

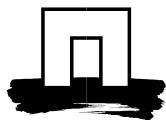
Calibratie van model LINBAL voor zetmeelaardappelen

Vertrouwelijk

Don Jansen



Nota 213



Calibratie van model LINBAL voor zetmeelaardappelen

Vertrouwelijk

Don Jansen

Plant Research International B.V., Wageningen
november 2002

Nota 213

© 2002 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : post@plant.wag-ur.nl
Internet : <http://www.plant.wageningen-ur.nl>

Inhoudsopgave

	pagina
1. Introductie	1
2. Opzet	3
2.1 Invoergegevens bij simulatie	3
2.2 Rekenschema	3
2.3 'Fout'	4
3. Gebruikte gegevens	7
3.1 Experimenten en behandelingen	7
3.2 Observaties	9
4. Calibratie-settings	11
4.1 Optimalisatie procedure	11
4.2 Parameter grenzen en bereikte optimale waarde	11
5. Vergelijking van observaties en simulaties	15
5.1 Algemeen	15
5.2 Gewasobservaties	15
5.2.1 Fractie onderschept licht (FINT)	15
5.2.2 Bladoppervlak (LAI)	17
5.2.3 Bladgewicht	17
5.2.4 Stengelgewicht	18
5.2.5 Totaal bovengronds gewicht	19
5.2.6 Droge stof in de knollen	20
5.2.7 Uitbetalingsgewicht	22
5.2.8 Veldgewicht knollen	22
5.2.9 Onderwatergewicht knollen	23
5.2.10 Zetmeel	24
5.2.11 Totale hoeveelheid N in het gewas	24
5.2.12 Totale hoeveelheid N in de bovengrondse delen	26
5.2.13 Concentratie totale N in de bovengrondse delen	27
5.2.14 Totale hoeveelheid N in de knollen	27
5.2.15 Concentratie totale N in de knollen	29
5.2.16 Hoeveelheid totaal en winbaar eiwit in de knollen	30
5.2.17 SPAD	31
5.3 Bodemobservaties	32
5.3.1 Concentratie minerale N in de bodem	32
5.3.2 Hoeveelheid minerale N in de bodem	35
6. Conclusies	37
Referenties	39

1. **Introductie**

Simulatiemodellen zijn in feite combinaties van rekenregels (algoritmen) waarmee veranderingen in afhankelijke toestandskenmerken (zoals oppervlakte blad) worden berekend. Bij die berekeningen worden data gebruikt die de onafhankelijke toestandskenmerken beschrijven van het systeem waarbinnen die berekeningen plaatsvinden (zoals luchttemperatuur, inkomende straling). Ook worden parameters gebruikt die de relatie tussen data en veranderingen in afhankelijke toestandskenmerken specifiek maken voor bepaalde kenmerken van het systeem (zoals cultivar, bodemtype). Daarnaast zijn er vaak ‘initiële waardes’ nodig voor afhankelijke toestandskenmerken (zoals het bladoppervlak van planten net na kieming). Deze parameters en initiële waarden zijn niet altijd direct af te leiden uit meetgegevens. Het is daarom vaak nodig om een model te kalibreren. Hierbij worden waardes gezocht van parameters en initiële condities om berekende uitkomsten zo goed mogelijk te laten lijken op waarnemingen. In dit rapport wordt de calibratie beschreven van het model LINBAL, ontwikkeld in het kader van het AgroBiokon project om de groei en productie van zetmeelaardappelen te kunnen simuleren.

Bij de calibratie is gebruik gemaakt van de calibratieprocedure die in het software pakket TIPSTAR ingebouwd is (Jansen, 2002). De opzet van deze calibratieprocedure wordt beschreven in hoofdstuk 2.

Als waarnemingen zijn meetgegevens gebruikt uit een serie proeven verricht in het AgroBiokon project (hoofdstuk 3).

De uitkomsten van de calibratie betreffen een serie nieuwe schattingen voor de waarden van een geselecteerd aantal parameters en initiële condities (hoofdstuk 4) en een vergelijking tussen waarnemingen en simulaties (hoofdstuk 5). Op de toepassing van de geoptimaliseerde parameters en initiële condities wordt ingegaan in de publicatie waarin het gebruikte model is beschreven (Jansen, in prep.), en komt hier niet ter sprake.

Op basis van de uitkomsten wordt een aantal conclusies getrokken betreffende de mogelijkheden tot gebruik van het model (hoofdstuk 6).

2. Opzet

2.1 Invoergegevens bij simulatie

Bij calibratie heeft elke simulatie-run een specifieke combinatie van invoergegevens, die zo goed mogelijk de kenmerken van een specifieke situatie weergeven waarvan meetgegevens bekend zijn. Onder een specifieke situatie wordt hier verstaan elke unieke combinatie van jaar (1998, 1999 e.d.), locatie (Kooijenburger, Kompas e.d.), cultivar (Seresta, Karakter, e.d.) en management (zoals bemesting met 100 kg N zonder irrigatie). Als zodanig wordt dus elke specifieke behandeling (treatment), of eventueel zelfs elke herhaling binnen een experiment beschouwd als een voor simulatie specifieke situatie waarvoor specifieke invoer gegevens bekend moeten zijn. De benodigde invoer is onder te verdelen in:

a. Parameters

Een parameter is een variabele in een rekenprocedure waaraan een vaste waarde wordt gegeven gedurende een simulatierun. Deze waarde kan afhangen van kenmerken van de situatie die doorgerekend wordt. Zo kan een parameter van waarde verschillen voor verschillende cultivars, bodemtypes, etcetera.

b. Initiële condities

In een simulatiemodel wordt de status van een situatie op elk moment weergegeven door de waarde die zogenaamde 'state-variables' hebben op dat moment. Voorbeelden zijn het aanwezige bladoppervlak per ha grond en de aanwezige hoeveelheid droge stof in de knollen per ha grond op een bepaald moment. Bij de start van de simulatie, moet aan het model doorgegeven worden wat de initiële waarde van de 'state-variables' is. Een deel van deze initiële waarden kan afhangen van de situatie, zo zal bijvoorbeeld de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem variëren tussen locaties (eventueel ook tussen herhalingen) en jaar.

c. Tijdsafhankelijke data

Wordt een simulatiemodel gebruikt om veranderingen van een situatie in de tijd door te rekenen, dan moet vaak een aantal gegevens gebruikt worden om de status aan te geven van variabelen die niet door het model gesimuleerd worden. Zo wordt in een gewasgroei model de inkomende straling en de heersende temperatuur op een bepaald tijdstip niet gesimuleerd, maar juist als drijvende factoren ('forcing functions') gebruikt om de gewasgroei te kunnen berekenen. Ook een deel van het gewas-management dat bij een behandeling hoort, zoals tijdstip en hoeveelheid van bemesting, is bij calibratie als drijvende factor te beschouwen.

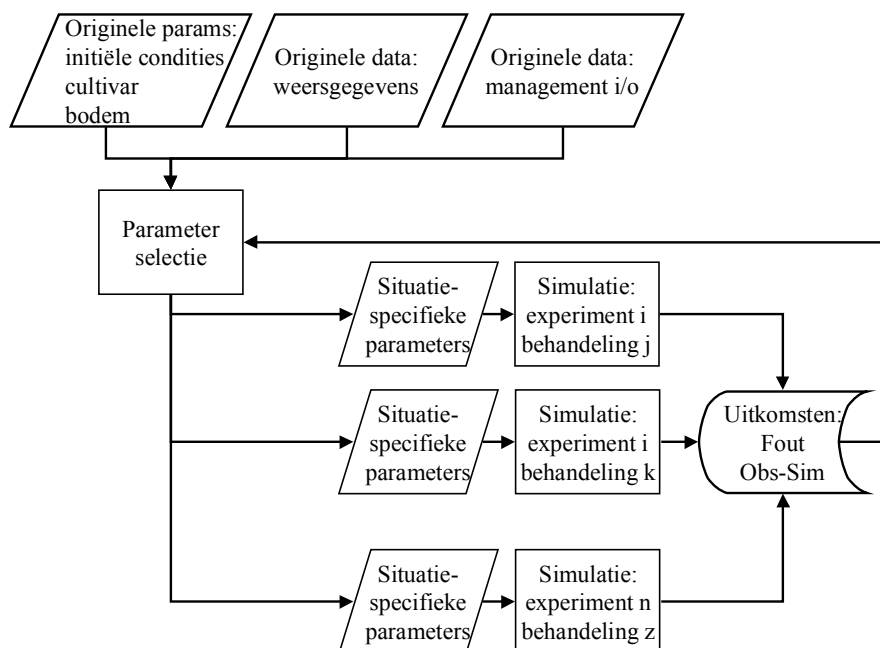
Van deze verschillende typen invoergegevens komen alleen de parameters en de initiële condities (voor zover niet expliciet gemeten) in aanmerking voor calibratie. De tijdsafhankelijke worden beschouwd als feiten waaraan niet getornd kan worden.

2.2 Rekenschema

Vaak zijn parameters en initiële condities niet direct te schatten uit meetgegevens en wordt het simulatiemodel gebruikt om te onderzoeken bij welke waarde van parameters en initiële condities het model tot 'goede' resultaten komt. Dit kan handmatig gebeuren, maar hier is gekozen voor een geautomatiseerde opzet. De gevolgde procedure (beschreven in Jansen, 2002) is als volgt samen te vatten (zie ook Figuur 1):

1. Een set van bij één of meerdere experimenten behorende behandelingen wordt gesimuleerd, met voor elke behandeling een set van invoergegevens die afhangt van specifieke kenmerken (zoals jaar, locatie, bodemtype, cultivar, management type).

2. Voor elke behandeling wordt bepaald wat het verschil is tussen simulatie-uitkomsten en meetgegevens (zie sectie 2.3). Sommatie van dit verschil over alle behandelingen van alle experimenten geeft de totale ‘fout’ die gemaakt wordt bij de gekozen waarden van de invoergegevens.
3. Op basis van de gemaakte ‘fout’ worden andere waarden gekozen voor (een deel van) de parameters en initiële waarden, waarna de procedure vanaf stap 1 (simulatie) opnieuw wordt doorlopen met die aangepaste waarden.



Figuur 1. Rekenschema gebruikt bij calibratie. Zie tekst voor nadere uitleg.

2.3 ‘Fout’

Calibratie van een model heeft als doelstelling om gesimuleerde uitkomsten zo veel mogelijk te laten lijken op observaties (metingen) gedaan in een reël voorkomende situatie. Hierbij is een criterium nodig om te bepalen welke waarden voor parameters en (een deel van de) initiële waarden leiden tot een ‘betere’ of ‘slechtere’ gelijkenis tussen simulaties en observaties.

Een veel gebruikt criterium (zoals bijvoorbeeld in lineaire regressie) hiervoor is de som van het kwadraat van de fout (Formule 1):

$$G = \sum_{o=1}^{no} (O_o - S_o)^2$$

Formule 1. Som van de kwadraat van de fout; G=criterium; O=observatie; S = simulatie; o=o^{de} observatie; no=totaal aantal observaties.

Een probleem met dit criterium treedt op wanneer er bij de observatie-waarden grote verschillen in orde van grootte optreden, zoals een observatie van 0.1 kg N kg⁻¹ ds in het blad versus 100.000 kg ds ha⁻¹ in de knol. In dergelijke gevallen weegt eenzelfde relatieve fout van waarnemingen met absoluut gezien hoge waarden veel zwaarder dan van waarnemingen met absoluut gezien lage waarden.

Een tweede punt is dat sets met een groot aantal waarnemingen zwaarder meetellen dan sets met minder waarnemingen. In principe zal die weging zich ongeveer verhouden naar het aantal waarnemingen. Zijn alle waarnemingen binnen een set onafhankelijk van elkaar, dan is dit niet een probleem. Echter, bij metingen in de tijd (zoals vaak het geval bij experimenten betreffende gewasgroei), zijn veel waarnemingen aan elkaar gecorreleerd: het gewicht van het gewas op tijdstip t zal een zekere relatie hebben met dat gewicht op tijdstip $t+\delta t$. Daarmee wordt een set van n waarnemingen niet n keer meer informatief dan een set met 1 waarneming.

Om aan bovenstaande punten tegemoet te komen is bij de calibratie het fout-criterium als volgt gedefinieerd:

- a. het criterium voor de totale ‘fout’ over alle sets van waarnemingen is de som van de ‘fout’ per set (Formule 2), waarbij onder set wordt verstaan het gemiddelde van elke specifieke behandeling of elke individuele herhaling binnen elk experiment:

$$G = \sum_{e=1}^{ne} \sum_{s=1}^{ns_e} E_{e,s}$$

Formule 2. Totale ‘fout’ (G) als som van de fout per set ($E_{e,s}$); e =experiment, s =set (i.e. gemiddelde van een behandeling of een specifieke herhaling); ne =aantal experimenten; ns_e =aantal sets in experiment e .

- b. de ‘fout’ per set is de som van een maat voor de relatieve afwijking tussen observaties en simulaties voor alle waarnemingen binnen die set, gewogen naar een weegfactor per waargenomen variabele (zoals droge stof knol, bladoppervlak) en gedeeld door de wortel uit het aantal waarnemingen in de set (Formule 3):

$$E_{e,s} = \frac{\sum_{v=1}^{nv} \sum_{o=1}^{no_{e,s,v}} \left(\frac{W_v \cdot |O_{v,e,s,o} - S_{v,e,s,o}|}{|O_{v,e,s,o} + S_{v,e,s,o}|} \right)}{\sqrt{nro_{e,s}}}$$

Formule 3. Fout per set ($E_{e,s}$) als som van de gewogen relatieve absolute afwijking tussen observaties ($O_{v,e,s,o}$) en simulaties ($S_{v,e,s,o}$) voor elke observatie o van elke variabele v binnen set s van experiment e ; W_v = een door de gebruiker op te geven weegfactor per variabele v ; $nro_{e,s}$ = het totaal aantal observaties bij set s van experiment e .

- c. het totaal aantal observaties bij elke behandeling in elk experiment is de som van het aantal observaties per variabele, zoals bladoppervlak, droge stof knol (Formule 4):

$$nro_{e,s} = \sum_{v=1}^{nv} no_{e,s,v}$$

Formule 4. Totaal aantal observaties per set ($nro_{e,s}$) als som van de observaties per variabele v bij set s van experiment e .

3. Gebruikte gegevens

3.1 Experimenten en behandelingen

Gebruik is gemaakt van gegevens verzameld tijdens experimenten op de proefbedrijven Kooijenburg (te Rolde; lemige zandgrond) en 't Kompas (te Valthermond; veenkoloniale dalgrond), gedaan in de jaren 1998 en 1999. Het betrof een deel van de 'groecurven proeven', beschreven in Steenhuizen *et al.*, 2000, en de 'kwaliteitsproeven', beschreven in Steenhuizen *et al.*, 2001a & 2001b (Tabel 1).

Van deze experimenten zijn de gegevens van de cultivars Seresta en Karakter gebruikt, met voor de 'kwaliteitsproeven' de gegevens van de verschillende niveaus van stikstofbemesting en het al dan niet beregenen op basis van behoefte van het gewas (Tabel 2).

Tabel 1. Experimenten gebruikt in de calibratie.

Jaar	Locatie	Serie	Nummer experiment	Bodemtype (nr)
1998	Kooijenburg	Groeicurve	KB 1120	4070
		Kwaliteit	KB 1121	4070
	't Kompas	Groeicurve	KP 411	2160
		Kwaliteit	KP 415	2160
1999	Kooijenburg	Groeicurve	KB 9019	4070
		Kwaliteit	KB 9020	4070
	't Kompas	Groeicurve	KP 9035	2160
		Kwaliteit	KP 9039	2160

Tabel 2. Behandelingen gebruikt in de calibratie.

Nr	Experiment	Cultivar	Berekening	Bemesting	Code Behandeling
1	KB 1120	Seresta	niet	175 kg N ha ⁻¹	KB981120_Ser_grcu
2				0 kg N ha ⁻¹	KB981121_Ser_N0_NI
3		Seresta	niet	100 kg N ha ⁻¹	KB981121_Ser_N1_NI
4				175 kg N ha ⁻¹	KB981121_Ser_N2_NI
5				250 kg N ha ⁻¹	KB981121_Ser_N3_NI
6		Karakter	niet	0 kg N ha ⁻¹	KB981121_Kar_N0_NI
7				100 kg N ha ⁻¹	KB981121_Kar_N1_NI
8				175 kg N ha ⁻¹	KB981121_Kar_N2_NI
9				250 kg N ha ⁻¹	KB981121_Kar_N3_NI
10	KP 411	Seresta	niet	250 kg N ha ⁻¹	KP980411_Ser_grcu
11				0 kg N ha ⁻¹	KP980415_Ser_N0_NI
12		Seresta	niet	100 kg N ha ⁻¹	KP980415_Ser_N1_NI
13				175 kg N ha ⁻¹	KP980415_Ser_N2_NI
14				250 kg N ha ⁻¹	KP980415_Ser_N3_NI
15		Karakter	niet	0 kg N ha ⁻¹	KP980415_Kar_N0_NI
16				100 kg N ha ⁻¹	KP980415_Kar_N1_NI
17				175 kg N ha ⁻¹	KP980415_Kar_N2_NI
18				250 kg N ha ⁻¹	KP980415_Kar_N3_NI
19	KB 9019	Seresta	wel	200 kg N ha ⁻¹	KB999019_Ser_grcu
20				0 kg N ha ⁻¹	KB999020_Ser_N0_NI
21		Seresta	niet	113 kg N ha ⁻¹	KB999020_Ser_N1_NI
22				225 kg N ha ⁻¹	KB999020_Ser_N2_NI
23				0 kg N ha ⁻¹	KB999020_Ser_N0_YI
24			wel	113 kg N ha ⁻¹	KB999020_Ser_N1_YI
25				225 kg N ha ⁻¹	KB999020_Ser_N2_YI
26		Karakter	niet	0 kg N ha ⁻¹	KB999020_Kar_N0_NI
27				88 kg N ha ⁻¹	KB999020_Kar_N1_NI
28				175 kg N ha ⁻¹	KB999020_Kar_N2_NI
29				0 kg N ha ⁻¹	KB999020_Kar_N0_YI
30			wel	88 kg N ha ⁻¹	KB999020_Kar_N1_YI
31				175 kg N ha ⁻¹	KB999020_Kar_N2_YI
32	KP 9038	Seresta	niet	203 kg N ha ⁻¹	KP999038_Ser_grcu
33				0 kg N ha ⁻¹	KP999039_Ser_N0_NI
34		Seresta	niet	100 kg N ha ⁻¹	KP999039_Ser_N1_NI
35				250 kg N ha ⁻¹	KP999039_Ser_N2_NI
36				0 kg N ha ⁻¹	KP999039_Ser_N0_YI
37			wel	100 kg N ha ⁻¹	KP999039_Ser_N1_YI
38				250 kg N ha ⁻¹	KP999039_Ser_N2_YI
39		Karakter	niet	0 kg N ha ⁻¹	KP999039_Kar_N0_NI
40				90 kg N ha ⁻¹	KP999039_Kar_N1_NI
41				175 kg N ha ⁻¹	KP999039_Kar_N2_NI
42				0 kg N ha ⁻¹	KP999039_Kar_N0_YI
43			wel	90 kg N ha ⁻¹	KP999039_Kar_N1_YI
44				175 kg N ha ⁻¹	KP999039_Kar_N2_YI

3.2 Observaties

In totaal zijn 4832 meetwaarden gebruikt bij de calibratie van LINBAL. Met name in de experimenten van de ‘kwaliteitsproeven’ zijn veel waarnemingen verricht (Tabel 3), waarvan een groot deel (>20%) ten behoeve van het schatten van de bodembedekking (‘fint’ en ‘fintred’ in Tabel 3).

De weegfactor (W_v in Formule 3 van Paragraaf 2.3) was voor alle observaties gezet op de waarde 1.

Tabel 3. Aantal observaties per variabele (beschreven in Tabel 4) in elk experiment.

jaar	1998				1999				
locatie	Kooijenburg		’t Kompas		Kooijenburg		’t Kompas		
serie	Groeicurve	Kwaliteit	Groeicurve	Kwaliteit	Groeicurve	Kwaliteit	Groeicurve	Kwaliteit	
exp. nr.	1120	1121	411	415	9019	9020	9038	9039	Totaal
fint	14	96	17	120	16	168	19	189	639
fintred		24		24		187		174	409
laitot						36		36	72
nmin1		32		32		60		60	184
nmin2		32		32		60		60	184
ntotag		30		32		48		48	158
ntottu		32		32		48		48	160
spad		24		24		154		160	362
totn1		32		32		60		60	184
totn2		32		32		60		60	184
totn3		32		32		60		60	184
totnag		30		32		48		48	158
totntot		30		32		48		48	158
totntu		32		32		48		48	160
UBG	13	32	12	32	9	48	10	48	204
UWW	13	32	12	32	9	48	10	48	204
wagd	12	30	11	32	9	48	10	48	200
wledt						48		42	90
wstdt						48		42	90
wtotd		30		32		48		48	158
wtud	10	32	9	32	9	48	10	48	198
wtuF	13	32	12	32	9	48	10	48	204
YProtR						48		48	96
YProtT						48		48	96
YStarch						48		48	96
Totaal	75	646	73	680	61	1613	69	1615	4832

Tabel 4. Beschrijving van de gemeten variabelen (zie ook Tabel 3).

Variabele	Beschrijving	Dimensie
fint	fractie onderschept licht door het gewas (fraction intercepted light)	[-]
fintred	als 'fint'; voor alleen rood licht	[-]
laitot	index van totaal bladoppervlak (leaf area index)	[ha blad ha ⁻¹ bodem]
nmin1	fractie minerale N in de bovenste 30 cm van de bodem	[kg N kg ⁻¹ ds]*
nmin2	fractie minerale N in de laag tussen 30 tot 60 cm van de bodem	[kg N kg ⁻¹ ds]*
ntotag	totale N concentratie in de bovengrondse delen van het gewas	[kg N kg ⁻¹ ds]*
ntottu	totale N concentratie in de knollen	[kg N kg ⁻¹ ds]*
spad	metingen SPAD meter	[-]
totn1	totale hoeveelheid minerale N in de bovenste 30 cm van de bodem	[kg N ha ⁻¹]
totn2	totale hoeveelheid minerale N in de laag tussen 30 tot 60 cm van de bodem	[kg N ha ⁻¹]
totn3	totale hoeveelheid minerale N in de bovenste 60 cm van de bodem	[kg N ha ⁻¹]
totnag	totale hoeveelheid N in de bovengrondse delen van het gewas	[kg N ha ⁻¹]
totntot	totale hoeveelheid N in het totale gewas	[kg N ha ⁻¹]
totntu	totale hoeveelheid N in de knollen	[kg N ha ⁻¹]
UBG	uitbetalingsgewicht	[kg ha ⁻¹]
UWW	onderwatergewicht knollen (underwater weight)	[g (5050 g) ⁻¹]
wagd	bovengrondse droge stof	[kg ha ⁻¹]
wledt	droge stof in blad	[kg ha ⁻¹]
wstdt	droge stof in stengel	[kg ha ⁻¹]
wtotd	totaal droge stof	[kg ha ⁻¹]
wtud	droge stof in knollen	[kg ha ⁻¹]
wtuF	vers gewicht van knollen	[kg ha ⁻¹]
YProtR	winbaar eiwit in de knollen	[kg ha ⁻¹]
YProfT	totaal eiwit in de knollen	[kg ha ⁻¹]
YStarch	hoeveelheid zetmeel in de knollen	[kg ha ⁻¹]

* originele meetgegevens zijn in **mg** N kg⁻¹ ds; omrekening naar kg N kg⁻¹ ds is nodig om te kunnen corresponderen met berekende variabelen in het model en vindt plaats bij het inlezen van de meetgegevens voordat deze gebruikt worden bij de berekening van de calibratiefout.

4. Calibratie-settings

4.1 Optimalisatie procedure

De optimalisatieprocedure die gebruikt is (een vorm van Genetische Algoritmen; zie Jansen, 2002) heeft een aantal invoerparameters waarmee o.a. de vorming van nieuwe sets van te testen parameterwaarden (hierbij inbegrepen een aantal initiële condities) wordt gestuurd. De belangrijkste daarvan (Tabel 5) betreffen het aantal sets van parameterwaarden dat in elke evaluatieslag wordt doorgerekend (npopsiz), het aantal ‘nakomelingen’ per ‘ouderpaar’ bij de vorming van nieuwe sets van parameters (nchild), de kansen op mutatie (pmutate en pcreep) en cross-over (pcross en interspeccros) en het aantal binaire combinatoire mogelijkheden waarmee de bandbreedte van de waarde per parameter opgeslagen wordt (nposibl).

Tabel 5. Belangrijkste parameters en de waarde ervan zoals gebruikt bij de calibratie.

Parameter	Waarde	Betekenis
npopsiz	150	aantal sets van parameterwaarden dat per evaluatieslag wordt doorgerekend
nchild	2	aantal nieuwe sets per combinatie van twee oude sets
pmutate	0.007	kans op mutatie van een bit in elke set van parameterwaarden
pcreep	0.07	kans op het optreden van stapsgewijze mutatie binnen een set van parameterwaarden
pcross	0.25	kans op cross-over van bits tussen twee sets van parameterwaarden
interspeccros	0.25	kans op cross-over tussen verschillende afhankelijkheidsgroepen (zoals tussen cultivars)
nposibl	128,89*2048	aantal bits: 1e parameter (cropstime) 128, volgende 89 parameters 2048

4.2 Parameter grenzen en bereikte optimale waarde

Bij de calibratie wordt een beginwaarde toegekend aan parameters en initiële condities en een bandbreedte waarbinnen uit te proberen waarden mogen liggen. In TIPSTAR wordt die bandbreedte aangegeven door een maximum en minimum grens voor de parameter α in Formule 5:

$$V_n = V_o \cdot (1 + \alpha)$$

Formule 5. Relatie tussen nieuw te proberen waarde voor een parameter (V_n) en de originele waarde ervan (V_o) waarbij α gekozen wordt door de optimalisatieprocedure binnen de bandbreedte opgegeven per parameter.

De bandbreedte voor α (als max en min van de grenzen) en de uiteindelijke gevonden optimale waarde van de parameters en initiële condities zijn gegeven in Tabel 6 - Tabel 9. Voor de meeste parameters zijn niet de originele waarden gegeven, aangezien die vaak niet veelzeggend zijn en in Jansen (in prep.) uitgelegd worden. Van de initiële waarden (Tabel 9) en bodemgerelateerde parameters (Tabel 10) zijn de originele waarden wel gegeven, omdat die tot op zekere hoogte te relateren zijn aan metingen en/of bekende gegevens.

Tabel 6. *Cultivar afhankelijke parameters.*

naam	grenzen		Optimale waarde	
	max	min	Seresta	Karakter
MaxRubiscoEff	1.0	-0.95	381.2	380.5
rgrl	0.5	-0.5	0.0188	0.0175
StVollfAreaRatio	0.5	-0.5	0.2106	0.1941
nstrucleafmin	2.0	-0.75	2.254	1.896
nstrucstemmin	2.0	-0.75	12.54	13.81
nstructubermin	2.0	-0.75	0.00477	0.00233
nstableafmax	2.0	-0.75	21.49	20.87
nstabstemmax	2.0	-0.75	30.66	49.62
nstabtubermax	2.0	-0.75	0.010	0.012
nstableafmin	10.0	0.	10.44	5.42
nstabstemmin	10.0	0.	5.28	5.30
nstabtubermin	10.0	0.	0.	0.
DMNstrucLeaf	2.0	-0.95	114.5	151.0
DMNstrucStem	2.0	-0.95	159.7	145.7
DMNstrucTuber	2.0	-0.95	358.5	358.0
DMNstabLeafMax	2.0	-0.95	4.85	5.61
DMNstabStemMax	2.0	-0.95	22.1	9.0
DMNstabLeafMin	2.0	-0.95	1.96	5.08
DMNstabStemMin	2.0	-0.95	5.56	4.69
DMNstabTuberMin	2.0	-0.95	7.86	6.50
alphastableaf	2.0	-1.0	866.5	1713.8
betastableaf	20.0	-2.0	0.909	0.780
alphastabstem	2.0	-1.0	381.9	461.8
betastabstem	20.0	-2.0	0.00070	0.0241
gage	2.0	-1.0	0.0601	0.0605
kstrsage	2.0	-1.0	0.4167	5.401
kstrsar	100.	-100.	-0.7337	-109.27
betastrsar	2.0	-2.0	0.0195	0.0281
alphaPhot	5.0	-0.95	0.5453	0.5424

naam	grenzen		Optimale waarde	
	max	min	Seresta	Karakter
betaPhot	5.0	-0.95	0.0422	0.0870
gammaPhot	10.0	-2.0	3.525	3.577
knrgrl	5.0	-1.0	215.3	88.4
bnrgrl	10.	-2.0	0.00494	0.00127
knlvag	2.0	-2.0	0.3577	0.3069
bnlvag	1.0	-1.0	-0.1073	-0.0006
knstag	1.0	-1.0	12.78	11.28
bnstag	2.0	-2.0	-0.1690	-0.2511
ecpdf	0.25	-0.25	0.699	0.549
relresptuber	5.	-1.0	0.00138	0.00013
TmBase	2.0	-2.0	3.142	3.108
AlphaT	2.0	-2.0	0.4181	0.3905
BetaT	2.0	-2.0	3.406	2.043
GammaT	2.0	-2.0	0.3335	0.1867
DeltaT	2.0	-2.0	34.83	38.21
rootdepthgrowthpar	2.0	-0.95	0.023	0.051
LeafAgeMx	2.0	-2.0	2666.7	2757.2
LeafArGrowthRef	2.0	-2.0	0.00582	0.00599
ksynstab	2.0	-0.95	0.2986	0.4070
kdestabLeaf	2.0	-0.95	0.1290	0.2392
kdestabStem	2.0	-0.95	0.2125	0.1677
kdestabTuber	2.0	-0.95	0.0709	0.0917
AlphaLvAgeT	2.0	-2.0	3.429	4.073
BetaLvAgeT	2.0	-2.0	2.805	7.857
alphaWater	20.0	-0.95	0.1708	1.926
kspad	3.0	-0.95	0.1783	0.6708
bspad	3.0	-0.95	40.74	40.16
cspad	3.0	-0.95	0.1775	0.1719

Tabel 7. *Algemene gewas parameters.*

Naam	Grenzen		Optimale waarde
	max	min	
waterextrpar	2.0	-0.9	0.092
maxnupratemax	2.0	-0.9	3.968

Tabel 8. *Parameters gerelateerd aan bodemtype (bodemtypes: KB = 4070; KP = 2160).*

Naam	Grenzen		Optimale waarde	
	max	min	KB	KP
zrtms	2.0	-0.95	0.335	0.428

Tabel 9. Initiële waarden per experiment; CropStTime: dag waarop 50% van de planten gekiemd zijn; FSOMi: fractie van de organische stof in de stabiele pool (-); ANToti: initiële hoeveelheid minerale N in het profiel (kg N ha⁻¹).

Initiële conditie	Grenzen	Waarde	Experiment							
			kp98415	kp980411	kb981120	kb981121	kp999038	kb999019	kb999020	kp999039
cropst- time	max: 7.0	Org	137	133	133	142	133	139	132	132
	min: -7.0	Cal	130	135	136	135	137	135	139	138
fsomi	max: 2.0	Org	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	min: -0.95	Cal	0.18	0.50	0.50	0.50	0.10	0.09	0.50	0.36
antoti	max: 2.0	Org	60.0	60.0	75.0	75.0	60.0	75.0	75.0	60.0
	min: -0.9	Cal	82.1	138.7	213.0	15.2	108.9	75.0	23.7	35.9

Tabel 10. *Locatie-specifieke parameters; perch(i) = percentage C in laag i; pernh(i) = percentage N in laag i; rhodh(i) = volumegewicht (g cm⁻³) in laag i.*

Para- meter	Grenzen	Waarde	Experiment							
			kp98415	kp980411	kb981120	kb981121	kp999038	kb999019	kb999020	kp999039
perch(3)	max: 1.0	Org	7.50	7.50	2.95	2.95	7.50	2.95	2.95	7.50
	min: -0.9	Cal	7.50	7.45	2.95	5.75	7.50	0.74	5.79	7.51
perch(4)	max: 1.0	Org	7.50	7.50	2.95	2.95	7.50	2.95	2.95	7.50
	min: -0.9	Cal	6.56	8.26	2.95	5.76	7.51	2.95	4.06	7.61
perch(5)	max: 1.0	Org	45.00	45.00	1.90	1.90	45.00	1.90	1.90	41.00
	min: -0.9	Cal	12.48	23.34	3.09	3.76	45.02	2.45	1.90	31.88
perch(6)	max: 1.0	Org	45.00	45.00	1.90	1.90	45.00	1.90	1.90	41.00
	min: -0.9	Cal	43.05	45.02	1.90	0.47	37.46	1.00	0.95	41.01
perch(7)	max: 1.0	Org	4.00	4.00	0.40	0.40	4.00	0.40	0.40	41.00
	min: -0.9	Cal	4.06	2.33	0.40	0.05	4.02	0.41	0.40	21.53
perch(8)	max: 1.0	Org	4.00	4.00	0.15	0.15	4.00	0.15	0.15	43.50
	min: -0.9	Cal	4.00	6.66	0.24	0.15	5.74	0.15	0.11	22.84
pernh(3)	max: 1.0	Org	0.75	0.75	0.30	0.30	0.75	0.30	0.30	0.75
	min: -0.9	Cal	0.39	0.75	0.30	0.22	0.75	0.26	0.12	0.39
pernh(4)	max: 1.0	Org	0.75	0.75	0.30	0.30	0.75	0.30	0.30	0.75
	min: -0.9	Cal	0.67	0.75	0.30	0.03	0.75	0.06	0.15	0.17
pernh(5)	max: 1.0	Org	4.50	4.50	0.19	0.19	4.50	0.19	0.19	4.10
	min: -0.9	Cal	6.77	4.50	0.14	0.18	3.56	0.11	0.08	4.10
pernh(6)	max: 1.0	Org	4.50	4.50	0.19	0.19	4.50	0.19	0.19	4.10
	min: -0.9	Cal	8.33	4.23	0.18	0.35	4.50	0.08	0.19	4.97
pernh(7)	max: 1.0	Org	0.40	0.40	0.04	0.04	0.40	0.04	0.04	4.10
	min: -0.9	Cal	0.35	0.40	0.08	0.07	0.40	0.04	0.02	4.10
pernh(8)	max: 1.0	Org	0.40	0.40	0.02	0.02	0.40	0.02	0.02	4.35
	min: -0.9	Cal	0.40	0.40	0.03	0.01	0.40	0.02	0.01	4.35
rhodh(3)	max: 1.0	Org	0.640	0.640	1.330	1.330	0.640	1.330	1.330	0.640
	min: -0.9	Cal	1.115	1.051	0.265	1.330	0.641	1.251	1.054	1.208
rhodh(4)	max: 1.0	Org	0.640	0.640	1.330	1.330	0.640	1.330	1.330	0.640
	min: -0.9	Cal	0.957	0.640	1.332	1.177	0.640	0.345	1.014	0.954
rhodh(5)	max: 1.0	Org	0.169	0.169	1.468	1.468	0.169	1.468	1.468	0.224
	min: -0.9	Cal	0.281	0.095	1.469	1.117	0.168	2.436	2.024	0.224
rhodh(6)	max: 1.0	Org	0.169	0.169	1.468	1.468	0.169	1.468	1.468	0.224
	min: -0.9	Cal	0.029	0.169	1.483	1.813	0.053	1.469	1.469	0.224
rhodh(7)	max: 1.0	Org	1.234	1.234	1.598	1.598	1.234	1.598	1.598	0.224
	min: -0.9	Cal	1.234	0.233	1.219	3.028	2.407	2.739	1.604	0.441
rhodh(8)	max: 1.0	Org	1.234	1.234	1.658	1.658	1.234	1.658	1.658	0.219
	min: -0.9	Cal	1.233	2.219	1.271	2.917	1.159	1.683	1.345	0.430

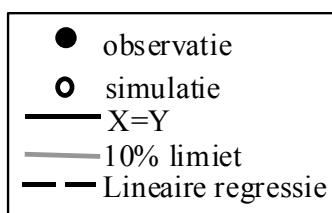
5. Vergelijking van observaties en simulaties

5.1 Algemeen

Bij het vergelijken van simulaties met observaties worden in dit hoofdstuk drie soorten relaties getoond:

- de relatie tussen gesimuleerde (y-as) en waargenomen (x-as) waarden per variabele
- het verloop in de tijd van gesimuleerde en waargenomen waarden per variabele
- de relatie tussen één variabele (y-as) en een andere variabele (x-as), voor zowel gesimuleerde als waargenomen waarden

In alle figuren wordt eenzelfde systematiek gebruikt ten aanzien van de symbolen (Figuur 2): waarbij meetwaarden aangegeven worden door gesloten rondjes, simulatiewaarden door open rondjes, de lijn van perfecte fit tussen simulatie en waarneming door een donkere doorgetrokken lijn (X=Y lijn), de 10% grenzen boven en onder die perfecte fit (10% limiet) door grijze lijnen en de lineaire regressie lijn tussen simulatie (als afhankelijke variabele) en waarneming (als onafhankelijke variabele) door een onderbroken donkere lijn. In figuren met een lineaire regressielijn wordt in een formule de regressievergelijking gegeven, waarin Y staat voor de simulatie en X voor de meetwaarde. Bij de vergelijking wordt ook de R^2 gegeven als maat voor de verklaarde variantie door de regressievergelijking.

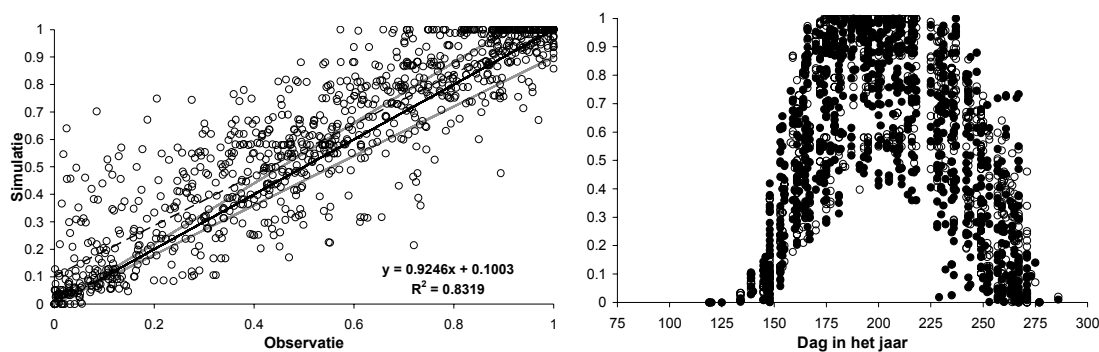


Figuur 2. Legenda bij de figuren.

5.2 Gewasobservaties

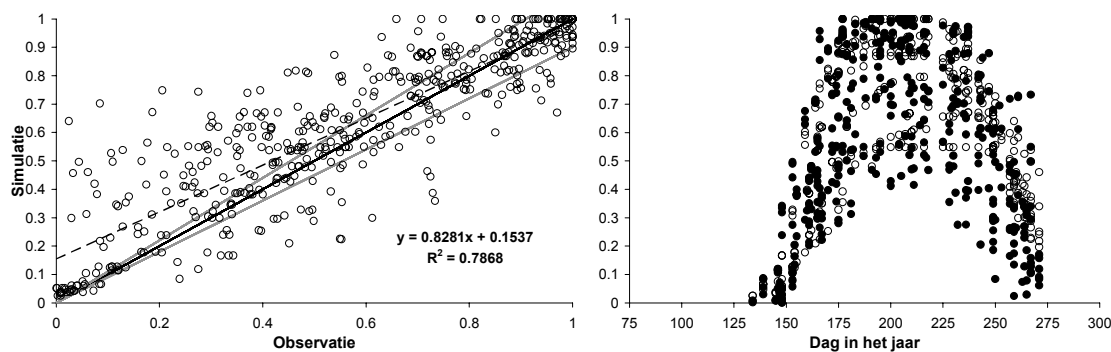
5.2.1 Fractie onderschept licht (FINT)

In het algemeen wordt er een statistisch goede relatie gevonden tussen de gesimuleerde en geobserveerde FINT (Figuur 3), met een R^2 van 0.83 bij 1048 observaties (FINT plus FINTRED uit Tabel 3). Er wordt wel een grote bandbreedte gevonden, hetgeen deels te wijten is aan factoren die niet in het model zijn meegenomen, zoals effecten van zware regen op (tijdelijk) inzakken van het gewas, verschillen tussen de diverse apparaten waarmee gemeten is. De waarnemingen geven ook vaak (flinke) schommelingen tussen opeenvolgende metingen te zien (zie voorbeelden in Figuur 6), die niet direct kunnen volgen uit het plotseling toe- of afnemen van het bladoppervlak, maar het gevolg moeten zijn van andere factoren die de metingen beïnvloeden.

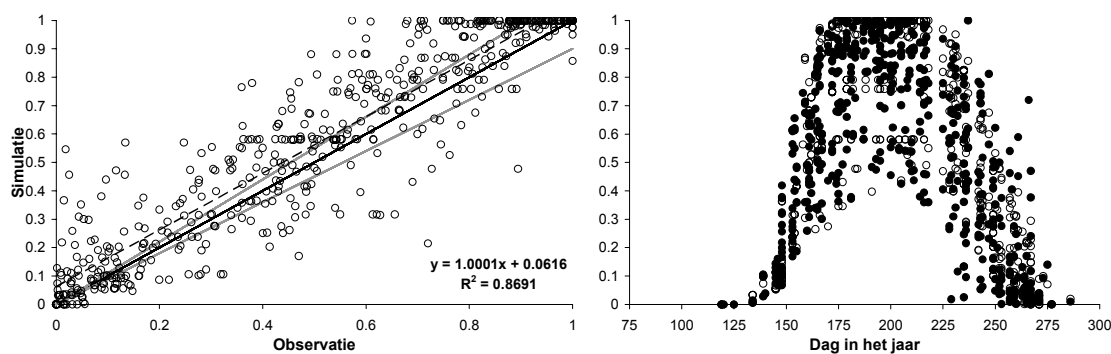


Figuur 3. Links: Gesimuleerde versus waargenomen FINT (dimensieloos); Rechts: verloop van gesimuleerde en waargenomen FINT in de tijd.

Daarnaast blijkt dat de terugloop van de FINT aan het eind van het seizoen voor Karakter veel slechter wordt gesimuleerd dan voor Seresta (vergelijk Figuur 4 met Figuur 5).

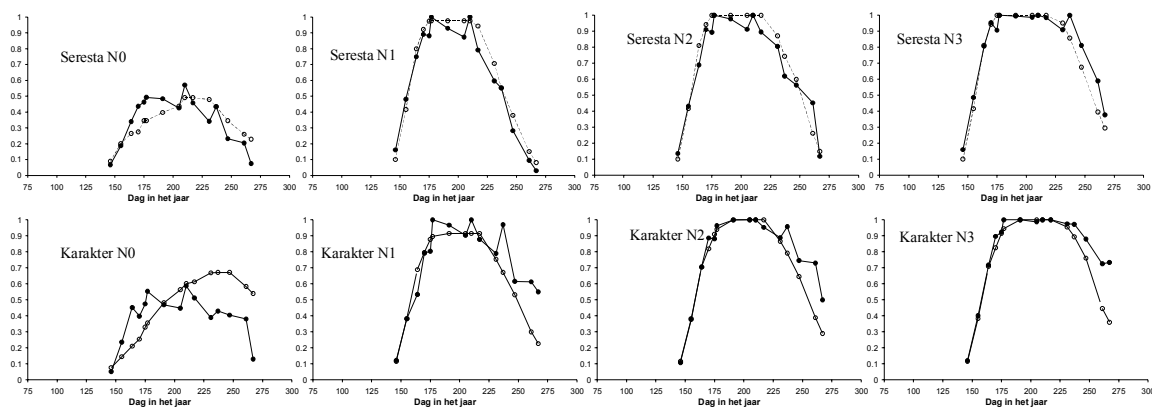


Figuur 4. Als Figuur 3 voor Karakter.



Figuur 5. Als Figuur 3 voor Seresta.

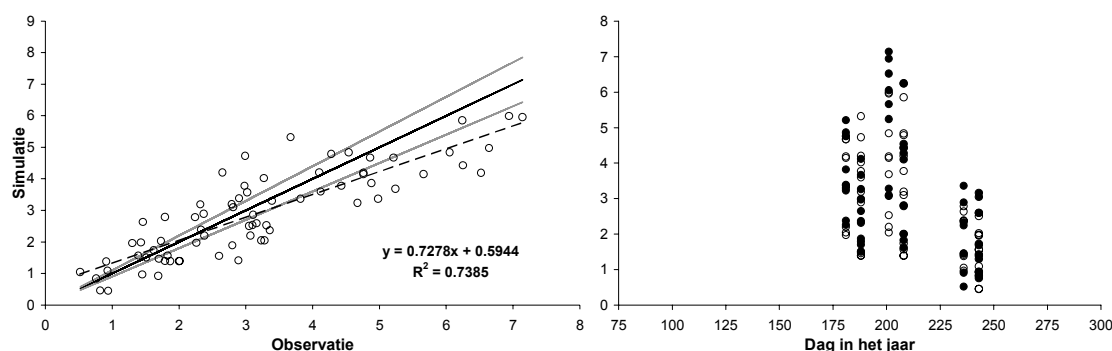
De slechtere vergelijking voor Karakter ligt met name aan het niet correct simuleren van het verloop van de FINT bij lage beschikbaarheid van stikstof, zie voorbeeld in Figuur 6. Gelijkssoortige afwijkingen treden ook op bij de N0 behandelingen in de andere proeven. De lagere waarden voor gesimuleerde FINT aan het eind van het seizoen vergeleken bij de observaties bij N1-N3 voor Karakter gelden alleen voor de betreffende proef: in de andere proeven worden eerder hogere waarden voor de gesimuleerde FINT gevonden.



Figuur 6. Verloop in de tijd van FINT in proef KB-1121 in 1998 voor Seresta (bovenste rij) en Karakter (onderste rij) voor 4 trappen van N bemesting (oplopend van 0 naar 3, zie Tabel 2).

5.2.2 Bladoppervlak (LAI)

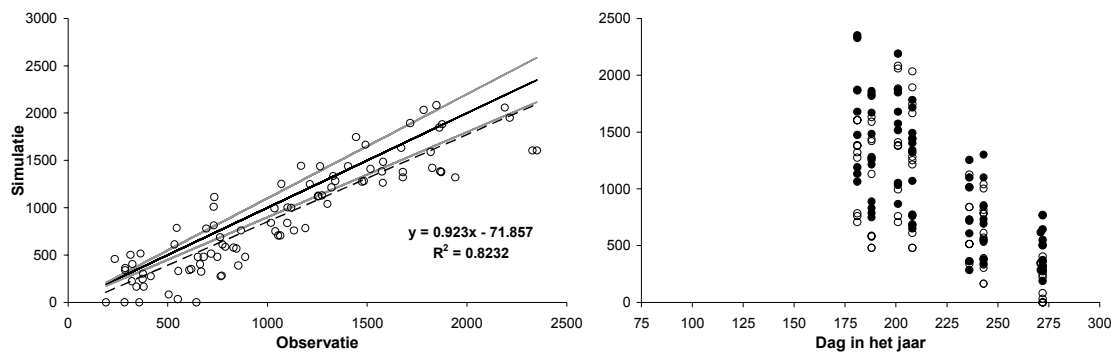
Het model blijkt een onderschatting te geven van de piekhoeveelheid LAI, maar volgt in het algemeen de lagere waarden voorafgaande aan en volgende op die piek en die volgende op de piek (Figuur 7). Dit geldt zowel voor Karakter als voor Seresta. Een uitzondering moet gemaakt worden voor behandelingen met een lage N bemesting bij Karakter. Daar blijkt het model de afname van de hoeveelheid blad na de piek sterk te onderschatten. Hierdoor wordt de FINT in die proeven overschat (zie § 5.2.1).



Figuur 7. Links: Gesimuleerd versus waargenomen LAI (m^2 blad m^{-2} bodem); Rechts: verloop van gesimuleerde en waargenomen LAI in de tijd. Data voor Seresta en Karakter gecombineerd uit proeven KB-9020 en KP-9039 (geen data uit de andere proeven beschikbaar).

5.2.3 Bladgewicht

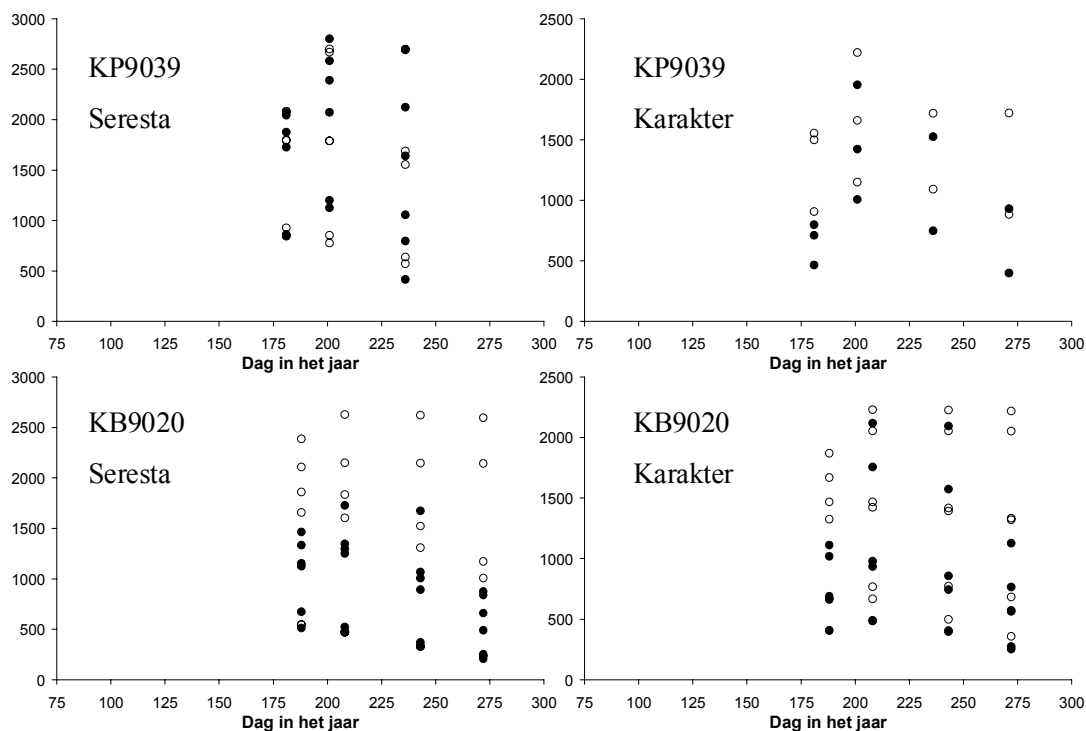
De gesimuleerde droge stof in de bladeren (WLEDT; $kg\ ds\ ha^{-1}$) is gemiddeld genomen lager dan de observaties (Figuur 8). Hierbij blijkt in alle behandelingen voor beide cultivars hetzelfde patroon op te treden, namelijk dat de piekhoeveelheid blad wel redelijk goed gesimuleerd wordt, maar de hoeveelheden voorafgaande aan en volgende op de piek onderschat worden. In combinatie met het omgekeerde verloop van de relatie tussen gesimuleerde en geobserveerde LAI duidt dit erop dat met name het specifieke bladgewicht (SLA in $ha\ kg^{-1}$, i.e. de verhouding tussen oppervlak en droge stof van blad) niet goed gesimuleerd wordt.



Figuur 8. Links: Gesimuleerde versus waargenomen droge stof in blad (WLEDT; kg ha⁻¹); Rechts: verloop van gesimuleerde en waargenomen WLEDT in de tijd. Data voor Seresta en Karakter gecombineerd uit proeven KB-9020 en KP-9039 (geen data uit de andere proeven beschikbaar).

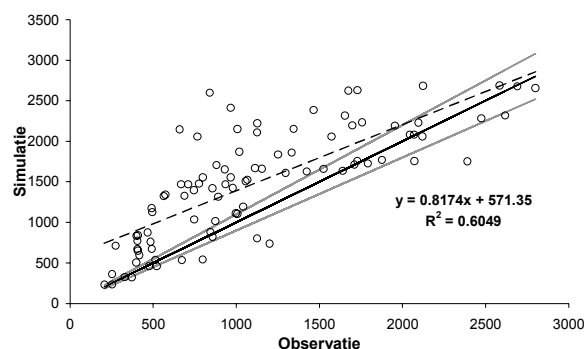
5.2.4 Stengelgewicht

Het verband tussen gesimuleerd en geobserveerd stengelgewicht WSTDT (kg ds ha⁻¹) is sterk verschillend tussen de twee proeflocaties in de proeven KB9020 en KP9039 van 1999 (Figuur 9; er zijn geen gegevens van WSTDT voor de andere proeven en jaren). Hierbij valt op dat met name voor Seresta in Kooijenburg de observaties erg lage stengelgewichten te zien geven.



Figuur 9. Verloop in de tijd van gesimuleerde en geobserveerde droge stof in stengels (WSTDT, kg ha⁻¹) voor twee proeven en twee cultivars (data van andere proeven niet beschikbaar).

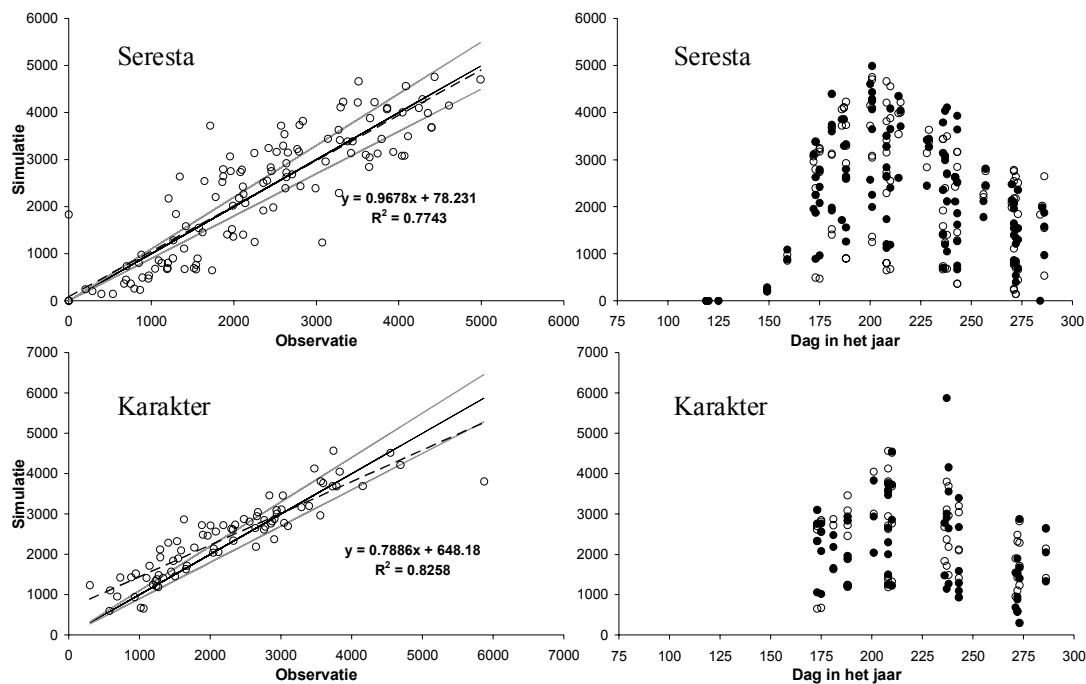
Gemiddeld genomen blijkt de stengelproductie in de simulaties overschat te worden (Figuur 10), vermoedelijk doordat de blad-stengel verhouding meer dynamisch is dan in het model wordt aangenomen en doordat de afsterving (en daaropvolgend ‘verdwijnen’) van stengels onderschat wordt.



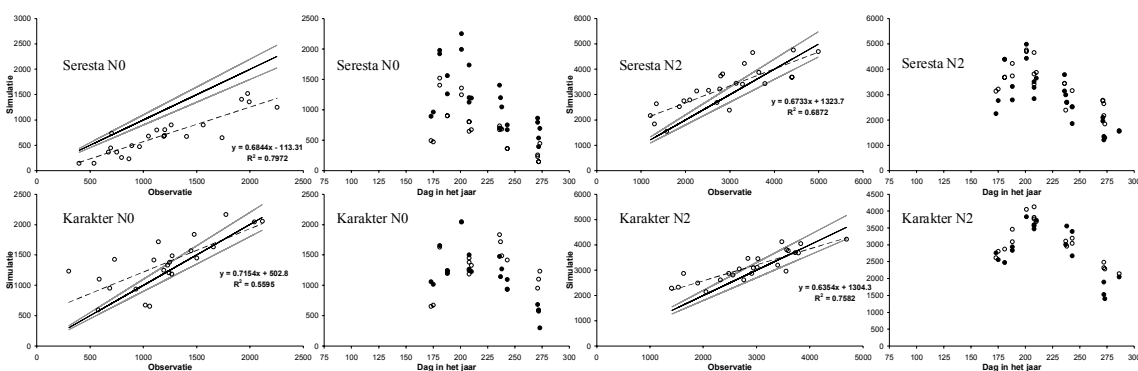
Figuur 10. *Vergelijking van gesimuleerd en waargenomen hoeveelheid droge stof in de stengel (WSTDT, kg ha⁻¹; Seresta en Karakter van proeven KB9020 en KP9039; gegevens van andere proeven niet beschikbaar).*

5.2.5 Totaal bovengronds gewicht

In alle proeven is de totale hoeveelheid bovengrondse droge stof bepaald (WAGD, kg ds ha⁻¹), hetgeen de som is van de hoeveelheid droge stof in blad en in stengel. Gemiddeld genomen lijkt het model de observaties redelijk te volgen (Figuur 11), maar het blijkt dat bij Seresta de WAGD bij lage N beschikbaarheid gedurende het gehele groeiseizoen onderschat wordt, terwijl bij hoge N beschikbaarheid dan juist de vroege groei overschat wordt (Figuur 12). Bij Karakter wordt de afname van de bovengrondse biomassa aan het eind van het groeiseizoen onderschat, met name doordat het tijdstip waarop de afname begint in de simulaties later ligt dan in de observaties.



Figuur 11. Links: Gesimuleerd versus waargenomen droge stof in de bovengrondse delen (WAGD; kg ha⁻¹); Rechts: verloop van gesimuleerde en waargenomen WAGD in de tijd; alle gegevens per cultivar gecombineerd.



Figuur 12. Als Figuur 11, per cultivar gesplitst naar behandelingen met géén of hoge N bemesting.

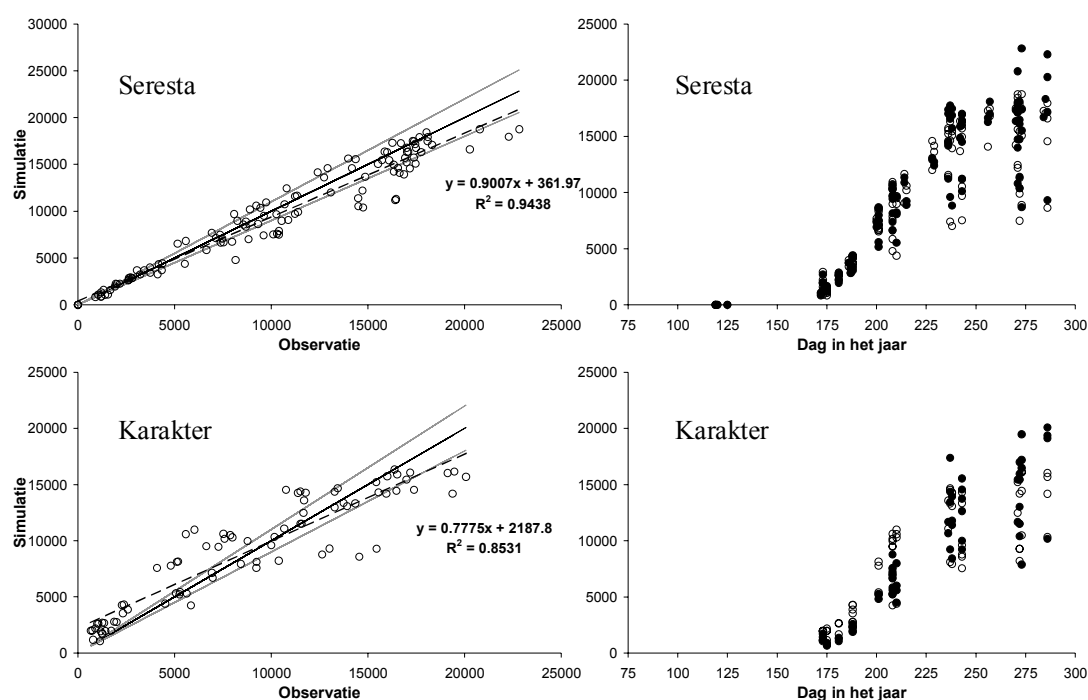
5.2.6 Droge stof in de knollen

Het gesimuleerde verloop in de tijd van de hoeveelheid droge stof van knollen (WTUD; kg ha⁻¹) volgt duidelijk het patroon van de waarnemingen (Figuur 13). Bij Karakter valt op dat de gesimuleerde knolgroei eerder of sneller op gang komt dan in de waarnemingen. Hierdoor wordt in de vroege fase van knolvulling de productie bij Karakter overschat.

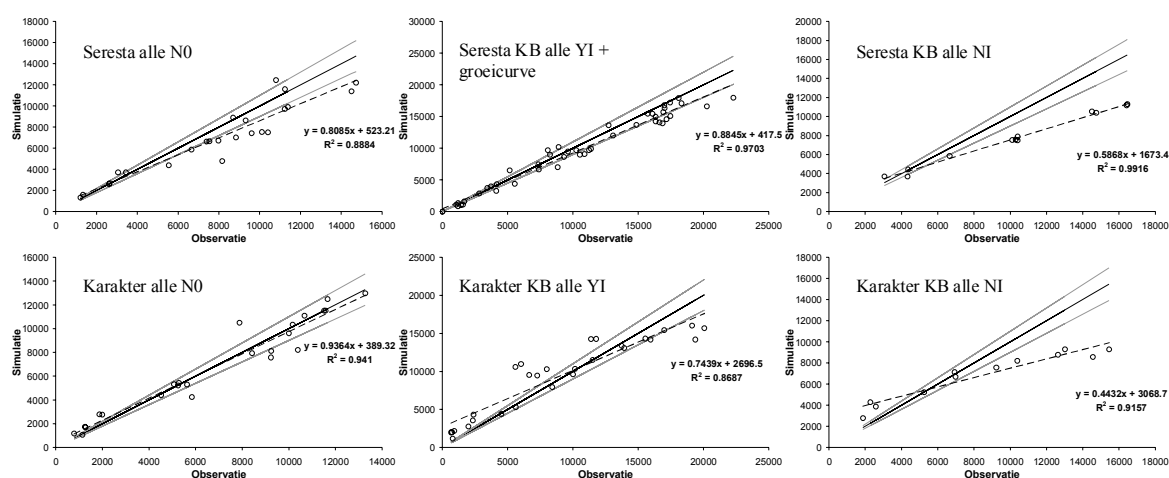
Zowel bij Karakter als bij Seresta is er een groep meetpunten waarbij de waargenomen knolvulling (sterk) onderschat wordt. Deze meetpunten blijken grotendeels te komen uit de proef KB9020, uitgevoerd in 1999 en wel bij de behandelingen waarin niet berekend is (Figuur 14). Bij proeven op 't Kompas en in 1998 ook op Kooijenburg werd een zodanig afgescheiden groep van onderschattingen niet gevonden. Dit duidt erop dat de vochtvoorziening in Kooijenburg in het jaar 1999 niet goed

berekend werd door het model. In 1998 was waarschijnlijk de regenval voldoende om het gewas te laten groeien zonder dat er vochtgebrek optrad. Bij de calibratie is de module SAHEL gebruikt voor de simulatie van het bodemwater. In deze module wordt geen capillaire opstijging naar de wortelzone vanuit het grondwater berekend, terwijl dit blijkbaar voor de niet beregende objecten op Kooijenburg wel nodig zou zijn geweest.

Lage N beschikbaarheid blijkt bij Seresta ook iets bij te dragen tot de onderschatting (Figuur 14; N0 behandelingen), terwijl dit voor Karakter niet het geval is.



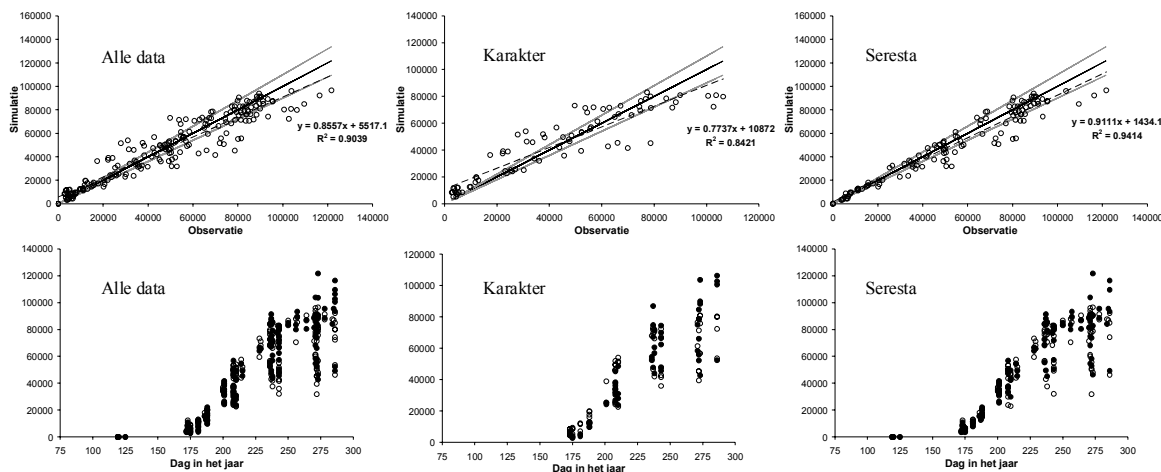
Figuur 13. Links: Gesimuleerd versus waargenomen droge stof in de knollen (WTUD; kg ha^{-1}); Rechts: verloop van gesimuleerde en waargenomen WTUD in de tijd; gegevens per cultivar over alle proeven gecombineerd.



Figuur 14. Vergelijking van gesimuleerde en waargenomen droge stof in de knollen (WTUD; kg ha^{-1}) per cultivar voor geselecteerde behandelingen: N0: behandelingen zonder bemesting met stikstof; KB: Kooijenburg; YI: behandelingen met beregning; NI: behandelingen zonder beregning.

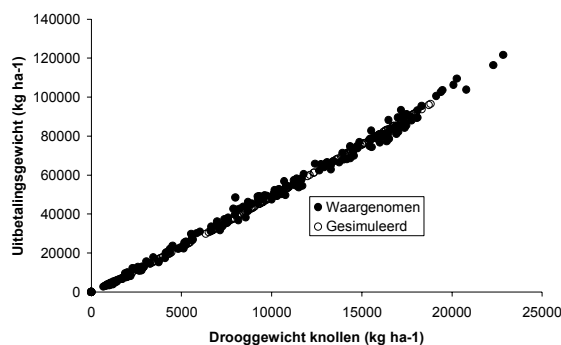
5.2.7 Uitbetalingsgewicht

In het model wordt het uitbetalingsgewicht (UBG, kg ha⁻¹) berekend als functie van het gesimuleerde gewicht aan droge stof in de knol. Het verloop in de tijd van het UBG is daarom vrijwel identiek aan dat van de droge stof in de knollen (vergelijk Figuur 15 met Figuur 13) en afwijkingen tussen simulaties en waarnemingen treden bij UBG in dezelfde situaties op als bij WTUD.



Figuur 15. Boven: vergelijking van gesimuleerde en waargenomen uitbetalingsgewicht (UBG, kg ha⁻¹). Onder: het verloop van gesimuleerde en waargenomen UBG in de tijd.

De gebruikte berekeningsmethode om UBG te relateren aan het drooggewicht van de knollen geeft een welhaast perfecte fit met de waargenomen relatie tussen UBG en knol-drooggewicht (Figuur 16). Afwijkingen tussen waargenomen UBG en gesimuleerde UBG zijn daarom bijna volledig aan het niet juist simuleren van het drooggewicht in de knollen te relateren.

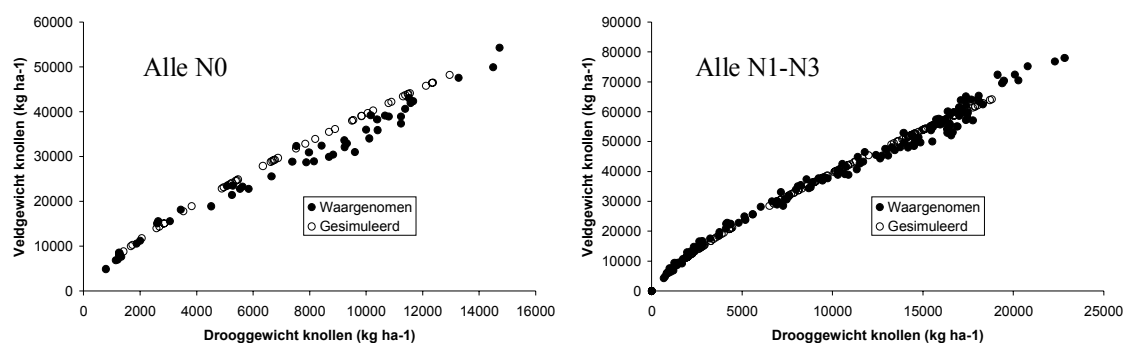


Figuur 16. Gesimuleerde en waargenomen relatie tussen uitbetalingsgewicht (UBG, kg ha⁻¹) en het drooggewicht in de knollen (WTUD, kg ha⁻¹).

5.2.8 Veldgewicht knollen

Ook het veldgewicht van de knollen (WTUF, kg ha⁻¹) wordt in het simulatiemodel berekend als een functie van het gesimuleerde drooggewicht (WTUD, kg ha⁻¹). De gesimuleerde WTUF wordt in het model verder niet gebruikt voor het berekenen van het UBG (zie sectie 5.2.7). Voor de behandelingen

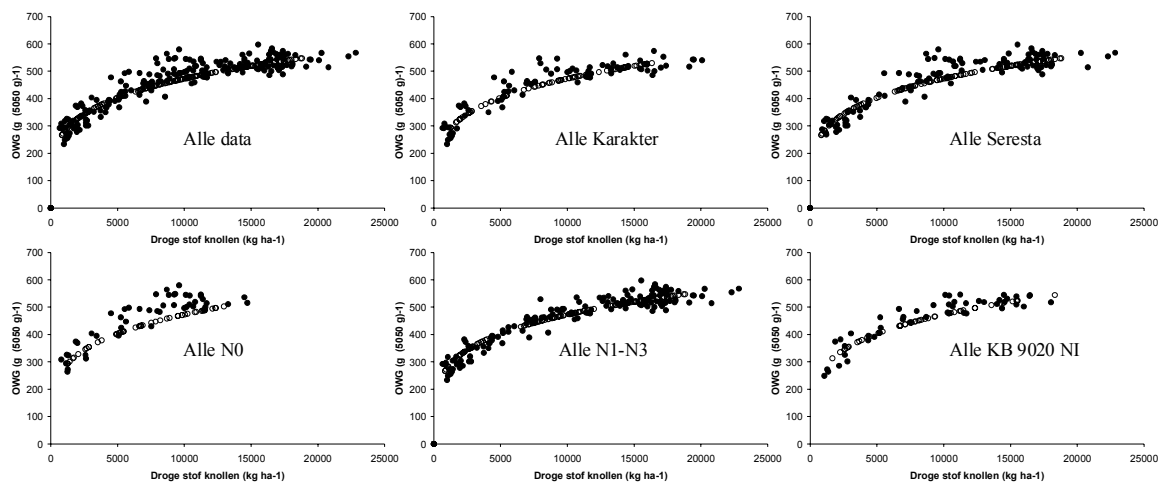
met een lage beschikbaarheid aan stikstof (met name N0) wordt de relatie tussen het veldgewicht in de simulaties overschat ten opzichte van de waarnemingen (Figuur 17), terwijl dit bij de behandelingen met hogere giften van stikstof nauwelijks het geval is. Bij de N0 behandelingen zijn daarmee afwijkingen tussen gesimuleerde en waargenomen WTUF zijn toe te schrijven aan afwijkingen in de gesimuleerde WTUD én aan de fout in de gebruikte omrekening van WTUD naar WTUF, terwijl bij de andere behandelingen alleen de fout in de gesimuleerde WTUD van belang is. Om de relatie tussen WTUD en WTUF beter te maken zal vermoedelijk gebruik gemaakt moeten worden van informatie betreffende het stikstofgehalte in de knollen.



Figuur 17. Gesimuleerde en waargenomen relatie tussen veldgewicht (WTUF, kg ha^{-1}) en drooggewicht van de knollen (WTUD, kg ha^{-1}) voor geselecteerde behandelingen: Alle N0: alle cultivars, locaties en jaren waarbij géén stikstof bemesting heeft plaatsgevonden; Alle N1-N3 alle overige behandelingen.

5.2.9 Onderwatergewicht knollen

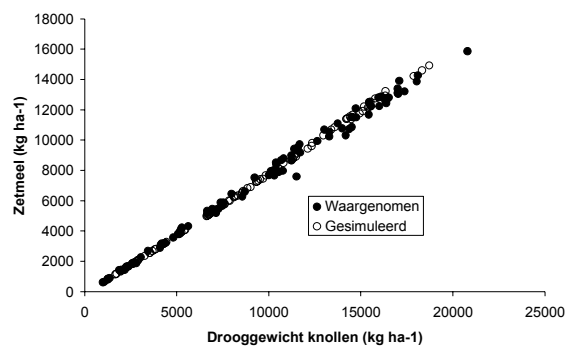
Net als UBG en WTUF, wordt het onderwatergewicht van de knollen (OWG, $\text{g (5050 g}^{-1})$) in het model uitgerekend als een functie van gesimuleerde WTUD. De gesimuleerde OWG wordt in het model verder niet gebruikt voor het berekenen van het UBG (zie sectie 5.2.7). Er blijkt géén verschil te zijn tussen Karakter en Seresta wat betreft de relatie tussen WTUD en OWG (Figuur 18). Er blijkt echter wel een duidelijk effect te zijn van lage stikstofbeschikbaarheid: in de N0 behandelingen zijn de gesimuleerde OWG consequent lager dan de waargenomen OWG bij eenzelfde droge stof hoeveelheid in de knollen, bij de andere stikstofbehandelingen is dit niet het geval. Ook watergebrek, dat waarschijnlijk is opgetreden in de niet beregende behandelingen van proef KB 9020 in 1999, lijkt de verhouding tussen WTUD en OWG te beïnvloeden.



Figuur 18. Gesimuleerde en waargenomen onderwatergewicht voor geselecteerde groepen van metingen: N0: behandelingen zonder bemesting met stikstof; N1-N3: behandelingen waarin bemest is met stikstof; KB: Kooijenburg; NI: behandelingen zonder berekening.

5.2.10 Zetmeel

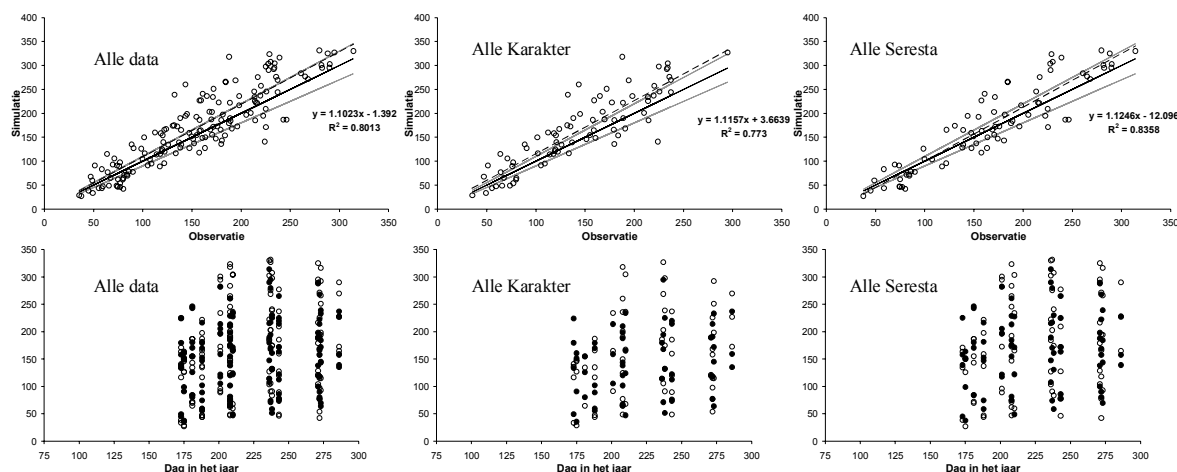
Ook de geproduceerde hoeveelheid zetmeel (YStarch, kg ha^{-1}) wordt in het model berekend als functie van de hoeveelheid droge stof in de knol en blijkt de gebruikte functie eenzelfde verband op te leveren als in de waarnemingen gevonden wordt. Afwijkingen tussen gesimuleerde en waargenomen hoeveelheid zetmeel zijn dus te wijten aan het incorrect simuleren van de hoeveelheid droge stof in de knol.



Figuur 19. Relatie tussen hoeveelheid geproduceerd zetmeel (kg ha^{-1}) en de hoeveelheid droge stof in de knollen (kg ha^{-1}); data voor Karakter en Seresta, alle behandelingen van proeven KB9020 en KP9039; geen gegevens van de andere proeven beschikbaar.

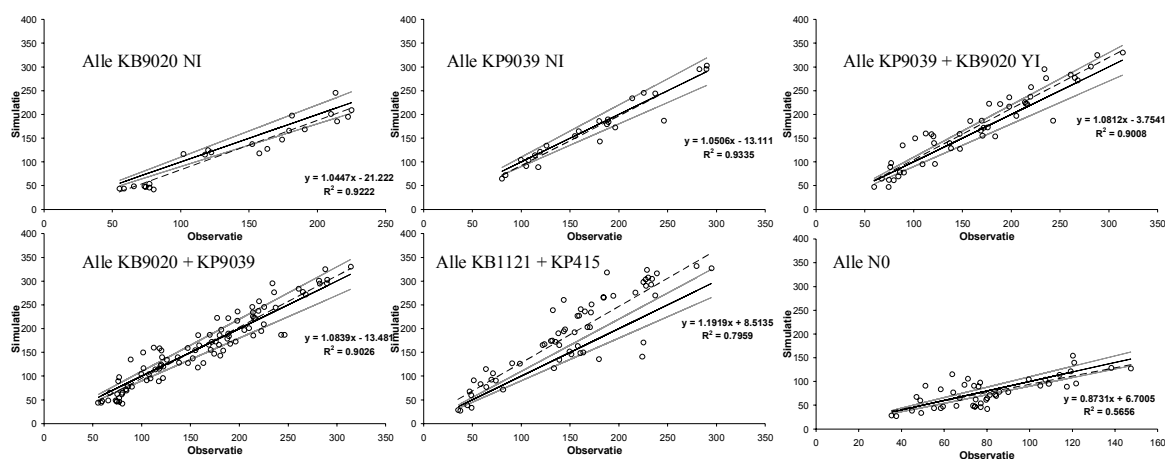
5.2.11 Totale hoeveelheid N in het gewas

De totale hoeveelheid N in het gewas (TotNTot; kg ha^{-1}) betreft de organische en minerale N die in alle plantdelen van het gewas gevonden worden. Als zodanig is het een maat voor de mate waarin het model de relatie tussen beschikbare hoeveelheid N in de bodem en de N behoefte en opnamecapaciteit van het gewas goed beschrijft. Wanneer alle data tezamen worden genomen (van de proeven KP 415 en KB 1121 uit 1998 en KP 9039 en KB 9020 uit 1999) blijkt dat het model de feitelijke opname overschat met gemiddeld zo'n 10%, en dat deze overschatting iets sterker is voor Karakter dan voor Seresta (Figuur 20). Het patroon van de opname in de tijd wordt door het model goed gevolgd.



Figuur 20. Boven: gesimuleerde versus waargenomen totale hoeveelheid N in het gewas (TotNTot, kg N ha⁻¹); Onder: verloop in de tijd van gesimuleerde en waargenomen TotNTot.

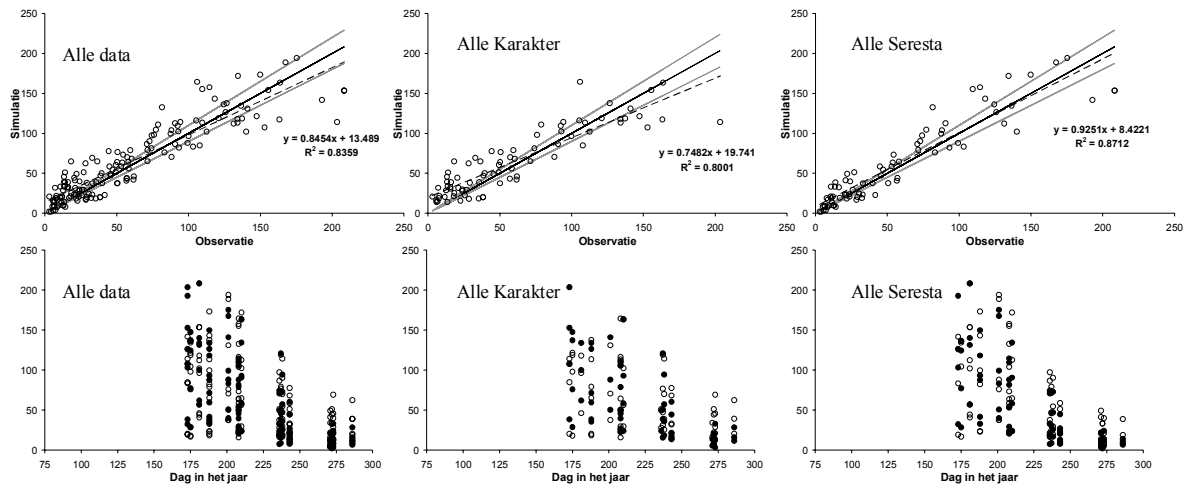
Bij nadere analyse (Figuur 21), blijkt dat bij de onberegende behandelingen in Kooijenburg in het relatief droge jaar 1999 de totale N opname onderschat werd door het model (hetgeen ook weer duidt op het niet goed simuleren van de hoeveelheid bodemwater, zie ook sectie 5.2.6). Voorts blijkt dat gemiddeld bij alle N₀ behandelingen (dus beide jaren en proeflocaties) het model de opname onderschat, hoewel bij een deel van de metingen (met name die aan het eind van het groeiseizoen in 1998, data niet uitgesplitst in de figuur) de opname overschat werd. In andere behandelingen op Kooijenburg en op proefbedrijf 't Kompas werd een overschatting gevonden, in geringe mate in die van 1999 (KB9020 en KP9039), maar sterk in de proeven van 1998 (KB1121 en KP415). De verschillen tussen het natte jaar 1998 en het droge jaar 1999 zouden er op kunnen duiden dat de gesimuleerde relatie tussen regenval en resulterende bodemvochtdynamiek enerzijds en bodemstikstofdynamiek (met name die van de minerale N) en/of de wortelgroei anderzijds verbetering behoeft.



Figuur 21. Gesimuleerde versus waargenomen totale hoeveelheid N (TotNTot, kg N ha⁻¹) voor geselecteerde behandelingen.

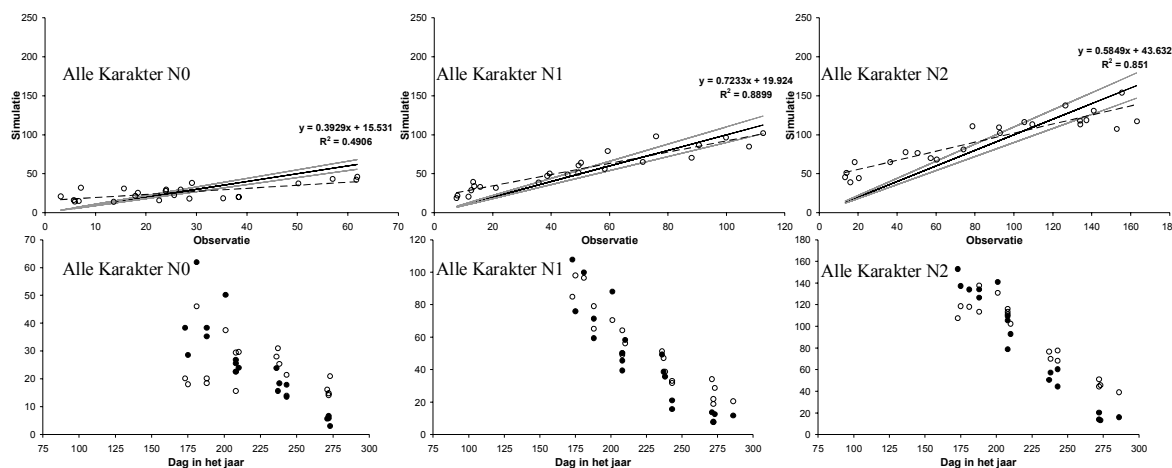
5.2.12 Totale hoeveelheid N in de bovengrondse delen

De gesimuleerde hoeveelheid N in de bovengrondse delen (TotN_{Ag}, kg N ha⁻¹) vertoont in het algemeen een onderschatting in het vroege deel van het seizoen waarin de bovengrondse biomassa aan het toenemen is (Figuur 22). Met name bij lage N beschikbaarheid (N₀ behandelingen) wordt deze onderschatting gevonden (zie voorbeeld voor Karakter in Figuur 23; Seresta vertoont eenzelfde effect maar minder sterk).



Figuur 22. Boven: vergelijking van gesimuleerde en waargenomen totale hoeveelheid N in de bovengrondse delen (TotN_{Ag}, kg N ha⁻¹); Onder: verloop in de tijd van gesimuleerde en waargenomen TotN_{Ag}.

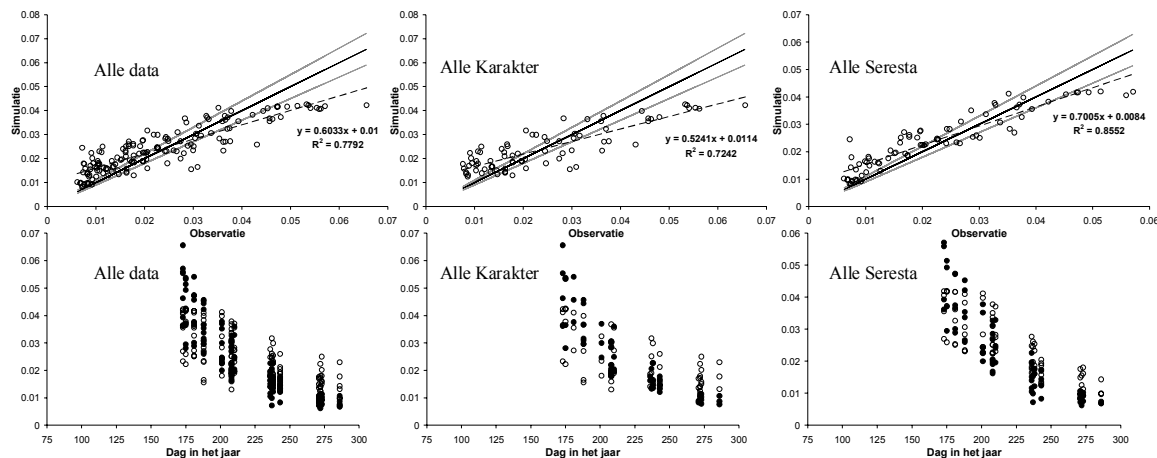
Daarnaast overschat het model TotN_{Ag} later in het seizoen wanneer deze biomassa aan het afsterven is. Ook deze trend is sterker voor Karakter dan voor Seresta. Dit duidt erop dat de snelheid en mate van herverdeling van stikstof aan het eind van het groeiseizoen onderschat wordt, met name omdat de hoeveelheid droge stof in de bladeren (waarin zich het grootste deel van de bovengrondse stikstof bevindt) onderschat wordt (sectie 5.2.3). Het al dan niet beregenen op Kooijenburg in 1999 heeft nauwelijks effect op de bovengenoemde relaties. Dit kan er op duiden dat de droogte met name is opgetreden nadat de groei van bovengrondse biomassa is gestopt, waarbij de relatieve herverdeling van stikstof vanuit de bovengrondse biomassa nauwelijks door droogte is beïnvloed.



Figuur 23. Als Figuur 22 voor geselecteerde behandelingen bij cultivar Karakter: N0, N1, N2: niveaus van stikstofbemesting (zie Tabel 2 voor details).

5.2.13 Concentratie totale N in de bovengrondse delen

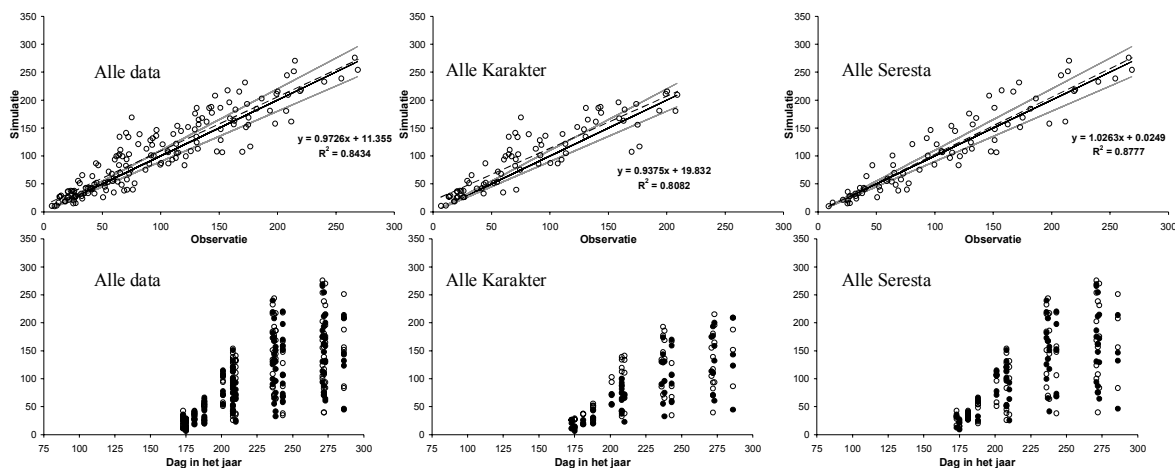
Als gevolg van de onderschatte herverdeling bij het afsterven van de bovengrondse biomassa (sectie 5.2.11), is de gesimuleerde N concentratie tijdens die fase hoger dan de waarnemingen, hetgeen voor Karakter sterker is dan voor Seresta (Figuur 24). Tevens is er een onderschatting in de periode dat de bovengrondse biomassa nog aan het groeien is of net op haar maximum is.



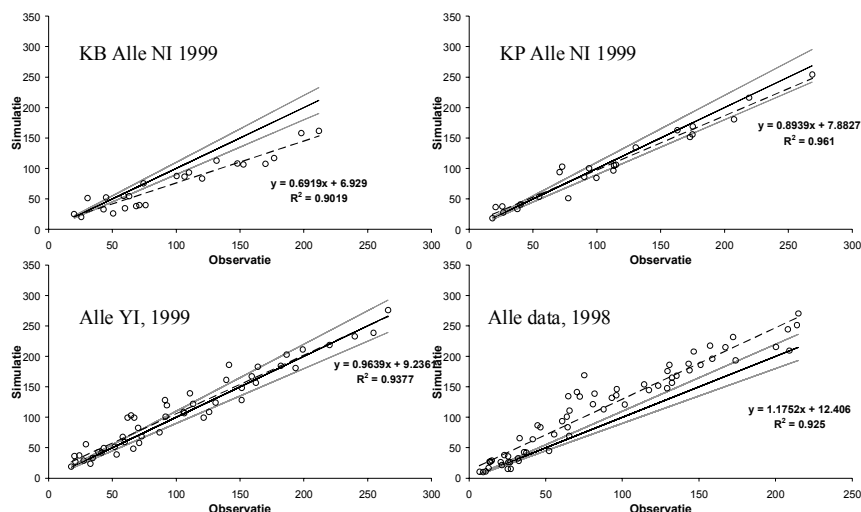
Figuur 24. Boven: vergelijking van gesimuleerde en waargenomen concentratie totale N in de bovengrondse delen (NT_{TotAg} , $kg\ kg^{-1}$); Onder: verloop in de tijd van gesimuleerde en waargenomen NT_{TotAg} .

5.2.14 Totale hoeveelheid N in de knollen

Gemiddeld genomen volgt de gesimuleerde hoeveelheid N in de knollen ($TotNTu$, $kg\ N\ ha^{-1}$) de hoeveelheid en het verloop in de tijd van de waarnemingen, waarbij de simulaties voor Karakter gemiddeld iets hoger uitkomen dan de waarnemingen en bij Seresta vrijwel gelijk zijn (Figuur 25). Het valt op dat bij de aanvang van de groei van de knollen de hoeveelheid stikstof daarin goed gesimuleerd wordt, en dat afwijkingen bij Karakter met name optreden in het middendeel van de groei (dag 200-240). Dit laatste komt overeen met afwijkingen die in de hoeveelheid droge stof in de knol gevonden worden in die periode (Sectie 5.2.6).



Figuur 25. Boven: vergelijking van gesimuleerde en waargenomen totale hoeveelheid N in de knollen (TotNTu, kg N ha⁻¹); Onder: verloop in de tijd van gesimuleerde en waargenomen TotNTu.

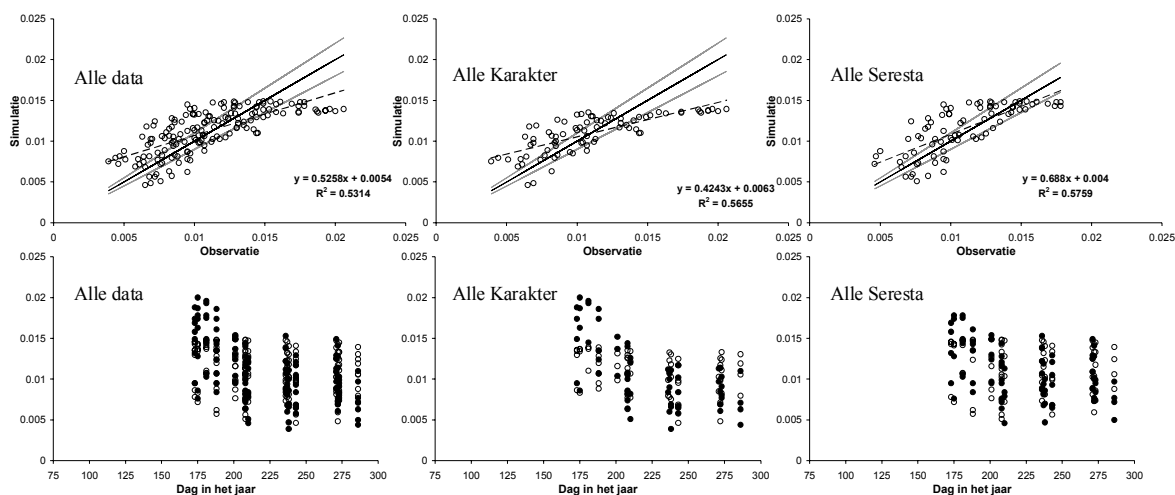


Figuur 26. Vergelijking van gesimuleerde en waargenomen hoeveelheid N in de knollen (TotNTu, kg N ha⁻¹) voor geselecteerde sets waarnemingen; KB = Kooijenburg, KP = 't Kompas, NI = niet beregend; YI = wel beregend.

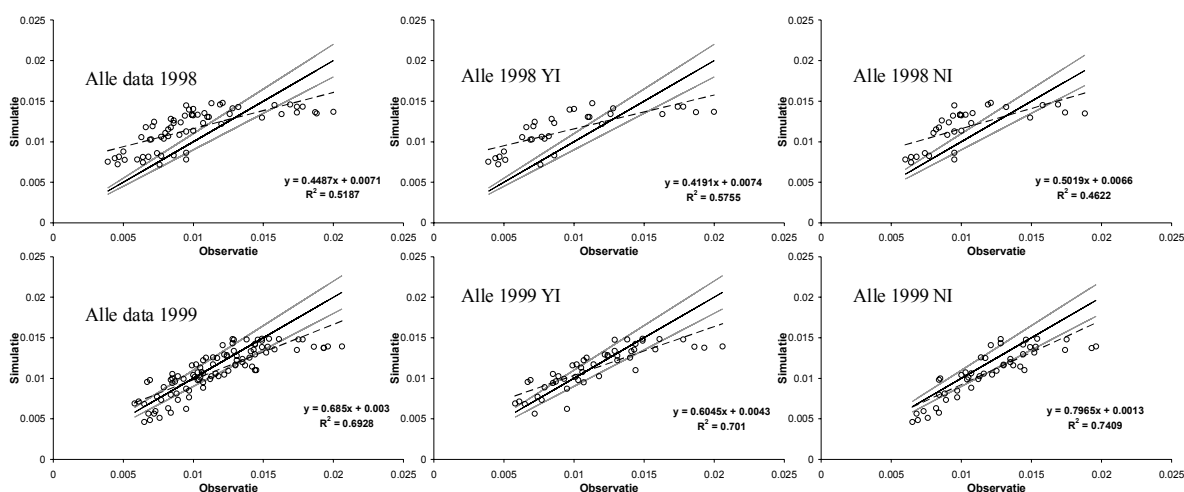
Bij nadere analyse valt op dat bij de niet beregende behandelingen in 1999 het model de stikstofhoeveelheid in de knollen onderschat, een effect dat sterker is op Kooijenburg, maar toch ook (licht) op 't Kompas, terwijl bij de beregende behandelingen in 1999 de simulaties en waarnemingen vrijwel identiek zijn (Figuur 26). Voorts is duidelijk dat in 1998 het model de hoeveelheid N in de knollen (sterk) overschat, terwijl de vergelijking tussen simulaties en waarnemingen betreffende de hoeveelheid droge stof in de knollen geen duidelijk verschil gaf tussen 1998 en 1999. Dit duidt erop dat de beschikbaarheid en/of toegankelijkheid van N in de bodem in het nattere jaar 1998 vermoedelijk overschat is ten opzichte van het drogere jaar 1999.

5.2.15 Concentratie totale N in de knollen

De gesimuleerde concentratie totale N in de knollen (NTotTu, kg N (kg ds)⁻¹) wijkt sterk af van waarnemingen (Figuur 27) zodat het waargenomen patroon van ‘verdunding’ van N in de knol niet goed gevolgd wordt. Hierdoor wordt voor beide cultivars de concentratie vroeg in de periode van knolgroei sterk onderschat en de concentratie aan het eind van de knolgroei sterk overschat.



Figuur 27. Boven: vergelijking van gesimuleerde en waargenomen concentratie totale N in de knollen (NTotTu, kg N (kg ds)⁻¹); Onder: verloop in de tijd van gesimuleerde en waargenomen NTotTu.

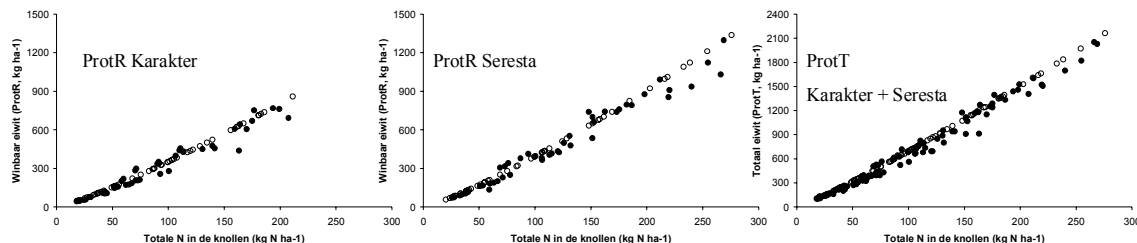


Figuur 28. Vergelijking tussen gesimuleerde en waargenomen concentratie totale N in de knollen (NTotTu, kg N (kg ds)⁻¹) voor verschillende selecties van data; NI: niet berekend, YI: wel berekend

Ook hier blijken er grote verschillen tussen de twee jaren op te treden (Figuur 28) waarbij in 1998 de concentratie gemiddeld genomen sterk overschat wordt (behalve dan de hoge concentratie vroeg in de knolgroei die altijd onderschat wordt), en in 1999 licht onderschat. Deze lichte onderschatting in 1999 komt met name voor bij de behandelingen waarin niet berekend is. In 1998 was geen merkbaar verschil tussen de beregende en niet beregende behandelingen. Het feit dat in 1998 de verdunding van N niet goed gesimuleerd werd, terwijl dit in 1999 veel beter gebeurde, kan duiden op een verkeerde berekening bij hogere regenval van de N dynamiek in de bodem en/of op een verkeerde berekening van de capaciteit van het gewas om stikstof op te nemen in verhouding tot de fotosynthese capaciteit.

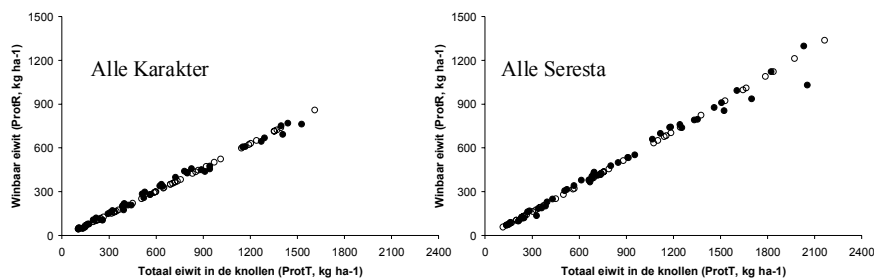
5.2.16 Hoeveelheid totaal en winbaar eiwit in de knollen

In het simulatiemodel wordt een cultivar onafhankelijke formule gebruikt om de hoeveelheid totaal eiwit (ProtT , kg ha^{-1}) te berekenen uit de gesimuleerde hoeveelheid totaal N in de knollen (TotNTu , kg N ha^{-1}). Een vergelijkbare formule wordt gebruikt om de hoeveelheid winbare eiwit (ProtR , kg ha^{-1}) te relateren aan TotNTu , waarbij een iets andere relatie wordt gebruikt voor Karakter dan voor Seresta. De gebruikte formules blijken zeer goed de waarnemingen te volgen (Figuur 29), met uitzondering van een klein aantal metingen van het winbaar eiwit bij hoge N hoeveelheden in de knollen bij de proef op 't Kompas, waar de observaties minder zijn dan verwacht.



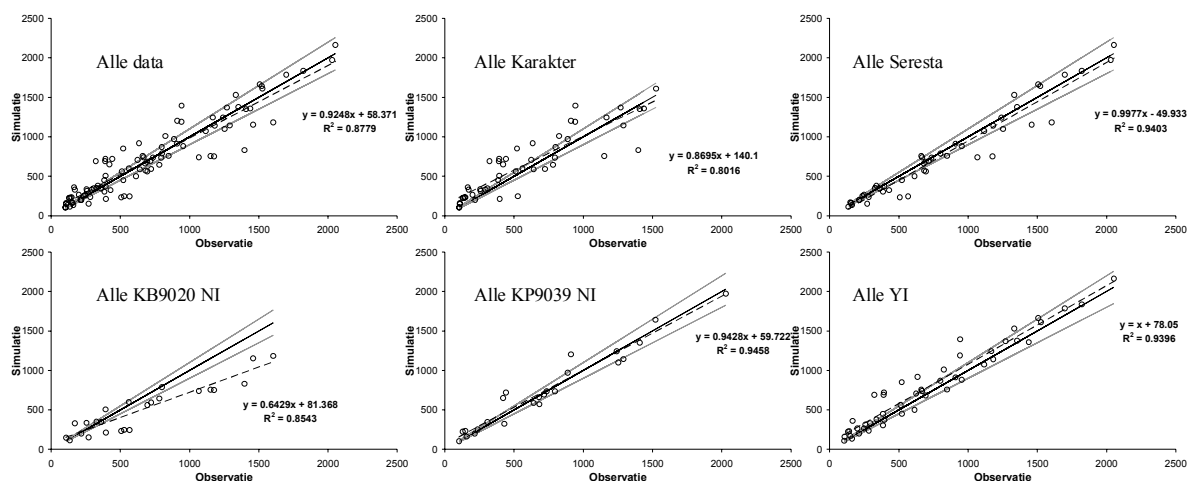
Figuur 29. Winbaar en Totaal eiwit (ProtR en ProtT , kg eiwit ha^{-1}) in relatie tot totale hoeveelheid N in de knollen (TotNTot , kg N ha^{-1}).

Ook wat betreft de relatie tussen totaal en winbaar eiwit volgt de simulatie zeer goed de waarnemingen (Figuur 30).



Figuur 30. Gesimuleerde en geobserveerde relatie tussen totaal en winbaar eiwit in de knollen (ProtT en ProtR , kg ha^{-1}) per cultivar.

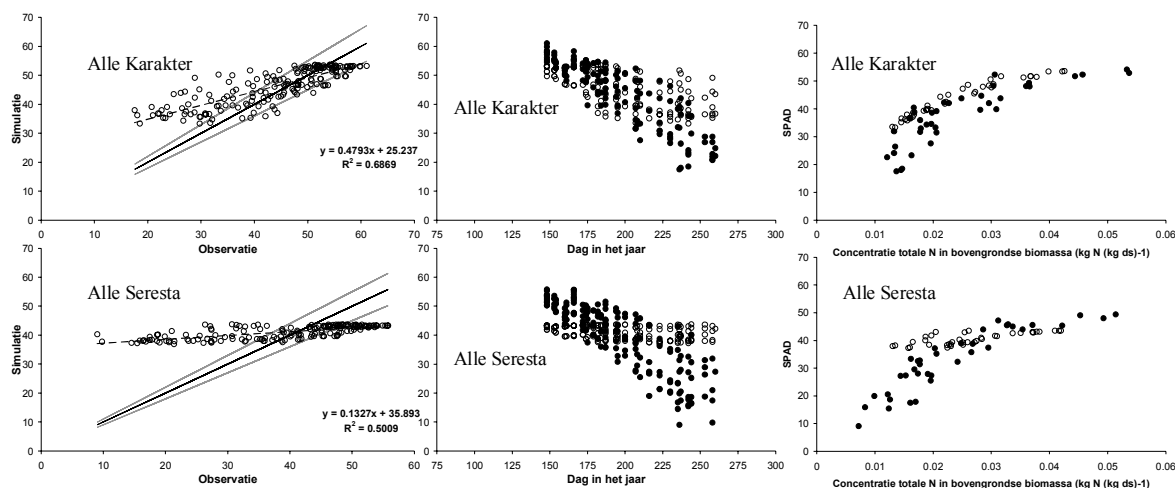
Door het goed verband tussen ProtR en ProtT enerzijds en TotNTot anderzijds, zijn afwijkingen in de gesimuleerde eiwithoeveelheden ten opzichte van de waarnemingen met name te wijten aan afwijkingen in de gesimuleerde hoeveelheid totaal N in de knol (vergelijk Figuur 31 met Figuur 25 en Figuur 26).



Figuur 31. Vergelijking van gesimuleerde versus waargenomen totale hoeveelheid eiwit in de knollen (ProfT, kg ha⁻¹); data alleen beschikbaar voor proeven KB9020 en KP9039; NI: niet berekend; YI: wel berekend.

5.2.17 SPAD

In het model worden de SPAD waarden berekend als functie van de totale hoeveelheid N per eenheid bladoppervlak (kg N (ha blad)⁻¹). Dit blijkt niet een goede methode te zijn (Figuur 32) gezien de slechte vergelijking van gesimuleerde versus waargenomen SPAD, het veel vlakker verloop in de tijd van de gesimuleerde SPAD ten opzichte van de waarnemingen, en het niet kunnen simuleren van de teruggang in SPAD bij lagere concentraties van N in de bovengrondse biomassa.

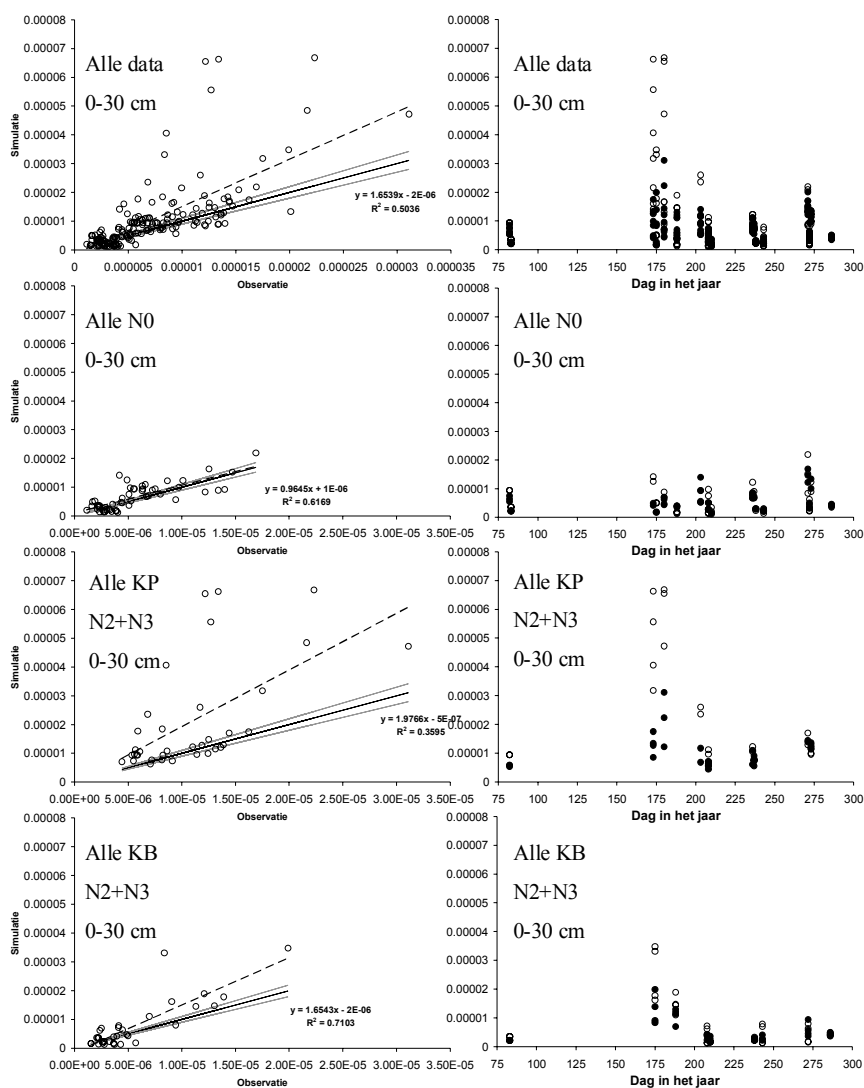


Figuur 32. Links: gesimuleerde versus waargenomen SPAD waarden; Midden: verloop in de tijd van gesimuleerde en waargenomen SPAD; Rechts: relatie van SPAD met de concentratie totale N in bovengrondse biomassa (NTotAg, kg N (kg ds)⁻¹).

5.3 Bodemobservaties

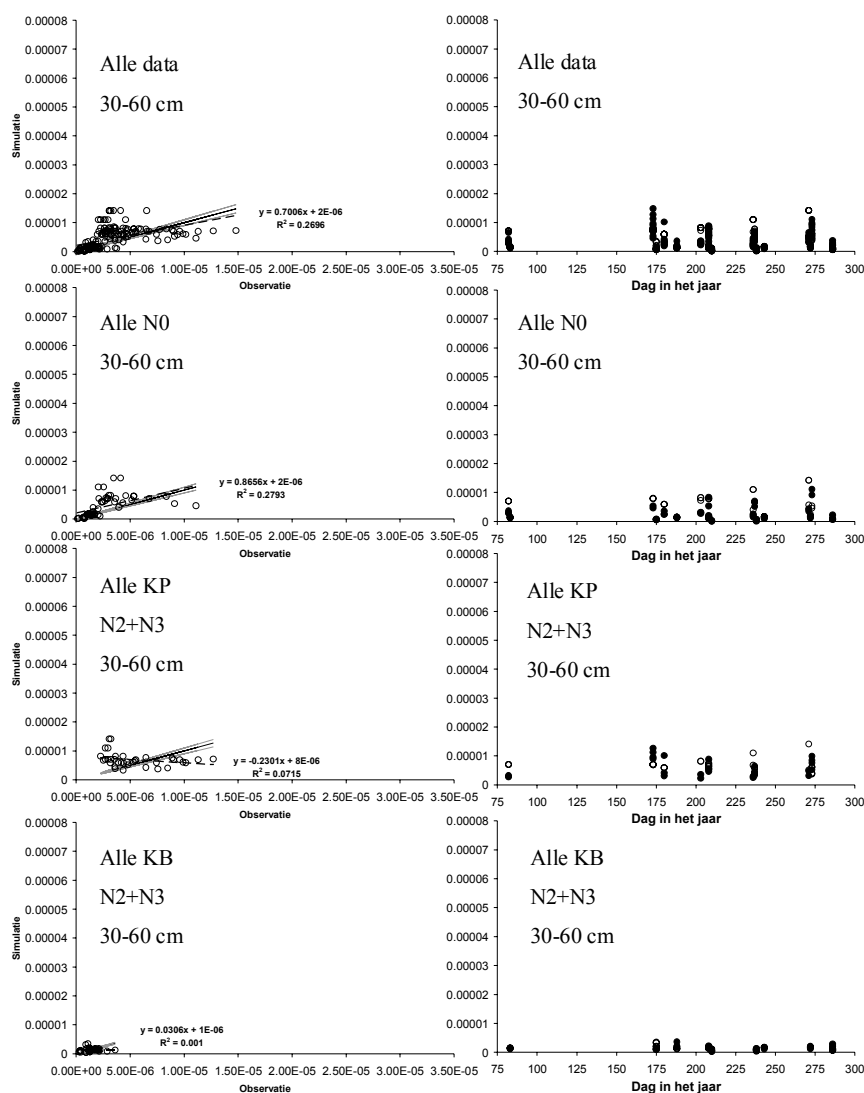
5.3.1 Concentratie minerale N in de bodem

Het simulatiemodel berekent de hoeveelheid minerale (en organische) N in kg N ha^{-1} per laag waarin de bodem in het model is opgedeeld. Deze lagen zijn ongeveer 10 cm dik, maar variëren in dikte (maximaal 5 cm dikker of dunner) om de in het bodemprofiel beschreven gelaagdheid van de bodem te kunnen volgen wat betreft het voorkomen van zgn. functionele bodemeenheden (i.e. bodemmateriaal dat verschilt van andere delen in de bodem op basis van bodem-fysische kenmerken zoals maximaal waterhoudend vermogen, hydraulische doorlaatbaarheid, volumegewicht). Het volumegewicht (Engels: bulk-density; g cm^{-3}) van elke laag in het simulatiemodel wordt gebruikt om het drooggewicht van de bodemlagen uit te rekenen en op basis daarvan de concentratie van N per bodemlaag uit te rekenen.



Figuur 33. Links: vergelijking tussen gesimuleerde en waargenomen fractie minerale N in de laag 0-30 cm (NMin1; kg N kg^{-1} droge grond); Rechts: verloop in de tijd van gesimuleerde en waargenomen NMin1. Beide voor geselecteerde sets gegevens: N0=behandelingen zonder stikstofbemesting; N2+N3= behandelingen met (relatief) hoge stikstofbemesting (zie Tabel 4); KB= Kooijenburg; KP = 't Kompas

Metingen zijn gedaan om de concentratie minerale N te bepalen in twee ‘bodem-delen’: de bovenste 30 cm van de bodem (NMin1) en de daaropvolgende 30 cm (NMin2). Om de metingen te kunnen vergelijken met de berekeningen wordt in het simulatie-model voor elk van deze bodemdelen de totale hoeveelheid gesimuleerde N opgeteld en gedeeld door het drooggewicht van elk bodemdeel (kg droge bodem ha⁻¹). Voor bodemlagen die slechts voor een fractie x in een ‘bodem-deel’ voorkomen wordt aangenomen dat de N en het gewicht homogeen verdeeld zijn in die lagen en dat daarom ook een fractie x van de hoeveelheid N en het gewicht van die lagen meegeteld hoeft te worden bij de optelling van het totaal N en totaal gewicht per bodemdeel.

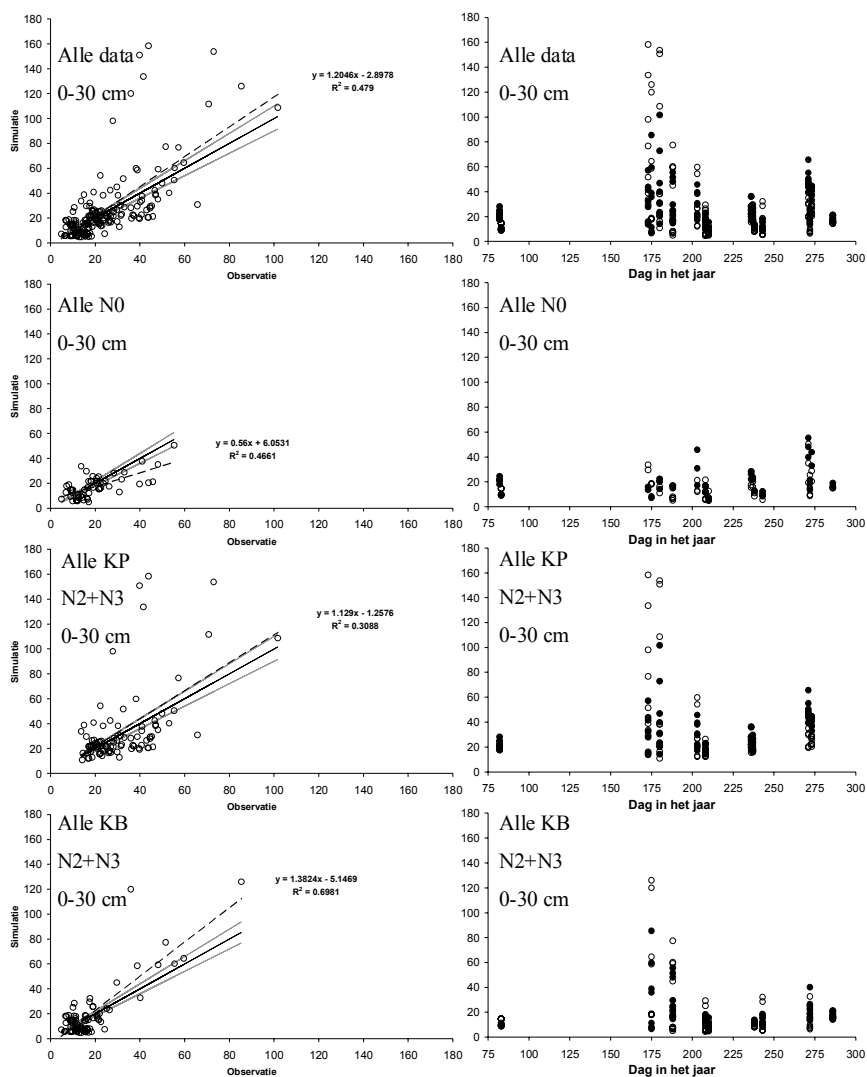


Figuur 34. Als Figuur 33 voor de fractie minerale N in de laag 30-60 cm (NMin2, kg N kg⁻¹ droge grond).

Het blijkt dat het model de NMin1 gemiddeld genomen sterk overschat (Figuur 33). Bij de behandelingen waarin géén N werd gegeven (N0) volgt het model echter zowel het verloop in de tijd als het absolute niveau van NMin1 zeer goed. De overschatting komt met name voor bij de gegevens vroeg in het groeiseizoen, ongeveer 15-25 dagen ná het op ruggen zetten van de planten, en dan nog vrijwel alleen bij de behandelingen N2 en N3, met relatief hoge N giften. De N1 behandelingen, niet in Figuur 33 weergegeven, vertonen een zeer geringe overschatting in het begin van het seizoen. Voorts blijken er geen of nauwelijks effecten te zijn van al dan niet beregenen, of van de verschillende jaren.

Wel blijkt dat de overschatting bij de hoge N giften meer extreem is op 't Kompas dan op Kooijenburg.

Bij de vergelijking van gesimuleerde en waargenomen NMin2 valt op dat het absolute niveau van NMin2 veel lager is dan dat van NMin1. Dit is een bevestiging van het algemene gegeven dat de stikstof zich met name hoog in het bodemprofiel bevindt. Voor NMin2 wordt niet zo'n relatief grote overschatting gevonden als voor NMin1, en de overschatting die er is wordt eerder aan het eind van het groeiseizoen gevonden, ook in de N0 behandelingen. Daarnaast valt op dat waargenomen NMin1 én NMin2 na dag 200 op 't Kompas zo'n 3 keer hoger zijn dan op Kooijenburg. Dit zou te maken kunnen hebben met het hogere gehalte aan organische stof in de bodems van 't Kompas, waardoor de minerale N gift tijdelijk vastgelegd wordt en trager, maar constanter, via mineralisatie ter beschikking komt dan op Kooijenburg, waar eventuele uitspoeling aan het begin van het seizoen misschien sneller is verlopen.

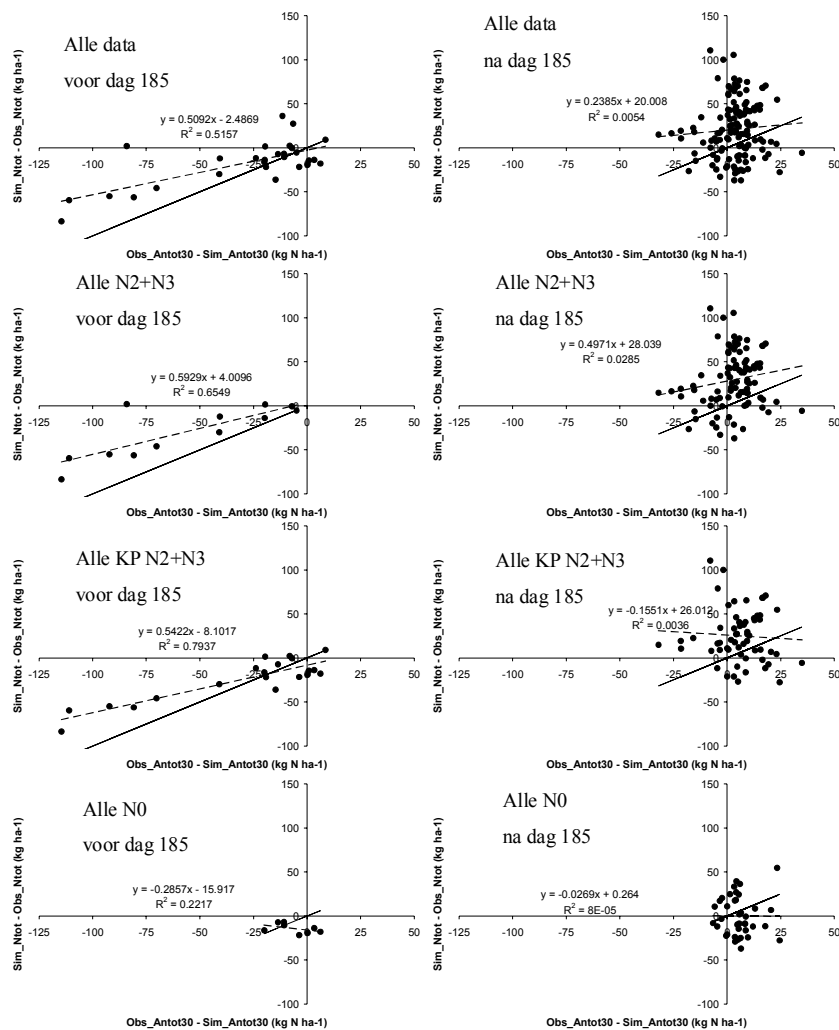


Figuur 35. Als Figuur 33 voor de totale hoeveelheid minerale N in de bodem in de laag 0-30 cm (NTot1, kg N ha⁻¹).

5.3.2 Hoeveelheid minerale N in de bodem

Uit de metingen van NMin1 en NMin2 is omgerekend hoeveel minerale N er was in de bodemdelen 0-30 en 30-60 cm, en het totaal van 0- 60 cm (resp. TotN1, TotN2 en TotN3, kg N ha⁻¹). Daarbij is gebruik gemaakt van een schatting van het volumegewicht van de bodemlagen op basis van metingen van het gehalte organische stof en een empirische relatie tussen humusgehalte en volumegewicht van de bodem (volgens pag. 15 uit Bernelot Moens, 1973). Het blijkt dat de simulatie van TotN1 en TotN2 eenzelfde patroon van overschatting vertoont ten opzichte van de waarnemingen en in de tijd als de fracties N in de bodem (NMin1 en NMin2; zie voorbeeld in Figuur 35). De overschatting lijkt niet het gevolg te zijn van een overschatting van de gesimuleerde mineralisatie van organische stof uit de bodem, aangezien bij de N0 behandelingen niet zo'n hoge piek aan het begin van het groeiseizoen wordt gevonden. Wel lijkt ze deels het gevolg te zijn van een te lage gesimuleerde opname van N door het gewas, met name bij de behandelingen met relatief hoge N giften. Dit blijkt bij vergelijking van het verschil tussen gesimuleerde en waargenomen totale opname van N in het gewas (Sim_Ntot-Obs_Ntot, kg N ha⁻¹) met het verschil tussen waargenomen en gesimuleerde hoeveelheid minerale N in de bovenste 30 cm van de bodem (Obs_Antot30-Sim_Antot30; kg N ha⁻¹).

Als een te lage inschatting door het model van de opname de enige oorzaak zou zijn voor het overschatten door het simulatiemodel van de hoeveelheid minerale N in de bodem, dan zouden beide verschilberekeningen tot identieke waarden moeten komen. Het blijkt echter (Figuur 36) dat vroeg in het seizoen voor de N2 en N3 behandelingen de te laag berekende opname gemiddelde slechts 60% van de overschatte hoeveelheid N in de bodem verklaard (de hellingshoek van de regressievergelijking is 0.59 terwijl het intercept (waarde 4) te verwaarlozen is t.o.v. de orde van grootte van de berekende verschillen in opname en hoeveelheid in de bodem en de R² met 0.65 redelijk hoog). De te laag berekende opname in dit deel van het seizoen blijkt voornamelijk op 't Kompas op te treden (hellingshoek = 0.54, R² = 0.79) en niet op Kooijenburg (data niet getoond, hellingshoek = 0.12, R² = 0.03), en zowel in 1998 als in 1999. Later in het seizoen wordt geen verband meer gevonden bij de hoge N behandelingen tussen de 'fout' in de opname en de 'fout' in de hoeveelheid N in de bodem (lage hellingshoeken, lage R²). Voor de N0 (en N1, niet getoond) behandelingen wordt geen verband gevonden tussen de 'fout' in de opname en de 'fout' in de hoeveelheid N in de bodem (kleine waarde hellingshoeken, lage R²).



Figuur 36. Vergelijking van het verschil tussen gesimuleerde en waargenomen totale opname van N in het gewas ($Sim_Ntot - Obs_Ntot$; kg ha⁻¹) met het verschil tussen waargenomen en gesimuleerde totale hoeveelheid minerale N in de bovenste 30 cm ($Obs_Antot30 - Sim_Antot30$, kg ha⁻¹) voor gegevens vóór dag 185 (i.e. bij de begin-groei van het gewas) en gegevens ná die dag. N0: behandelingen zonder stikstof bemesting, N2+N3: behandelingen met relatief hoge stikstofbemesting (zie Tabel 2).

6. Conclusies

Het model simuleert een groot aantal processen en de gevolgen daarvan op een groot aantal variabelen. Voor een belangrijk deel van de variabelen wordt een redelijk tot goed verband gevonden tussen simulaties en waarnemingen. Het model onderschat voor zowel Karakter als Seresta de gewas- en knolgroei in situaties met vochtgebrek en voor Seresta, bij lage beschikbaarheid van minerale N uit bemesting. Wel worden voor beide cultivars het effect van het niveau van bemestingen gevolgd in die zin dat lage N bemesting leidt tot mindere groei en productie dan hogere N bemestingen.

De gesimuleerde opname van N door het gewas volgt gemiddeld genomen de waarnemingen, en de trends van de bemestingsniveaus. Wel blijkt dat er een effect is van de vochthuishouding in de bodem, waardoor in drogere omstandigheden (niet beregenen in 1999 versus wel beregenen in 1999 en de laatste versus 1998) een lagere N opname plaatsvindt.

De concentratie van N in het gewas is in de waarnemingen meer dynamisch in tijd en tussen de verschillende N behandelingen dan in de simulaties. Dit geldt met name voor de bovengrondse delen. Dit duidt erop dat de simulatie van de herverdeling van N in het gewas verbeterd dient te worden.

In de bodem met een hoger gehalte aan organische ('t Kompas) werd de vroege opname van N door het gewas sterk onderschat bij behandelingen met hogere N giften, maar moeten ook andere processen bijgedragen hebben aan de overschatting door de simulaties van de concentratie minerale N in de bodem. Vermoedelijk is in deze bodem de (tijdelijke) vastlegging van minerale N in organische vorm als bacteriën onderschat en/of zijn verliezen van minerale N door omzetting in (gasvormige) N_xO en N_2 onderschat. Dit laatste proces (denitrificatie) vindt met name plaats in anaërobe delen van de bodem en wordt gestimuleerd door hoge grondwaterstanden en natte bodems.

Hoewel het model de opbrengsten niet altijd even nauwkeurig weet te simuleren, kan het model toch gebruikt worden bij beslissingondersteuning ten behoeve van bemesting en berekening omdat de resultaten van het model de waargenomen trend in de effecten van N-bemesting en berekening volgt. De verwachting is dat resultaten van berekende adviezen ten behoeve van bemesting en berekening beter zullen zijn op zandgronden dan op bodems met een hoog organisch stofgehalte omdat de dynamiek van minerale N in die organische bodems minder goed gesimuleerd wordt. Gezien de spreiding in de resultaten van de simulaties ten opzichte van de waarnemingen, kan daarnaast ook verwacht worden dat advisering meer zal bijdragen aan efficiënter gebruik van N en berekening bij telers die momenteel relatief lage opbrengsten halen dan bij telers die nu al hoge opbrengsten halen.

Het model is gekalibreerd op proeven waarin alleen een basis N gift is gegeven en geen bijbemestingen later in het seizoen. Dit kan inhouden dat advisering van bijmestgiften minder accuraat zal zijn dan wanneer alleen basisgiften hoeven te worden geadviseerd.

Referenties

Bernelot Moens, H.L., 1973.

Handboek voor de akkerbouw. Deel II. Technisch bedrijfsverband en bedrijfssynthese. Publikatie nr. 10 Proefstation voor de akkerbouw, Lelystad. 140 pp.

Jansen, D.M., 2002.

Handleiding voor het simuleren, kalibreren, optimaliseren in TIPS-Z. Nota 161. Plant Research International, Wageningen. 22 pp. + bijlagen.

Jansen, D.M., (in prep.).

Beschrijving van het model LINBAL zoals gebruikt in TIPSTAR.

Steenhuizen, J.W., R.J.F. van Haren, K. Metselaar, J.R. Begeman & K.H. Wijnholds, 2000.

Proefveld- en praktijkgegevens betreffende de aardappelteelt voor de zetmeelindustrie ten behoeve van modellering. Groeicurves van zetmeelaardappelrassen op de noordelijke zand- en veenkoloniale gronden (1973-1999). Nota 10. Plant Research International, Wageningen. 42 pp + bijlagen

Steenhuizen, J.W., R.J.F. van Haren, J.R. Begeman & K.H. Wijnholds, 2001a.

Invloed van stikstofbemesting op de landbouwkundige en industriële kwaliteit van verschillende zetmeelaardappelrassen. Verslag van de veldproeven KB 1121 en KP 415. Werkdocument over het eerste proefjaar 1998. Nota 110. Plant Research International, Wageningen. 68 pp + bijlagen.

Steenhuizen, J.W., R.J.F. van Haren, J.R. Begeman & K.H. Wijnholds, 2001b.

Invloed van stikstofbemesting en kunstmatige beregening op de landbouwkundige en industriële kwaliteit van verschillende zetmeelaardappelrassen. Verslag van de veldproeven KB 9020 en KP 9039. Werkdocument over het tweede proefjaar 1999. Nota 121. Plant Research International, Wageningen. 50 pp + bijlagen.

