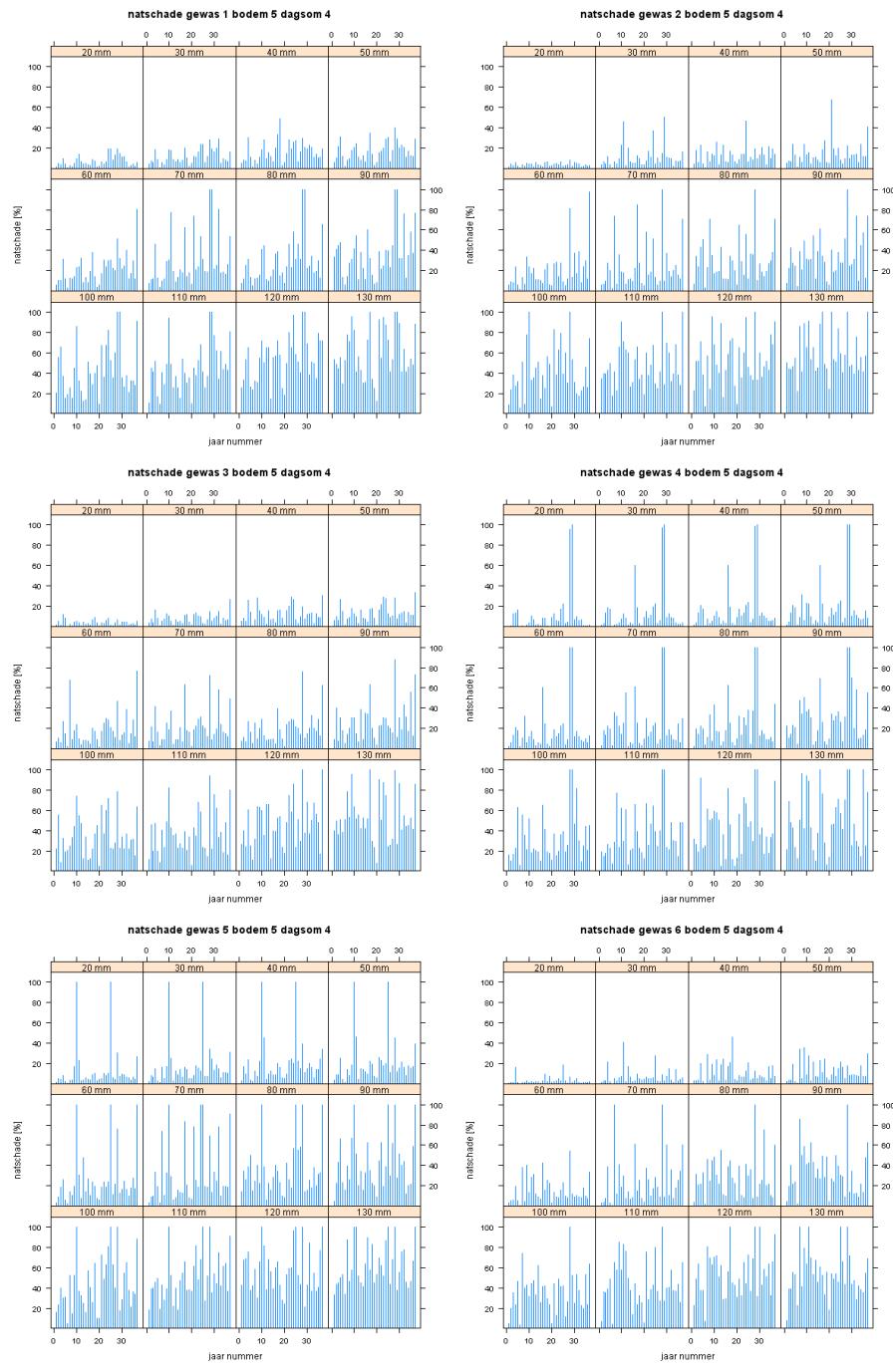


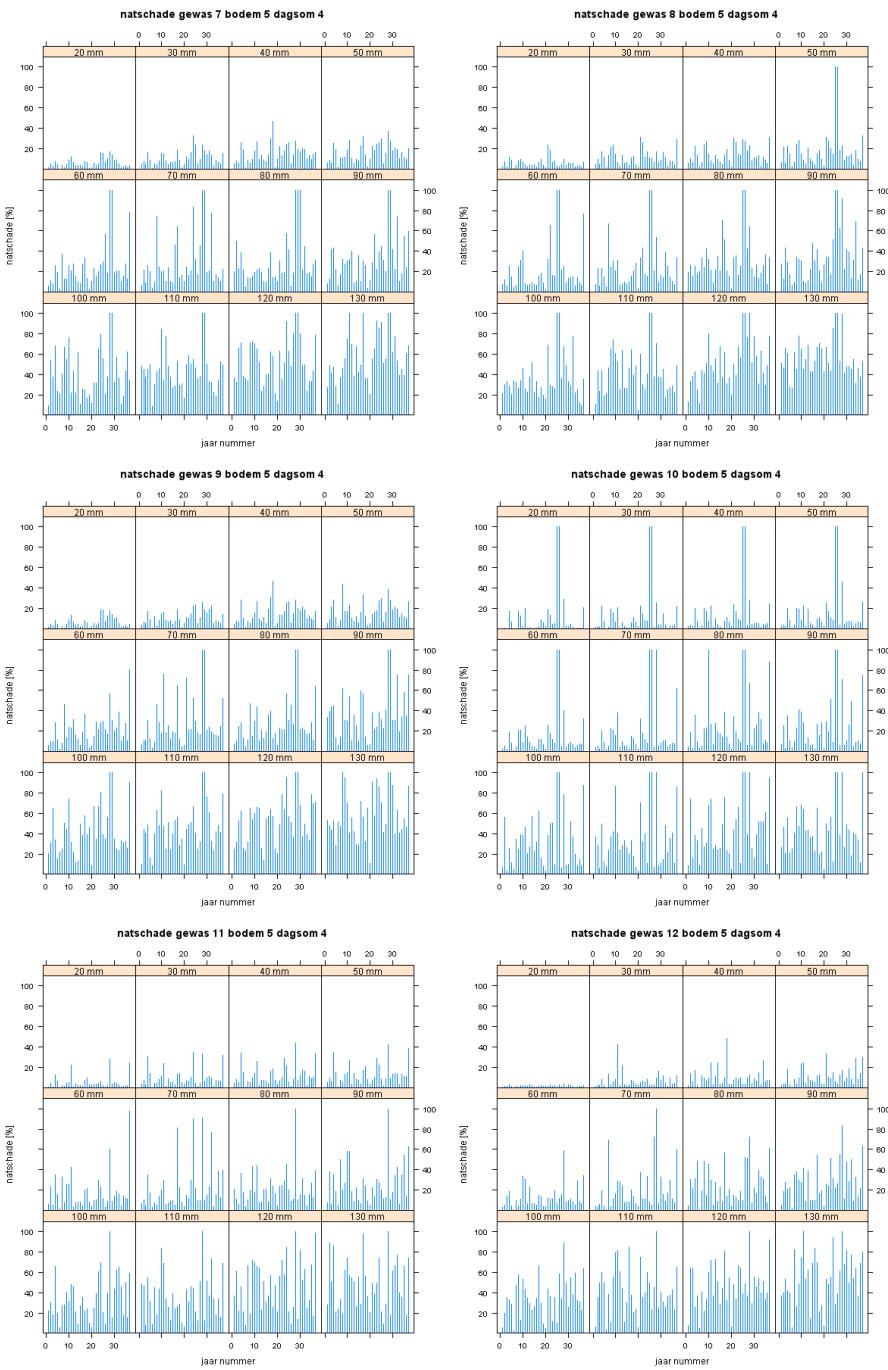


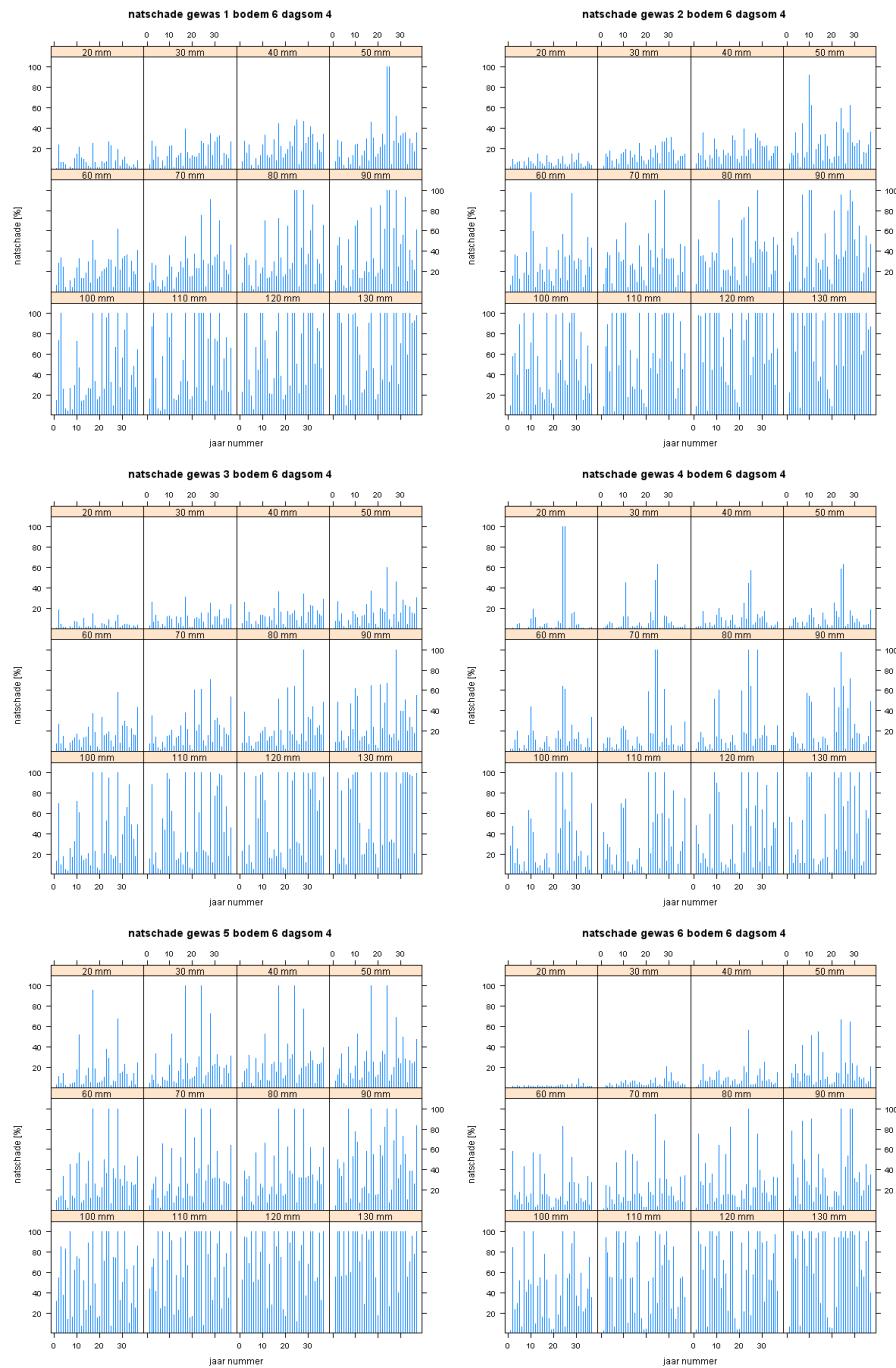


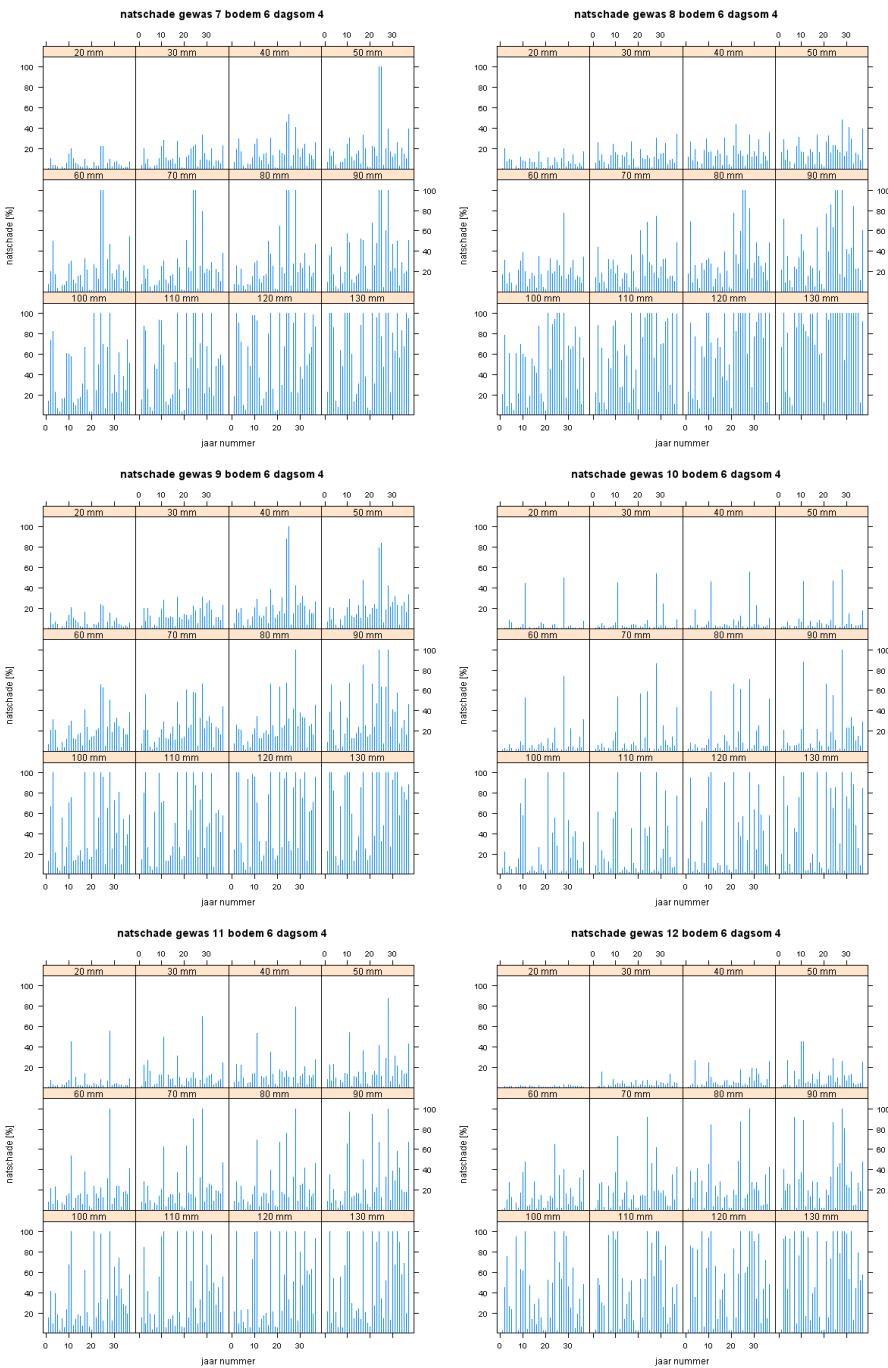


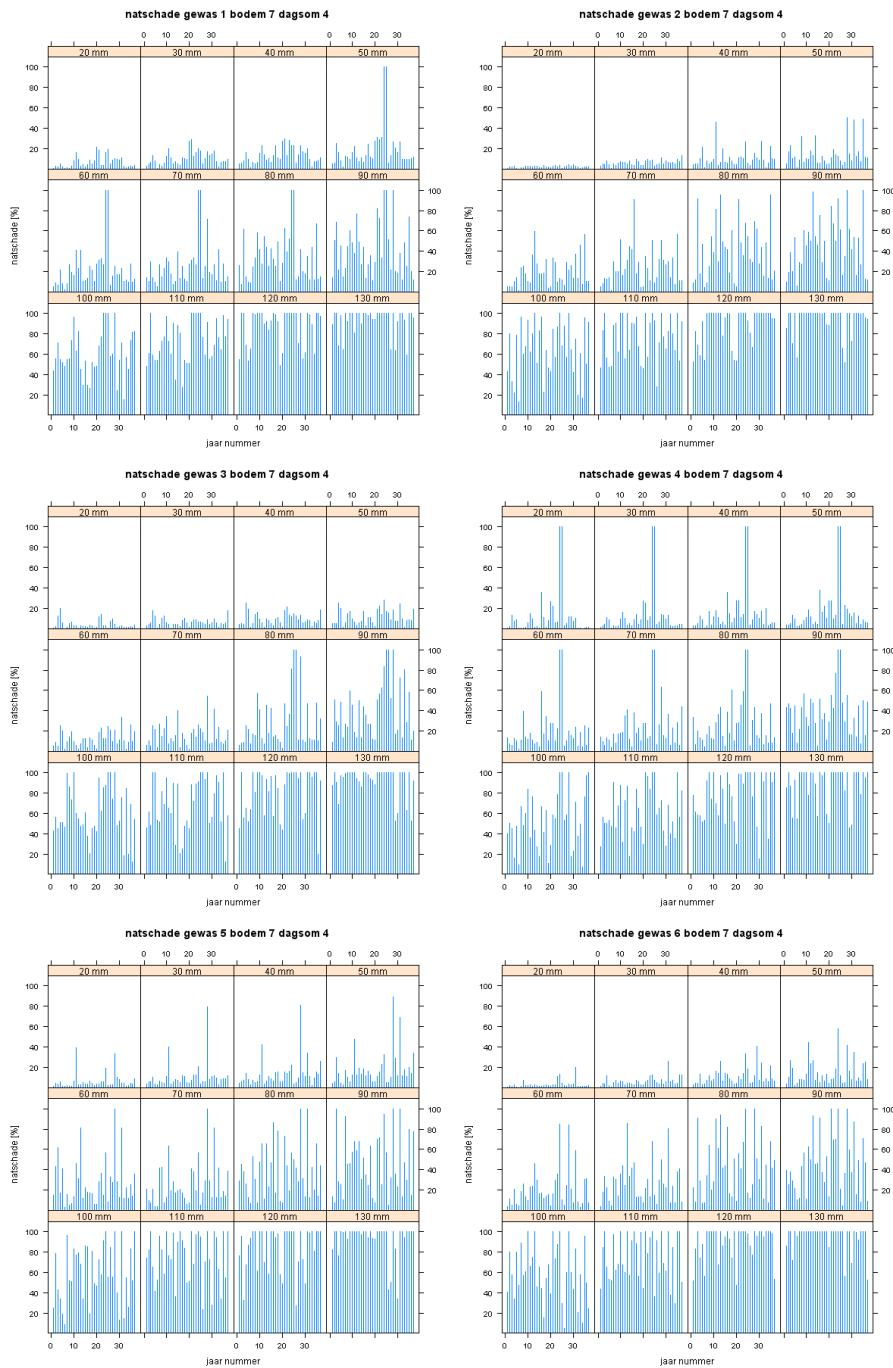


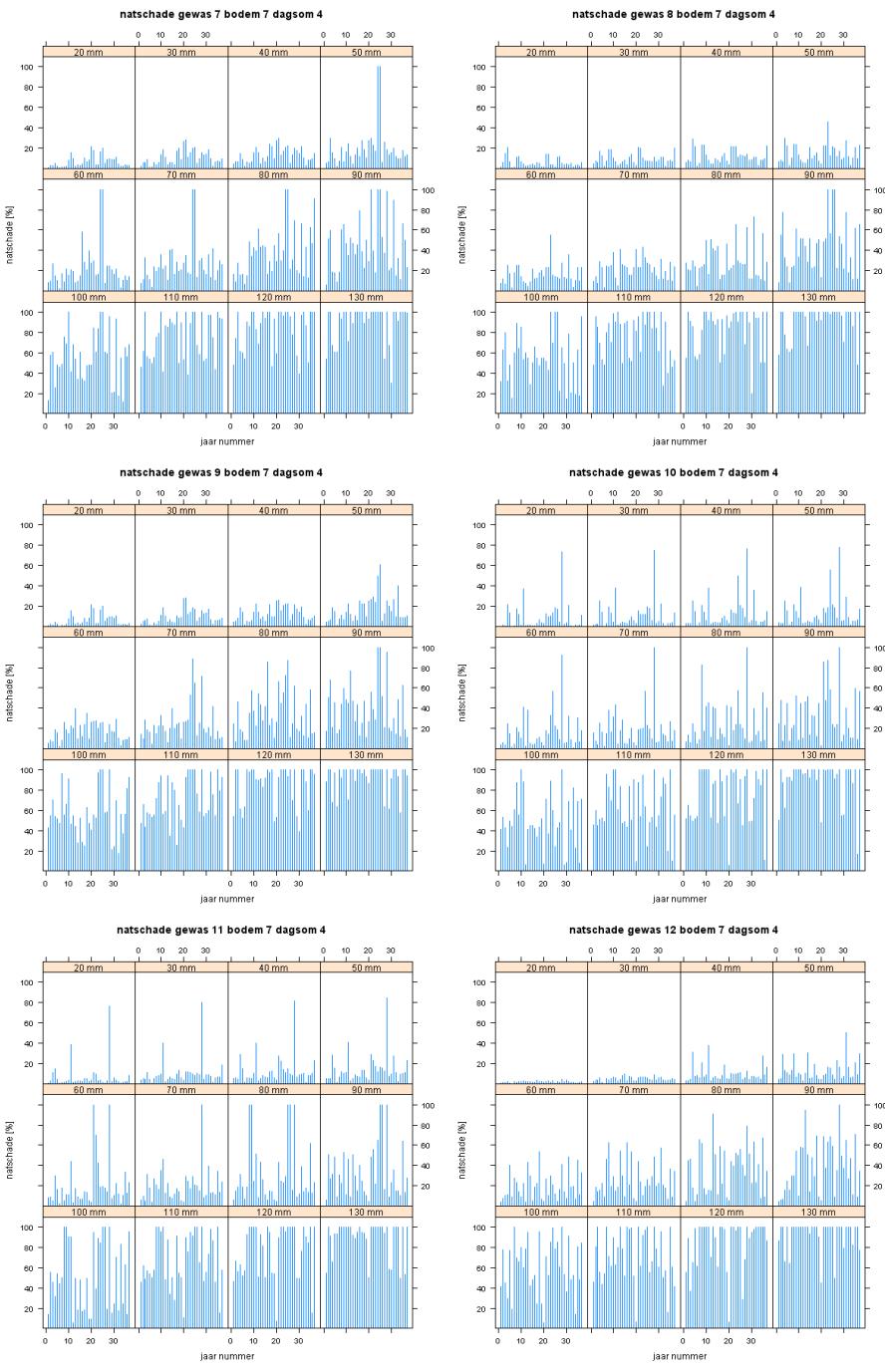












Droogteschade

