

Instituut voor de Aanmoediging van Innovatie  
door Wetenschap en Technologie in Vlaanderen  
Overeenkomst IWT 030824

## **Valorisatie van de capillaire nalevering in de modelmatige berekeningsturing voor intensieve openluchtteelten in functie van milieukundige en economische criteria**

Overeenkomst IWT 030824  
Tweede jaar van onderzoeksprogramma  
01.05.2004 – 30.06.2006

augustus 2006



Bodemkundige Dienst van België v.z.w.  
W. de Croylaan 48  
B-3001 LEUVEN-Heverlee

Tel: (016) 31 09 22  
Fax: (016) 22 42 06



Proefstation voor de Groenteteelt v.z.w.  
Binnenweg 6  
B-2860 Sint-Katelijne-Waver

Tel: (015) 55 27 71  
Fax: (015) 55 30 61



Provincie West-Vlaanderen  
Provinciaal Onderzoeks- en Voorlichtingscentrum voor Land- en Tuinbouw  
Ieperseweg 87  
B-8800 Rumbeke

Tel: (051) 27 32 00  
Fax: (051) 24 00 20

Dit onderzoek werd gerealiseerd met steun van het Instituut voor de Aanmoediging van Innovatie door Wetenschap en Technologie in Vlaanderen.

Het onderzoek kwam tot stand dankzij de samenwerking tussen drie onderzoeksinstituten:

Bodemkundige Dienst van België v.z.w. (BDB)

coördinator:	ir. Frank Elsen
wetenschappelijk medewerkers:	ir. Uldeen Ghesquiere ir. Petra Deproost
technisch medewerker:	Pieter Trappeniers

Proefstation voor de Groenteteelt v.z.w. (PCG)

coördinator:	ir. Norbert Ceustermans
wetenschappelijk medewerker:	ir. Katrijn Spiessens
technisch medewerkers:	Jacques Wilms Marino De Leeuw Hans Claes

Provinciaal Onderzoeks- en Voorlichtingscentrum voor Land- en Tuinbouw (POVLT)

wetenschappelijk medewerkers:	ir. Sabien Pollet ir. Danny Callens
technisch medewerkers:	Danny Bossuyt Franky Dewerchin

# Inhoudstafel

<b>1. ONDERZOEKSSTRATEGIE</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Situering van het onderzoek</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Overzicht van voorgaande onderzoeken</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Doelstellingen</b> .....	<b>2</b>
1.3.1. Algemene doelstelling.....	2
1.3.2. Specifieke doelstellingen.....	2
A. Ontwikkeling, kalibreren en valideren van de submodule die het proces van de CN in voldoende mate benadert.....	2
B. Uitbouw van het simulatiemodel BUDGET (Raes, 1996) en het BDB-programma voor beregeningssturing met de ontwikkelde submodules .....	3
C. Testen en valideren van het uitgebreide model BUDGET en het BDB-programma voor beregeningssturing.....	3
D. De toetsing van de bekomen relaties aan meetreeksen in de ons omringende landen.....	3
E. Technologische doelstellingen .....	3
F. Testen van de optimale beregeningsstrategie van bloemkool en spruitkool .....	3
G. Effecten van de beregeningsstrategie op de stikstofhuishouding .....	3
<b>1.4 Overzicht van de werken van het voorgaande onderzoeksjaar</b> .....	<b>4</b>
1.4.1 WP1 .....	4
1.4.2 WP2.....	5
1.4.3 WP3 .....	5
1.4.4 WP4.....	6
<b>1.5 Werkprogramma</b> .....	<b>6</b>
<b>2. WP1: EXPERIMENTEEL DEEL ‘PROEFVELDEN 2005’</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1. Doelstellingen</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2. Beschrijving van de beregeningsregimes</b> .....	<b>7</b>
2.2.1. Bloemkool .....	7
2.2.2. Spruitkool .....	8
<b>2.3. Aanleg van de proefvelden en behandelingen</b> .....	<b>9</b>
2.3.1. Proefvelden te Sint-Katelijne-Waver.....	9
2.3.1.1. Proefveld bloemkool 2005 .....	10
2.3.1.2. Proefveld spruitkool 2005 .....	10
2.3.2. Proefvelden te Rumbeke.....	10
2.3.2.1. Proefveld bloemkool 2005 .....	11
2.3.2.2. Proefveld spruitkool 2005 .....	11
<b>2.4. Uitgevoerde analyses en metingen</b> .....	<b>12</b>
2.4.1. Algemene bodemanalyses .....	12
2.4.2. Bodemprofiel.....	12
2.4.3 Vocht karakteristieken.....	13
2.4.4. Verzadigde hydraulische conductiviteit .....	13
2.4.5. Registratie van de meteorologische parameters .....	13
2.4.5.1. In openlucht.....	13
2.4.5.2. Onder de overkapping .....	14

2.4.6.	Opvolging van de bodemvochttoestand .....	14
2.4.6.1.	Gravimetrische vochtbepaling.....	14
2.4.6.2.	Opvolging van de grondwaterstand.....	15
2.4.7.	Evaluatie van de stikstofhuishouding.....	15
2.4.7.1.	Minerale stikstofgehalte van de bodem.....	15
2.4.7.2.	Stikstofgehalte van het gewas .....	15
2.4.8.	Analyse van de gewasontwikkeling en opbrengst bij bloemkool.....	15
2.4.8.1.	Vegetatieve ontwikkeling.....	15
2.4.8.2.	Opbrengst- en kwaliteitsbepaling.....	16
2.4.8.3.	Ziekteaantasting.....	16
2.4.9.	Analyse van de gewasontwikkeling en opbrengst bij spruitkool.....	17
2.4.9.1.	Vegetatieve ontwikkeling.....	17
2.4.9.2.	Opbrengst- en kwaliteitsbepaling.....	17
2.4.9.3.	Ziekteaantasting.....	18
<b>2.5.</b>	<b>Bespreking van de vochtbalansen der proefvelden .....</b>	<b>18</b>
2.5.1.	Typering van de proefvelden (bodem en grondwatertafel) .....	18
2.5.1.1.	Proefvelden te Sint-Katelijne-Waver.....	18
2.5.1.2.	Proefvelden te Rumbeke.....	19
2.5.2.	Klimaatanalyse .....	20
2.5.2.1.	Klimaatomstandigheden tijdens de bloemkool- en spruitkoolteelt in 2005 te Sint-Katelijne-Waver .....	20
2.5.2.2.	Klimaatomstandigheden tijdens de bloemkool- en spruitkoolteelt in 2004 te Rumbeke	21
2.5.2.3.	Invloed van de overkapping op het microklimaat in 2005 te Sint-Katelijne-Waver .	21
2.5.3.	Vochtbalansen, algemeen .....	21
2.5.4.	Vochtbalansen bloemkool- en spruitkoolteelt te Sint-Katelijne-Waver 2005.....	22
2.5.4.1.	Vochtbalansen bij bloemkoolteelt .....	22
2.5.4.2.	Vochtbalansen bij spruitkoolteelt.....	23
2.5.5.	Vochtbalansen bloemkool en spruitkoolteelt te Rumbeke 2005 .....	24
2.5.5.1	Vochtbalansen bij bloemkoolteelt .....	24
2.5.5.2	Vochtbalansen bij spruitkoolteelt.....	25
<b>2.6.</b>	<b>Bepaling van het berekeningsschema voor bloemkool.....</b>	<b>26</b>
2.6.1.	Bloemkoolteelt te Sint-Katelijne-Waver .....	26
2.6.1.1.	Vegetatieve ontwikkeling.....	26
2.6.1.2.	Opbrengst - en kwaliteitsbepaling.....	26
2.6.1.3.	Ziekteaantasting.....	27
2.6.1.4.	Stikstofhuishouding.....	27
2.6.1.5.	Samenvatting bloemkoolteelt 2005 Sint-Katelijne-Waver (Tabel 11.8 in bijlage) ..	28
2.6.2.	Bloemkoolteelt te Rumbeke .....	29
2.6.2.1	Vegetatieve ontwikkeling.....	29
2.6.2.2	Opbrengst - en kwaliteitsbepaling.....	30
2.6.2.3	Ziekteaantasting.....	31
2.6.2.4	Stikstofhuishouding.....	31
2.6.2.5	Samenvatting bloemkoolteelt 2005 te Rumbeke .....	32
2.6.3.	Besluit en beregeningsstrategie voor de bloemkoolteelt.....	33
<b>2.7.</b>	<b>Bepaling van het beregeningschema voor spruitkool.....</b>	<b>34</b>
2.7.1.	Spruitkoolteelt te Sint-Katelijne-Waver .....	34
2.7.1.1	Vegetatieve ontwikkeling.....	34
2.7.1.2	Opbrengst – en kwaliteitsbepaling .....	35
2.7.1.3	Ziekteaantasting.....	35
2.7.1.4	Stikstofhuishouding.....	35
2.7.1.5	Samenvatting spruitkoolteelt 2005 Sint-Katelijne-Waver.....	36

2.7.2.	Spruitkoolteelt te Rumbeke .....	36
2.7.2.1.	Vegetatieve ontwikkeling.....	36
2.7.2.2.	Opbrengst – en kwaliteitsbepaling .....	37
2.7.2.3	Stikstofhuishouding.....	38
2.7.2.4	Samenvatting spruitkoolteelt 2005 te Rumbeke.....	38
2.7.3.	Besluit en beregeningsstrategie voor de spruitkoolteelt .....	39
<b>3.</b>	<b>WP2: DATASETS VAN CONTROLEVELDEN OP PRAKTIJKBEDRIJVEN.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1.</b>	<b>Doelstelling.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.</b>	<b>Selectie en situering praktijkbedrijven .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.</b>	<b>Karakterisatie praktijkvelden.....</b>	<b>41</b>
3.3.1.	Bodemprofiel.....	41
3.3.2.	Vochtretentiekarakteristieken.....	42
3.3.3.	Verzadigde hydraulische conductiviteit .....	42
<b>3.4.</b>	<b>Registratie van meteorologische parameters .....</b>	<b>42</b>
<b>3.5.</b>	<b>Opvolging van de bodemvochttoestand.....</b>	<b>43</b>
3.5.1.	Gravimetrische vochtbepaling.....	43
3.5.2.	Opvolging van de grondwaterstand.....	43
<b>3.6.</b>	<b>Opvolging van gewasontwikkeling.....</b>	<b>43</b>
<b>3.7.</b>	<b>Beregeningsregime .....</b>	<b>44</b>
<b>3.8.</b>	<b>Bespreking van de praktijkvelden .....</b>	<b>44</b>
3.8.1.	Typering van de praktijkvelden.....	44
3.8.2.	Klimaatanalyse .....	45
3.8.3.	Simulatie van de waterbalansen .....	46
3.8.3.1.	Bespreking waterbalansen praktijkvelden provincie Antwerpen .....	46
3.8.3.2.	Bespreking waterbalansen praktijkvelden provincie Antwerpen .....	47
<b>4.</b>	<b>WP3: VERVOLLEDIGING BESTAANDE DATASETS.....</b>	<b>48</b>
<b>4.1.</b>	<b>Doelstelling.....</b>	<b>48</b>
<b>4.2.</b>	<b>Selectie meetreeksen.....</b>	<b>48</b>
<b>4.3.</b>	<b>Bijkomende analyses en metingen .....</b>	<b>50</b>
4.3.1.	Karakterisatie percelen.....	50
4.3.2.	Registratie van meteorologische parameters .....	51
4.3.3.	Registratie van seizoensgebonden plant- en bodemparameters.....	51
<b>4.4.</b>	<b>Opstelling datasets.....</b>	<b>51</b>

<b>5. WP4: MODELONTWIKKELING, KALIBRATIE, TEST EN VALIDATIE .....</b>	<b>52</b>
<b>5.1 Inleiding.....</b>	<b>52</b>
<b>Samenvatting van het ontwikkelingstraject.....</b>	<b>53</b>
<b>5.2 Afleiding van eenvoudige rekenmodules op basis van UPFLOW (Eerste functioneel model)55</b>	<b>55</b>
5.2.1 Capillaire nalevering en UPFLOW .....	55
5.2.2 Ontwikkeling van een functioneel model.....	58
5.2.3 Invloed van de waterretentiecurve in UPFLOW .....	58
5.2.4 Afleiding functioneel model.....	60
5.2.5 Toetsing van het functioneel model aan UPFLOW.....	66
5.2.5.1 Toetsing .....	66
5.2.5.1.1 Klasse I (sand, loamy sand, sand loam) .....	67
5.2.5.1.2 Klasse II (silt, loam, silt loam).....	67
5.2.5.1.3 Klasse III (sandy clay, sandy clay loam, clay loam).....	68
5.2.5.1.4 Klasse IV (silty clay loam, clay, silty clay).....	68
5.2.5.2 Besluit.....	69
<b>5.3 Functioneel model met LOG-uitdrukking van de grondwaterstand (Tweede funct. model). 69</b>	<b>69</b>
5.3.1 Modelontwikkeling .....	69
5.3.2 Toetsing van het tweede functioneel model aan UPFLOW .....	73
5.3.2.1 Klasse I (sand, loamy sand, sand loam).....	73
5.3.2.2 Klasse II (silt, loam, silt loam) .....	75
5.3.2.3 Klasse III (sandy clay, sandy clay loam, clay loam) .....	76
5.3.2.4 Klasse IV (silty clay loam, clay, silty clay).....	78
5.3.2.4 Besluit.....	79
5.3.3 Beperkte validatie van het tweede functionele model .....	80
5.3.3.1 BUDGET.....	80
5.3.3.2 Vereenvoudigde waterbalans.....	81
5.3.3.3 Beperkte validatie.....	82
5.3.3.4 Besluit.....	93
<b>5.4 Modelontwikkeling op basis van uit de dataset afgeleide WRCn .....</b>	<b>94</b>
5.4.1 De WRC .....	94
5.4.2 Benadering op basis van het parametrisch model van Van Genuchten (1980) (Derde functioneel model).....	94
5.4.2.1 Statistisch groeperen van de karakteristieken.....	95
5.4.2.2 Afleiding van de modellen en toetsing aan UPFLOW .....	96
5.4.2.3 Besluit.....	99
5.4.3 Fitting a.h.v. een 4de graadsvergelijking (Vierde functioneel model) .....	100
5.4.3.1 Afbakening van curvetypes .....	100
5.4.3.2 Modelontwikkeling voor de CN op basis van de curvetypes .....	102
5.4.3.3 Validatie van het functionele model.....	109
5.4.3.3.1 Inleiding .....	109
5.4.3.3.2 Datasets .....	109
5.4.3.3.2 Validatie.....	111
5.4.3.3.2 Besluit .....	119
5.4.3.3 Operationele mogelijkheden: afweging van kosten en nauwkeurigheid bij toepassing van het functionele model. ....	119
<b>5.5 Wetenschappelijk publicatie.....</b>	<b>121</b>
<b>6. ALGEMEEN BESLUIT.....</b>	<b>122</b>
<b>LITERATUUR .....</b>	<b>124</b>

## Figuren

Figuur 2-1 Tijdschema van de proefvelden voor het seizoen 2005.....	9
Figuur 5-1 Capillaire opstijging .....	55
Figuur 5-2 Textuurdriehoek en –benamingen volgens de USDA-benadering .....	57
Figuur 5-3 Onderverdeling in grondsoort voor niet venige gronden met een grove fractie < 5% volgens het Centrum voor Bodemkartering, België (Naar Deckers J., 1996) .....	57
Figuur 5-4 CN berekend via de textuur in functie van de CN berekend via de waterretentiecurve (WRC) .....	60
Figuur 5-5 CN voor klasse I in functie van de diepte van de grondwatertafel (diepte gwt) (Ksat 500 mm/dag).....	61
Figuur 5-6 CN voor klasse II in functie van de diepte van de grondwatertafel (diepte gwt) (Ksat 360 mm/dag) .....	62
Figuur 5-7 CN voor klasse III in functie van de diepte van de grondwatertafel (diepte gwt) (Ksat 50 mm/dag).....	62
Figuur 5-8 CN voor klasse IV in functie van de diepte van de grondwatertafel (diepte gwt) (Ksat 30 mm/dag).....	62
Figuur 5-9 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor textuurklasse I bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.....	63
Figuur 5-10 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor textuurklasse I .....	63
Figuur 5-11 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor textuurklasse 2 bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.....	64
Figuur 5-12 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor textuurklasse 2.....	64
Figuur 5-13 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor textuurklasse 3 bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.....	64
Figuur 5-14 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor textuurklasse 3.....	65
Figuur 5-15 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor textuurklasse 4 bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.....	65
Figuur 5-16 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor textuurklasse 4.....	65
Figuur 5-17 De relatie tussen de CN berekend met het functioneel model en berekend via UPFLOW voor textuurklasse 1.....	67
Figuur 5-18 De relatie tussen de CN berekend met het functioneel model en berekend via UPFLOW voor textuurklasse 2.....	67
Figuur 5-19 De relatie tussen de CN berekend met het functioneel model en berekend via UPFLOW voor textuurklasse 3.....	68
Figuur 5-20 De relatie tussen de CN berekend met het functioneel model en berekend via UPFLOW voor textuurklasse 4.....	68
Figuur 5-21 ln (z) in functie van de capillaire opstijging (CN) voor klasse I (sand, loamy sand, sand loam).....	70
Figuur 5-22 Vergelijking fits voor verschillende Ksat voor klasse I .....	70
Figuur 5-23 ln (z) in functie van de capillaire opstijging (CN) voor klasse II (loam, silt loam, silt)...	71
Figuur 5-24 Vergelijking fits voor verschillende Ksat voor klasse II (loam, silt loam, silt).....	71
Figuur 5-25 ln (z) in functie van de capillaire opstijging (CN) voor klasse III (sandy clay, sandy clay loam, clay loam) .....	71
Figuur 5-26 Vergelijking fits voor verschillende Ksat voor klasse III (sandy clay, sandy clay loam, clay loam).....	72
Figuur 5-27 ln (z) in functie van de capillaire opstijging (CN) voor klasse IV ( silty clay loam, clay, silty clay) .....	72
Figuur 5-28 Vergelijking fits voor verschillende Ksat voor klasse IV ( silty clay loam, clay, silty clay) .....	72
Figuur 5-29 Capillaire opstijging (CN) berekend via de vergelijkingen in functie van de CN berekend via UPFLOW voor klasse I.....	74
Figuur 5-30 Capillaire opstijging (CN) berekend via de vergelijkingen in functie van de CN berekend via UPFLOW voor klasse 2.....	76

Figuur 5-31 Capillaire opstijging (CN) berekend via de vergelijkingen in functie van de CN berekend via UPFLOW voor klasse 3.....	77
Figuur 5-32 Capillaire opstijging (CN) berekend via de vergelijkingen in functie van de CN berekend via UPFLOW voor klasse 4.....	78
Figuur 5-33 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 1 .....	83
Figuur 5-34 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 1 .....	83
Figuur 5-35 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 2 .....	84
Figuur 5-36 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw2 .....	84
Figuur 5-37 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 3 .....	85
Figuur 5-38 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 3 .....	85
Figuur 5-39 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 4 .....	86
Figuur 5-40 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 4 .....	86
Figuur 5-41 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 5 .....	87
Figuur 5-42 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 5 .....	87
Figuur 5-43 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 6 .....	88
Figuur 5-44 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw6 .....	88
Figuur 5-45 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 7 .....	89
Figuur 5-46 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 7 .....	89
Figuur 5-47 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw7 (Ksat bepaald op ongestoorde stalen in het labo).....	89
Figuur 5-48 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 8 .....	90
Figuur 5-49 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 8 .....	90
Figuur 5-50 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 9 .....	91
Figuur 5-51 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 9 .....	91
Figuur 5-52 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 10 .....	92
Figuur 5-53 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 10 .....	92
Figuur 5-54 Types van vochtretentiekarakteristieken met significante verschillen in het bereik van pF 1.5 tot pF 3. Voor enkele discrete waarden is + of - de standaardafwijking aangegeven .....	95
Figuur 5-55 WRC van 2 poldergronden (ondergrond). 5b 01/5: lichte polderklei; 5b 00/21.1: zware polderklei.....	96
Figuur 5-56 De vochtretentiekarakteristiek op 45 cm –mv op het perceel 5b 00/9.3 berekend met een 4de graadsvergelijking op basis van opgemeten punten .....	100
Figuur 5-57 Curvetypes van vochtretentiekarakteristieken afgeleid uit de datasets en aan de basis van het 4 <sup>de</sup> functionele model.....	101
Figuur 5-58 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype AD bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.....	102
Figuur 5-59 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor curvetype AD .....	102
Figuur 5-60 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype B bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.....	103
Figuur 5-61 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor curvetype B .....	103
Figuur 5-62 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype C bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.....	103
Figuur 5-63 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor curvetype C .....	104
Figuur 5-64 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype E bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.....	104
Figuur 5-65 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor curvetype E.....	104
Figuur 5-66 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype F bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.....	105
Figuur 5-67 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor curvetype F.....	105
Figuur 5-68 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype G bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.....	105
Figuur 5-69 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor curvetype G .....	106
Figuur 5-70 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype I bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.....	106
Figuur 5-71 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor curvetype I.....	106



---

Figuur 5-72 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype J bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.....	107
Figuur 5-73 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor curvetype J.....	107
Figuur 5-74 Berekende bodemvochtreserve zonder verrekening van de CN, voor het perceel POVLT14-05.....	111
Figuur 5-75 Berekende bodemvochtreserve met het functionele model curvetype AD met Ksat-waarde 0.22 m/dag (meting met boorgatenmethode) voor het perceel POVLT14-05.....	111
Figuur 5-76 Berekende bodemvochtreserve met het functionele model curvetype AD met Ksat-waarde 0.18 m/dag (meting op ongestoorde stalen in het laboratorium) voor het perceel POVLT14-05.....	112
Figuur 5-77 Berekende bodemvochtreserve met het functionele model curvetype AD met Ksat-waarde 0.02 m/dag (berekend volgens Williams) voor het perceel POVLT14-05.....	112
Figuur 5-78 Berekende bodemvochtreserve met het functionele model curvetype AD met Ksat-waarde 0.10 m/dag (berekend volgens Rosetta3) voor het perceel POVLT14-05.....	112
Figuur 5-79 Berekende bodemvochtreserve met het functionele model curvetype AD met Ksat-waarde 0.13 m/dag (berekend volgens Rosetta5) voor het perceel POVLT14-05.....	113
Figuur 5-80 Gesimuleerde waarde van de bodemvochtreserve berekend met de bodemwaterbalans en het functionele model met de verschillende Ksat-benaderingen t.o.v. de gemeten bodemvochtinhoud van perceel POVLT14-05.....	113

## Tabellen

Tabel 1-1 Beregeningsregimes bij bloemkool in 2004 te Sint-Katelijne-Waver .....	4
Tabel 1-2 Beregeningsregimes bij bloemkool in 2004 te Rumbeke.....	4
Tabel 2-1: Beregeningsregimes bij bloemkool te Sint-Katelijne-Waver in 2005 .....	7
Tabel 2-2: Beregeningsregimes bij bloemkool te Rumbeke in 2005 .....	8
Tabel 2-3 Beregeningsregimes bij spruitkool in 2005 te Sint-Katelijne-Waver .....	8
Tabel 2-4 Beregeningsregimes bij spruitkool in 2005 te Rumbeke .....	9
Tabel 2-5 Situering bodemstalen op proefvelden ter bepaling van het koolstofgehalte en de textuur. 12	
Tabel 3-1 Overzicht van de praktijkvelden in de provincie Antwerpen in 2005.....	41
Tabel 3-2 Overzicht van de praktijkvelden in de provincie West-Vlaanderen in 2005 .....	41
Tabel 3-3 Indeling praktijkvelden volgens textuurklassen.....	44
Tabel 4-1 Overzicht van onderzoeksprojecten voor screening .....	48
Tabel 4-2 Overzicht van onderzoeksprojecten na screenen .....	50
Tabel 5-1 Kolomogorov-Smirnov test: Invloed van de waterretentiecurve (WRC) in UPFLOW.....	59
Tabel 5-2 Gepaarde t test: Invloed van de waterretentiecurve (WRC) in UPFLOW .....	59
Tabel 5-3 Wilcoxon Signed Ranks test: Invloed van de waterretentiecurve (WRC) in UPFLOW.....	59
Tabel 5-4 De coëfficiënten a en b in het model $\{z = a (\ln(\text{CN})) + b\}$ in functie van de Ksat-waarde voor textuurklasse 1. ....	63
Tabel 5-5 De coëfficiënten a en b in het model $\{z = a (\ln(\text{CN})) + b\}$ in functie van de Ksat-waarde voor textuurklasse 2.....	64
Tabel 5-6 De coëfficiënten a en b in het model $\{z = a (\ln(\text{CN})) + b\}$ in functie van de Ksat-waarde voor textuurklasse 3.....	65
Tabel 5-7 De coëfficiënten a en b in het model $\{z = a (\ln(\text{CN})) + b\}$ in functie van de Ksat-waarde voor textuurklasse 4.....	65
Tabel 5-8 Test van het functioneel model voor textuurklasse 1.....	67
Tabel 5-9 Test van het functioneel model voor textuurklasse 2.....	67
Tabel 5-10 Test van het functioneel model voor textuurklasse 3.....	68
Tabel 5-11 Test van het functioneel model voor textuurklasse 4.....	68
Tabel 5-12 a en b in functie van de Ksat voor Klasse 1.....	70
Tabel 5-13 a en b in functie van de Ksat voor Klasse 2 .....	71
Tabel 5-14 a en b in functie van de Ksat voor Klasse 3 .....	72
Tabel 5-15 a en b in functie van de Ksat voor Klasse 4 .....	72
Tabel 5-16 Relatie tussen de Ksat en de parameters a en b (Ksat in mm/dag) ((2de functioneel model) .....	73
Tabel 5-17 Kolomogorov-Smirnov test klasse 1.....	73
Tabel 5-18 Gepaarde t test voor klasse 1.....	74
Tabel 5-19 Wilcoxon Signed Ranks test voor klasse 1 .....	74
Tabel 5-20 Kolomogorov-Smirnov test voor klasse 2.....	75
Tabel 5-21 Gepaarde t test voor klasse 2.....	75
Tabel 5-22 Gepaarde t test voor klasse 2 zonder gegevens met Ksat waarde buiten bereik .....	75
Tabel 5-23 Kolomogorov-Smirnov test voor klasse 3.....	76
Tabel 5-24 Gepaarde t test voor klasse 3.....	77
Tabel 5-25 Kolomogorov-Smirnov test voor klasse 4.....	78
Tabel 5-26 Gepaarde t test voor klasse 4.....	78
Tabel 5-27 Aantal betrokken percelen en voorkomende textuur van de bodemlaag onder de bouwlaag, per curvetype (3 <sup>de</sup> functioneel model). ....	96
Tabel 5-28 CN in mm/dag berekend volgens 2 rekenmodules en volgens UPFLOW voor curvetype 1 .....	97
Tabel 5-29 CN in mm/dag berekend volgens 2 rekenmodules en volgens UPFLOW voor curvetype 2 .....	97
Tabel 5-30 CN in mm/dag berekend volgens 2 rekenmodules en volgens UPFLOW voor curvetype 3 .....	97

Tabel 5-31 CN in mm/dag berekend volgens 1 rekenmodule en volgens UPFLOW voor curvetype 4a	97
Tabel 5-32 CN in mm/dag berekend volgens 2 rekenmodules en volgens UPFLOW voor curvetype 4b	98
Tabel 5-33 CN in mm/dag berekend volgens 2 rekenmodules en volgens UPFLOW voor curvetype 5+8	98
Tabel 5-34 CN in mm/dag berekend volgens 1 rekenmodule en volgens UPFLOW voor curvetype 6	98
Tabel 5-35 CN in mm/dag berekend volgens 2 rekenmodules en volgens UPFLOW voor curve type 7	98
Tabel 5-36 CN in mm/dag berekend volgens 2 rekenmodules en volgens UPFLOW voor curvetype 9+10	99
Tabel 5-37 Bodemvochtgehalte en standaardafwijking bij verschillende punten op de WRC voor de afgebakende curvetypes aan de basis van het 4 <sup>de</sup> functionele model	101
Tabel 5-38 Aantal bodems waarvan de WRC betrokken is in de afbakening van de curvetypes, en voorkomende texturen binnen de curvetypes binnen het 4 <sup>de</sup> functionele model	101
Tabel 5-39 De coëfficiënten a en b in het model $\{\log(z) = a (\ln(\text{CN})) + b\}$ in functie van de Ksat-waarde voor curvetype AD	102
Tabel 5-40 De coëfficiënten a en b in het model $\{\log(z) = a (\ln(\text{CN})) + b\}$ in functie van de Ksat-waarde voor curvetype B	103
Tabel 5-41 De coëfficiënten a en b in het model $\{\log(z) = a (\ln(\text{CN})) + b\}$ in functie van de Ksat-waarde voor curvetype C	104
Tabel 5-42 De coëfficiënten a en b in het model $\{\log(z) = a (\ln(\text{CN})) + b\}$ in functie van de Ksat-waarde voor curvetype E	104
Tabel 5-43 De coëfficiënten a en b in het model $\{\log(z) = a (\ln(\text{CN})) + b\}$ in functie van de Ksat-waarde voor curvetype F	105
Tabel 5-44 De coëfficiënten a en b in het model $\{\log(z) = a (\ln(\text{CN})) + b\}$ in functie van de Ksat-waarde voor curvetype G	106
Tabel 5-45 De coëfficiënten a en b in het model $\{\log(z) = a (\ln(\text{CN})) + b\}$ in functie van de Ksat-waarde voor curvetype I	106
Tabel 5-46 De coëfficiënten a en b in het model $\{\log(z) = a (\ln(\text{CN})) + b\}$ in functie van de Ksat-waarde voor curvetype J	107
Tabel 5-47 Overzicht van het vierde functionele model en het bereik van voorkomende Ksat-waarden per curvetype	108
Tabel 5-48 In de validatie gebruikte dataset: perceelsidentificatie en bijhorend curvetype	110
Tabel 5-49 Percelen onder curvetype AD: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden	114
Tabel 5-50 Percelen onder curvetype B: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden	115
Tabel 5-51 Percelen onder curvetype C: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden	115
Tabel 5-52 Percelen onder curvetype E: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden	116
Tabel 5-53 Percelen onder curvetype F: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden	117
Tabel 5-54 Percelen onder curvetype G: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden	117
Tabel 5-55 Percelen onder curvetype I: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden	118
Tabel 5-56 Percelen onder curvetype J: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden	118

## Bijlagen (zie Deel 2)

### DEEL I: PROEFVELDGEGEVENS (WP1)

Bijlage	1	Proefveldschema's 2005	1
Bijlage	2	Teelttechnische gegevens	3
Bijlage	3	Bodemprofielen en textuuranalyses	9
Bijlage	4	Vochtretentiekarakteristieken	15
Bijlage	5	Verzadigde hydraulische conductiviteit	16
Bijlage	6	Stikstofbepalingen in bodem en gewas	18
Bijlage	7	Evolutie grondwaterstand	35
Bijlage	8	Klimaatanalyse	37
Bijlage	9	Invloed overkapping op het microklimaat	39
Bijlage	10	Bodemvochtbalansen	42
Bijlage	11	Gewasontwikkeling en opbrengst bij bloemkool te Sint-Katelijne-Waver	72
Bijlage	12	Gewasontwikkeling en opbrengst bij spruitkool te Sint-Katelijne-Waver	79
Bijlage	13	Gewasontwikkeling en opbrengst bij bloemkool te Rumbeke	88
Bijlage	14	Gewasontwikkeling en opbrengst bij spruitkool te Rumbeke	97

### DEEL II: PRAKTIJKVELDEN (WP2)

Bijlage	15	Bodemprofielen en textuuranalyses	106
Bijlage	16	Penetrografie	114
Bijlage	17	Vochtkarakteristieken	122
Bijlage	18	Verzadigde hydraulische conductiviteit	124
Bijlage	19	Gewasontwikkeling	126
Bijlage	20	Grondwaterstanden	136
Bijlage	21	Vochtbalansen	137

### DEEL III: HISTORISCHE DATASET (WP3)

Bijlage	22	Overzicht historische dataset	147
Bijlage	23	(Zie tussentijds rapport)	155
Bijlage	24	Verzadigde hydraulische conductiviteit 5-B percelen (en zie tussentijds rapport)	156
Bijlage	25	Penetrografieën 5-B percelen (en zie tussentijds rapport)	158
Bijlage	26	Verzadigde hydraulische conductiviteit MMLgras (en zie tussentijds rapport)	159
Bijlage	27	Bodemprofielen en textuuranalyses MMLgras	160
Bijlage	28	Penetrografieën MMLgras (en zie tussentijds rapport)	164
Bijlage	29	(Zie tussentijds rapport)	170
Bijlage	30	Vervolledigde datareeks verzadigde hydraulische conductiviteit MMLprblkl proefvelden (2002-2003)	171
Bijlage	31	Bodemprofielen en textuuranalyses MMLprblkl proefvelden (2002-2003)	172
Bijlage	32	Penetrografie MMLprblkl proefvelden (2002-2003)	175
Bijlage	33	(Zie tussentijds rapport)	178
Bijlage	34	Vervolledigde datareeks vocht karakteristieken MMLprblkl praktijkvelden (2002-2003)	179
Bijlage	35	Vervolledigde datareeks verzadigde hydraulische conductiviteit MMLprblkl praktijkvelden (2002-2003)	180
Bijlage	36	(Zie tussentijds rapport)	181
Bijlage	37	(Zie tussentijds rapport)	182
Bijlage	38	(Zie tussentijds rapport)	183

### DEEL IV: MODELONTWIKKELING EN VALIDATIE (WP4)

Bijlage	39	UPFLOW: vergelijking tussen de textuurbenadering en de WRC-benadering	184
Bijlage	40	Optimalisatie (bepaling van de Van Genuchten-parameters) in het verloop van de waterretentiecurve (WRC) a.h.v. SHYPFIT	185
Bijlage	41	4 <sup>de</sup> functioneel model: Validatie van de waterbalans met de rekenmodule per curvetype en volgens verschillende Ksat-benaderingen	188

## Afkortingen

ANN	artificiële neurale netwerken
BDB	Bodemkundige Dienst van België
BLK-fase	bloemvormingsfase bloemkool
BVA	Bedrijfsvoorlichtingsdienst voor de tuinbouw in de provincie Antwerpen (nu PSKW)
cm-mv	cm onder het maaiveld
CN	capillaire nalevering
GWS	grondwaterstand
ET <sub>0</sub>	referentie evapotranspiratie
HCC	hydraulische conductiviteitscurve
KMI	Koninklijk Meteorologisch Instituut
K-h relatie	hydraulische conductiviteit – vochtspanning relatie
θ-h relatie	vochtgehalte – vochtspanning relatie
Ksat	conductiviteit van de bodem in waterverzadigde toestand
K.U.Leuven	Katholieke Universiteit Leuven
LWB	Laboratorium voor Bodem- en Waterbeheer
N	stikstof
POVLT	Provinciaal Onderzoeks- en Voorlichtingscentrum voor Land- en Tuinbouw
PSKW	Proefstation voor Groententeelt v.z.w
PTF	pedotransferfunctie
RAW	gemakkelijk beschikbaar vochtgehalte in de bodem (volumetrisch % of in mm uitgedrukt)
SPK-fase	spruitvormingsfase spruitkool
TAW	totaal beschikbaar vochtgehalte in de bodem (volumetrisch % of in mm uitgedrukt)
TAW <sub>act1</sub>	actuele totale hoeveelheid beschikbaar vocht in de bouwlaag
TAW <sub>max1</sub>	maximale totale hoeveelheid beschikbaar vocht in de bouwlaag
VC	veldcapaciteit
VEG-fase	vegetatieve fase

# 1. ONDERZOEKSSTRATEGIE

## 1.1 Situering van het onderzoek

De eisen die maatschappelijk aan de land- en tuinbouwpraktijk gesteld worden, liggen zeer hoog. De markt verwacht continuïteit in productie en een hoge kwaliteit (Gowing et al., 2001). Voor vele intensieve teelten wordt een correcte watervoorziening een essentiële productiesturende factor. Als gevolg van een betere en gelijkmatige aanvoer van verse groenten zal de prijsvorming op de vrije markt stabiel verlopen. De overheid is regulerend tot restrictief in het gunnen van waterbronnen en verwacht een hoogwaardig gebruik van water evenals een beheerste milieulast. Irrigatie als productiemiddel neemt in Vlaanderen sterk toe. De irrigeerbare oppervlakte, aangegeven bij het NIS, is sinds 1983 meer dan verdrievoudigd, tot 20.205 ha in 2002.

Beregenen voor een optimale opbrengst en kwaliteit, en voor een minimale milieulast vereist fijnsturing op niveau van het individuele veld (Bailey and Spackman, 1996). Correct beregenen heeft een waterbesparing tot gevolg. Op deze wijze kan de efficiëntie van een beregeningsdosis verhoogd worden en wordt de doorspoeling van water en voedingselementen, zoals nitraatstikstof, geminimaliseerd. Gezien de hoge investeringskost van de installatie en gezien water een maatschappelijk kostbaar goed betekent, is de teler aan zichzelf en aan de gemeenschap verplicht oordeelkundig te beregenen. Het gebruik van een waterbalansmodel voor de opvolging van de bodemvochttoestand en de beslissing tot beregenen wordt algemeen beschouwd als één der belangrijkste werkwijzen voor een correcte irrigatiesturing (o.a. Smith, 1996). Verscheidene modellen werden hiervoor ontwikkeld. Doch vele van deze verklarende modellen kunnen slechts bij theoretische simulaties gebruikt worden, gezien de vereiste input doorgaans niet beschikbaar is voor een nauwkeurige en operationele dag-aan-dag irrigatiesturing in praktijksituaties (Specky and Isbérie, 1996; Bouthier et al, 2001).

Intensieve teelten in Vlaanderen, in het bijzonder groenteteelten, verschuiven in het bedrijfsplan naar goed vochtleverende bodems, in het bijzonder bodems op zandleem en lemig zand waar *capillaire nalevering* (CN) uit de grondwatertafel belangrijk is, bodems met ondiepe en variabele grondwaterstanden. Alhoewel vele gepubliceerde experimenten aantonen dat capillaire nalevering door een ondiepe grondwatertafel een belangrijke bijdrage levert tot het gewasverbruik, bestaan er vrijwel geen eenvoudige modellen die de opwaartse waterflux van diepere bodemlagen of capillaire opstijging in rekening brengen (Giesel et al., 1971; Maraux and Lafolie, 1998; Muñoz Carpena et al., 2001). Verwaarlozing van het aandeel van de capillaire nalevering leidt op percelen met een ondiepe grondwatertafel onmiddellijk tot overirrigatie.

De begroting van deze nalevering is noodzakelijk voor een correcte opvolging van de evolutie van de bodemvochttoestand. Een enkel model of programma dat de capillaire nalevering reeds trachtte in te bouwen op basis van pedotransferfuncties (PTF) waarbij enkel eenvoudige waarneembare, niet meetbehoefte bodemkenmerken worden beschouwd, geeft niet de nodige nauwkeurigheid voor beregeningssturing van intensieve teelten.

In dit onderzoek tracht men een berekeningsmodule voor capillaire nalevering te ontwikkelen die bruikbaar is op perceelsniveau. Deze module wordt geïntegreerd in twee programma's voor irrigatiesturing, meer bepaald de operationele beregeningsturing van de Bodemkundige Dienst van België en het programma BUDGET. De uitgebreide modellen dienen met een economisch verantwoorde precisie het beregeningsmoment op dagbasis te bepalen.

Een economisch verantwoord en milieubewuste irrigatiesturing vereist een goede kennis van de interventiedrempels voor irrigatie, die teeltspecifiek zijn en variabel volgens het

groeistadium. In dit onderzoek wordt de optimale beregeningsstrategie van twee economisch belangrijke teelten, bloemkool en spruitkool, nader onderzocht.

## 1.2. Overzicht van voorgaande onderzoeken

Gedurende twee biënnales (2000-2002 en 2002-2004) werd in samenwerking met de Bodemkundige Dienst van België (BDB) zowel door POVLT als door PSKW de irrigatie in enkele intensieve groenteteelten nader onderzocht. Op beide locaties werden bij 4 teelten prei en 5 teelten bloemkool de effecten van sturing van de watergift op basis van bodemvochtbalansen en aan de hand van de ervaring van BDB met modelmatige en terrein-gecontroleerde sturing van beregening opgevolgd. Dankzij intensieve meetcampagnes kon de kritische bodemvochtspanning, waarbij fysiologische droogtestress optreedt, zowel voor prei als voor bloemkool bij benadering vastgelegd worden op pF 2.5. De ontwikkeling van prei is doorgaans meer uitgesproken bij frequente irrigatie (interventiegrens pF 2.5) dan bij laattijdige irrigatie (pF 3.1). Bij bloemkool resulteert het aanhouden van pF 2.5 in de vegetatieve fase in hogere koolgewichten.

In 2002 werden 12 praktijkpercelen opgevolgd, waarvan de data werden gebruikt voor een eerste evaluatie van twee modellen, UPFLOW en WAVE (LWB, K.U.Leuven) ter berekening van de capillaire opstijging. De berekening van deze waterflux is zeer gevoelig aan de berekenings- of meetmethode van de verzadigde hydraulische conductiviteit. De optimale berekeningsmethode verschilde echter van perceel tot perceel. De simulatie van het vochtgehalte met behulp van het waterbalansmodel WAVE bleek niet geschikt voor de toepassing bij dag-aan-dag irrigatiesturing.

## 1.3 Doelstellingen

### 1.3.1. Algemene doelstelling

De algemene doelstelling is een modelmatige beheersing van de capillaire nalevering in de bodem met een voldoende nauwkeurigheid. Dit betekent het ontwikkelen van de berekeningsmodule of van modules die bruikbaar zijn onder praktijkomstandigheden, op perceelsniveau, en geschikt voor onderbouwing van een programma voor irrigatiesturing rekening houdend met capillaire nalevering. Dit proces ontbreekt of is duidelijk niet voldoende operationeel in bestaande modellen. Het ontwikkelde expertsysteem zal een voldoende benadering geven op basis van economisch verantwoord meetbare veldgegevens. Bovendien moet de waterbalans een irrigatiesturing mogelijk maken met een gekende en te preciseren nauwkeurigheid, in een uitgangsfase gesteld als maximaal 1 dag afwijking ten opzichte van de optimale dag op minstens 50 % van de percelen.

### 1.3.2. Specifieke doelstellingen

- A. *Ontwikkeling, kalibreren en valideren van de submodule die het proces van de CN in voldoende mate benadert*

Deze nalevering varieert dagelijks volgens het dynamisch evenwicht dat bepaald wordt door de vochtspanningen in het bodemprofiel en schommelingen van het grondwaterniveau. Het berekeningsmodule UPFLOW wordt verder verfijnd. Hierbij dient bepaald te worden welke de minimaal vereiste parameters zijn, en op welke wijze deze dienen bepaald te worden, om voldoende performantie en nauwkeurigheid te leveren in de bepaling van de grootte van de CN.

B. *Uitbouw van het simulatiemodel BUDGET (Raes, 1996) en het BDB-programma voor beregeningssturing met de ontwikkelde submodules*

C. *Testen en valideren van het uitgebreide model BUDGET en het BDB-programma voor beregeningssturing*

Binnen het onderzoek worden een groot aantal meetreeksen en datasets verzameld. Het betreft proefvelden in PSKW en POVLT, praktijkvelden verspreid in de groentestreek en datasets die in eerdere onderzoeken zijn beschikbaar gekomen. Na doorlichting van deze meetreeksen op volledigheid en bijkomende metingen om ontbrekende gegevens aan te vullen, zullen deze datareeksen dienen om het ontwikkelde functionele model te valideren.

D. *De toetsing van de bekomen relaties aan meetreeksen in de ons omringende landen*

- Toetsing aan de benadering van Wösten et al. (1994, 2001b). Hierbij wordt voor elke grondsoort een Ksat-waarde gedefinieerd, een pedotransferfunctie die voor de Belgische bodems niet voldoende eenduidig is (Mertens, J. (1998));
- Toetsing aan de Stiboka-waarden.
- Andere.

E. *Technologische doelstellingen*

De nauwkeurigheid in bovenstaande doelstellingen wordt bepaald door volgende eisen:

- De modellen en submodellen dienen **operationeel** te zijn zonder dat van de bedrijfsleider de wetenschappelijke basis gevraagd wordt om het model te kalibreren;
- De vereiste nauwkeurigheid in de beregeningssturing kan men in een eerste benadering omschrijven als een nauwkeurigheid van maximaal 1 dag afwijking ten opzichte van de optimale dag op minstens 50 % van de percelen. Een tolerantie van 3 dagen (een tijdsperiode van 6 dagen) zal nog weinig bijdragen aan de intuïtieve expertkennis van de boer, en is voor intensieve teelten economisch en milieukundig niet verdedigbaar. Deze bepaling van de **aanvaardbare fout** dient verder onderbouwd en bijgestuurd worden;
- De parameters die vereist zijn om de nodige nauwkeurigheid te behalen, dienen **kosteffectief** te zijn. De meerwaarde die een correcte berekening voor het landbouwbedrijf levert zal ruimschoots de kosten verbonden aan de nodige bepalingen en metingen moeten overstijgen.

F. *Testen van de optimale beregeningsstrategie van bloemkool en spruitkool*

In eerder onderzoek werd de irrigatie van bloemkool en prei nader onderzocht. Gezien in het huidige onderzoeksprogramma voorzien is dat verschillende beregeningsregimes worden aangelegd met het doel verschillende vochtprofielen te realiseren, wordt vanuit de praktijk van de deelnemende proefstations geopteerd om die twee economisch belangrijke teelten in deze proeven op te nemen:

- Bloemkool, met korte teeltcyclus en een optimaal ‘vochtig’ beregeningsregime, en waarbij de gekende optimale beregeningsstrategie kan bevestigd worden;
- Spruitkool, met een lange cyclus en met een optimaal restrictief beregeningsregime, doch waar de optimale strategie nog verder dient verfijnd te worden op goed vochtleverende bodems.

G. *Effecten van de beregeningsstrategie op de stikstofhuishouding*

Consequent met eerder uitgevoerd onderzoek naar de beregeningsstrategie voor intensieve teelten, wordt vanuit milieukundige oogpunt de stikstofhuishouding opgevolgd in de teelten waarop de verschillende beregeningsregimes worden aangelegd, na bemesting volgens de N-Index-methode (BDB).



## 1.4 Overzicht van de werken van het voorgaande onderzoeksjaar

Voor een volledig overzicht wordt vanzelfsprekend verwezen naar het verslag betreffende het eerste werkjaar. Hierna worden enkel de grote lijnen weergegeven uit dit verslag.

### 1.4.1 WPI

In het eerste werkjaar, 2004, werden op proefvelden te Sint Katelijne Waver en te Rumbeke telkens een proefveld bloemkool en een proefveld spruitkool aangelegd met verschillende beregeningsregimes, die aangestuurd werden door een gedetailleerde opvolging van de bodemwaterbalans door de Bodemkundige Dienst van België.

Tabel 1-1 *Beregeningsregimes bij bloemkool in 2004 te Sint-Katelijne-Waver*

Plotnr.	Behandeling		Interventiegrenzen	
			VEG-fase	BLK-fase
P1	VEG1BLK1	openlucht	pF 2.5	pF 2.5
P2	VEG1BLK2	openlucht	pF 2.5	pF 2.8
P3	VEG2BLK1	openlucht	pF 2.8	pF 2.5
P4	VEG2BLK2 (controle)	openlucht	pF 2.8	pF 2.8
P5	VEG2BLK2	openlucht	pF 2.8	pF 2.8
L6	VEG1BLK1	onder overkapping	pF 2.5	pF 2.5
L7	VEG2BLK2	onder overkapping	pF 2.8	pF 2.8

Tabel 1-2 *Beregeningsregimes bij bloemkool in 2004 te Rumbeke*

Plotnr.	Behandeling		Interventiegrenzen	
			VEG-fase	BLK-fase
Z10	VEG1BLK1	openlucht	pF 2.5	pF 2.5
Z11	VEG1BLK1 (controle)	openlucht	pF 2.5	pF 2.5
Z12	VEG1BLK2	openlucht	pF 2.5	pF 2.8
Z13	VEG2BLK1	openlucht	pF 2.8	pF 2.8
Z14	VEG2BLK2	openlucht	pF 2.8	pF 2.8
Z15	VEG1BLK1	onder overkapping	pF 2.5	pF 2.5
Z16	VEG2BLK2	onder overkapping	pF 2.8	pF 2.8

De nodige opmetingen en analyses met betrekking tot de parameters van de bodemwaterhuishouding werden uitgevoerd evenals met betrekking tot de bodemvruchtbaarheid.

Tijdens het seizoen werd de gewasontwikkeling opgevolgd en bij de oogst werd het gewas opgemeten aan de hand van de parameters die de productie kwalitatief en kwantitatief beschrijven.

De klimatologische omstandigheden van het seizoen – ondanks de weinig uitgesproken droogteperioden - lieten toe om de effecten van een aantal regimes op opbrengst en kwaliteit te bestuderen. Een zeer hoge vochtspanning werd enkel te Rumbeke op het einde van de vegetatieve fase van spruitkool bereikt.

Algemeen bemoeilijkte de aanhoudende natte periode gedurende de overgang van de vegetatieve fase naar de generatieve fase de aansturing voor beide teelten.

Te Rumbeke kon de differentiatie tussen de verschillende beregeningsregimes grotendeels gerealiseerd worden. Bij de spruitkoolteelt bemoeilijkte de natte periode op het einde van de vegetatieve fase de overgangsfase in augustus, doch vanaf september konden de vochtregimes echter weer gestuurd worden volgens plan.

Een zeer goede vochtvoorziening (berekening bij pF 2.5) vóór de bloemkoolvorming laat zich voelen in de opbrengst indien de vochtspanning tijdens de bloemkoolvorming eveneens laag wordt gehouden (pF 2.5-2.8). Anderzijds heeft een zeer lage vochtspanning tijdens de bloemkoolvorming na een matige droogte vóór de koolvorming een eerder lagere opbrengst en kwaliteit geleverd.

In de teelt van spruitkool zou een te lage vochtspanning (pF < 2.8) tijdens de gehele cyclus de opbrengst verlagen. Anderzijds geeft het onberegend object aan dat bij een oplopende vochtspanning (naar pF 3.1) de opbrengst eveneens terugviel, behalve na berekening tijdens de spruitkoolvorming. Een duidelijk optimale strategie tekent zich af.

#### **1.4.2 WP2**

Zoals voorzien werden in 2004 de parameters gemeten en verzameld met betrekking tot de bodemwaterhuishouding en plantontwikkeling op 20 praktijkpercelen.

Dat de capillaire opstijging een belangrijke bijdrage levert op percelen met een schommelende grondwatertafel tot ca. 250 cm onder het maaiveld werd bevestigd.

#### **1.4.3 WP3**

De meetreeksen en basisparameters van meer dan 150 percelen werden opgezocht, opgevraagd en verzameld, systematisch gecontroleerd op hun validiteit of volledigheid en opgelijst. Uiteindelijk werden reeds 119 teelten/percelen weerhouden waarvoor de meetreeksen voldoende uitgebreid bleken of mogelijk verder kunnen aangevuld worden voor verdere verwerking binnen het lopende onderzoek. Een groot aantal ontbrekende (onveranderlijke) basisparameters werden nog bijkomend gemeten op terrein en in het laboratorium (vochtretentiekarakteristieken, indringingsweerstand, granulometrie, organisch stofgehalte, verzadigde permeabiliteit van verschillende horizonten). Ook in het 2<sup>de</sup> werkjaar zullen nog bijkomende ontbrekende parameters op een aantal percelen opgemeten worden.

#### 1.4.4 WP4

In de voorbereiding van de ontwikkeling van de functionele modellen die de CN kunnen benaderen, werden volgende stappen uitgevoerd of aangevat:

##### *Vochtretentiekarakteristieken:*

Verschillende methoden werden opgezocht om de vochtretentiekarakteristiek (WRC) optimaal te benaderen, vertrekkende van de meetwaarden van discrete punten op de WRC. Computer fittingprogramma's (RETC en SHYPPFIT) werden geëvalueerd op hun prestatie waarbij de curve wordt berekend op basis van de Van Genuchten (1980) vergelijking.

##### *Hydraulische conductiviteit:*

De hydraulische conductiviteit van de bodems en bodemlagen werd bepaald op basis van een aantal benaderingen:

Experimentele bepaling van  $K_{sat}$ : Bepaling met de ICWpermeameter op ongestoorde bodemstalen, in het laboratorium en bepaling van de  $K_{sat}$  in situ bepaald aan de hand van de boorgatenmethode.

Pedotransferfuncties: Verschillende functies zijn gebaseerd op een uitgebreide statistische analyse van een grote dataset en geven een relatie tussen de moeilijk te bekomen  $K_{sat}$  en makkelijker toegankelijke informatie zoals bv. bodemtextuur en bulkdichtheid en organische stofgehalte, en of de WRC.

## 1.5 Werkprogramma

In het werkprogramma wordt beoogd om enerzijds door proefveldmatig werk voldoende variatie te ontwikkelen in een zelfde bodemvochtprofiel om voor de teelten bloemkool en spruitkool de optimale beregeningsstrategie te ontwikkelen en anderzijds door de monitoring van een groot aantal controlevelden van praktijkbedrijven een voldoende schakering in bodemseries en bodemvochtprofielen te bekomen om de modelmatige ontwikkeling van de CN mogelijk te maken. Eveneens worden een aantal historische datasets geselecteerd en vervolledigd.

Het werkprogramma voor het tweede werkjaar wordt consequent opgedeeld in de 4 werkpakketten: WP1 tot WP4.

WP1	Experimentele deel: Proefvelden
WP2	Datasets uit controlevelden op praktijkbedrijven
WP3	Vervolledigen van bestaande datasets
WP4	Modelontwikkeling, kalibratie, test en validatie

## 2. WP1: EXPERIMENTEEL DEEL 'PROEFVELDEN 2005'

### 2.1. Doelstellingen

De opvolging en begroting van de capillaire nalevering op twee proefvelden (Sint-Katelijne-Waver en Rumbeke) met verschillende bodemvochtprofielen op twee intensieve groenteteelten met verschillende karakteristieken, teneinde datasets te leveren voor de modelontwikkeling.

Bevestiging van de beregeningsstrategie voor bloemkool zoals die werd aangetoond in het voorbije onderzoek (Deproost et al., 2002 en 2003)

Verfijning van de bestaande beregeningsstrategie voor spruitkool zoals die in de praktijk toegepast wordt door de BDB.

### 2.2. Beschrijving van de beregeningsregimes

#### 2.2.1. Bloemkool

Op het proefveld te Sint Katelijne Waver werd vlak na planting op 14/6/2005 de weggroei van de bloemkoolplanten verzekerd dankzij een goede vochtvoorziening. Op het perceel te Rumbeke volstond de natuurlijke vochtvoorziening door de bodem en door enige neerslag voor en na het planten op 2/6/2005.

Gedurende de aanvangsperiode van de vegetatieve ontwikkeling (tot het 6de à 7de blad) wordt de ontwikkeling van een uitgebreid wortelstelsel in de diepere lagen gestimuleerd door niet te beregenen alvorens de vochtspanning pF 3.1 is bereikt.

Vanaf het 6de à 7de blad vangt de vegetatieve fase, de VEG-fase aan, waarbij twee interventiegrenzen worden onderscheiden, namelijk pF 2.5 en 2.8.

Het begin van de bloemvorming, op 28/7 in 2005, kondigt de generatieve fase, de BLK-fase aan; de gerealiseerde behandelingen worden op dit ogenblik opgesplitst in twee verschillende regimes, namelijk pF 2.5 en 2.8.

Bovendien worden het natte en het middelmatig droge regime eveneens onder overkapping aangelegd, teneinde volledig onafhankelijk van de neerslag te kunnen werken.

Tabel 2.1. geeft een overzicht van de 7 bij bloemkool toegepaste behandelingen in 2005.

Tabel 2-1: Beregeningsregimes bij bloemkool te Sint-Katelijne-Waver in 2005

nr	plotref.	behandeling		interventiegrenzen	
				VEG-fase	BLK-fase
1	3PLA	VEG1BLK1	openlucht	pF 2.5	pF 2.5
2	2PLM	VEG1BLK2	openlucht	pF 2.5	pF 2.8
3	5PRM	VEG2BLK1	openlucht	pF 2.8	pF 2.5
4	1PLV	VEG2BLK2(controle)	openlucht	pF 2.8	pF 2.8
5	6PRA	VEG2BLK2	openlucht	pF 2.8	pF 2.8
7	15LLA	VEG1BLK1	onder overkapping	pF 2.5	pF 2.5
8	14LVV	VEG2BLK2	onder overkapping	pF 2.8	pF 2.8

Tabel 2-2: Beregeningsregimes bij bloemkool te Rumbeke in 2005

nr	plotref.	behandeling		interventiegrenzen	
				VEG-fase	BLK-fase
1	Z10	VEG1BLK1(controle)	openlucht	pF 2.5	pF 2.5
2	Z11	VEG1BLK1	openlucht	pF 2.5	pF 2.5
3	Z12	VEG1BLK2	openlucht	pF 2.5	pF 2.8
4	Z13	VEG2BLK1	openlucht	pF 2.8	pF 2.5
5	Z14	VEG2BLK2	openlucht	pF 2.8	pF 2.8
7	Z15	VEG1BLK1	onder overkapping	pF 2.5	pF 2.5
8	Z16	VEG2BLK2	onder overkapping	pF 2.8	pF 2.8

### 2.2.2. Spruitkool

Gedurende de aanvangsperiode van de vegetatieve ontwikkeling (tot het 6de à 7de blad) werd de ontwikkeling van een uitgebreid wortelstelsel in de diepere lagen gestimuleerd door niet te beregenen alvorens de vochtspanning pF 3.1 werd bereikt, als gemiddelde waarde in de bouwlaag

Vanaf het 6de à 7de blad ving de VEG-fase aan, waarbij drie interventiegrenzen werden onderscheiden, namelijk pF 2.5, 2.8 en 3.1. Het begin van de spruitvorming kondigde de SPK-fase aan en deze overgang situeerde zich op beide proefstations rond 10/8 in 2005. De gerealiseerde behandelingen werden op dit ogenblik opgesplitst in drie verschillende regimes pF 2.5, 2.8 en 3.1.

Ter controle werd in Sint-Katelijne-Waver de behandeling VEG3SPK3 herhaald; in Rumbeke werd behandeling VEG2SPK1 herhaald.

Bovendien werden het middelmatig droge (3.1; 2.8) en het droge regime (3.1; 3.1) eveneens onder overkapping aangelegd. Tabel 2-3 en Tabel 2-4 geven een overzicht van de 9 behandelingen per proefstation.

Tabel 2-3 Beregeningsregimes bij spruitkool in 2005 te Sint-Katelijne-Waver

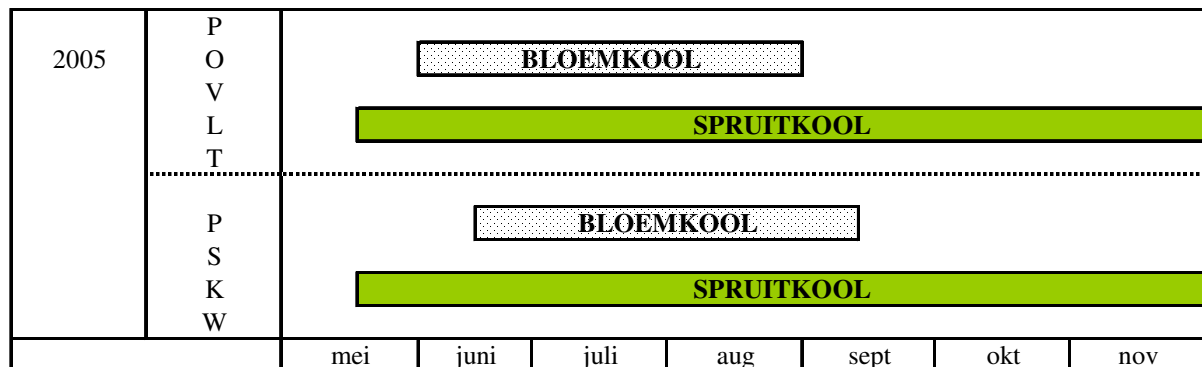
nr	Plotnr	Behandeling		Interventiegrenzen	
				VEG-fase	SPK-fase
1	13BRA	VEG1SPK2	openlucht	pF 2.5	pF 2.8
2	9OLA	VEG2SPK1	openlucht	pF 2.8	pF 2.5
3	8OLM	VEG2SPK2	openlucht	pF 2.8	pF 2.8
4	11ORM	VEG2SPK3	openlucht	pF 2.8	pF 3.1
5	10ORV	VEG3SPK2	openlucht	pF 3.1	pF 2.8
6	12ORA	VEG3SPK3	openlucht	pF 3.1	pF 3.1
7	7OLV	VEG3SPK3 (controle)	openlucht	pF 3.1	pF 3.1
8	17KRA	VEG3SPK2	onder overkapping	pF 3.1	pF 2.8
9	16KRV	VEG3SPK3	onder overkapping	pF 3.1	pF 3.1

Tabel 2-4 Beregeningsregimes bij spruitkool in 2005 te Rumbeke

nr	Plotnr	Behandeling		Interventiegrenzen	
				VEG-fase	SPK-fase
1	Z1	VEG1SPK2	openlucht	pF 2.5	pF 2.8
2	Z2	VEG2SPK1 (controle)	openlucht	pF 2.8	pF 2.5
3	Z3	VEG2SPK2	openlucht	pF 2.8	pF 2.5
4	Z4	VEG2SPK3	openlucht	pF 2.8	pF 2.8
5	Z5	VEG3SPK2	openlucht	pF 2.8	pF 3.1
6	Z6	VEG3SPK3	openlucht	pF 3.1	pF 2.8
7	Z7	VEG3SPK3	openlucht	pF 3.1	pF 3.1
8	Z8	VEG3SPK2	onder overkapping	pF 3.1	pF 2.8
9	Z9	VEG3SPK3	onder overkapping	pF 3.1	pF 3.1

### 2.3. Aanleg van de proefvelden en behandelingen

De proefveldschema's worden weergegeven in Bijlage 1. De teeltcycli van bloemkool en spruitkool worden weergegeven in onderstaande tijdschema.



Figuur 2-1 Tijdschema van de proefvelden voor het seizoen 2005

#### 2.3.1. Proefvelden te Sint-Katelijne-Waver

De proefvelden te Sint-Katelijne-Waver worden gekenmerkt door een bodemtype met als textuur van de bouwlaag 86 % zand, 13 % leem, 1 % klei (grondsoort 15: fijn zand) en met een C% van 2.1. Plotnummer B bleek licht afwijkend, gekenmerkt door een zwaardere textuur: 46 % zand, 45 % leem en 9 % klei (grondsoort 25 – 30: lichte zandleem tot zandleem) met een C% van 2.3 %. Normaal schommelt de grondwatertafel tussen 110 en 140 cm onder het maaiveld in de zomerperiode.

In Sint-Katelijne-Waver wordt er geplant op aardruggen van 1,2 m topbreedte (1,8 m spoorbreedte) met 2 rijen per aardrug volgens een afstand van 60 cm tussen de rijen en 50 cm in de rij voor bloemkool en 67 cm in de rij voor spruitkool.

### 2.3.1.1. Proefveld bloemkool 2005

De bloemkoolcultivar Clapton (S&G) werd uitgezaaid op 8/05/2005 in perspotten van 5 cm ribbe. Er werd uitgeplant op 14/06/2005 zowel in openlucht als onder afscherming.

De bemesting werd uitgevoerd op 14/06/2005 volgens de adviezen van de Bodemkundige Dienst van België (zie Bijlage 2, Tabel 2.1).

Verskillende vochtprofielen worden bekomen door de aanleg van 4 verschillende beregeningsregimes (getolereerde vochtspanning in de bouwlaag) met pF 2.5 of 2.8 tijdens de vegetatieve fase en met pF 2.5 of 2.8 tijdens de bloemvormingsfase (overgang op 28/07/2005).

De irrigatiebehandelingen (pF 2.5-2.5, 2.5-2.8, 2.8-2.5 en 2.8-2.8) lagen overlans op het proefperceel en wel met de 4 herhalingen telkens gegroepeerd rond de peilbuis voor de grondwaterstand.

Onder overkapping werden enkel het natte en het middelmatig droge regime namelijk pF 2.5-2.5 en pF 2.8-2.8 aangelegd.

Per behandeling (4 bedden) (94 m<sup>2</sup> veldoppervlakte; 62 m<sup>2</sup> teeltoppervlakte) werden 208 bloemkoolplanten uitgezet. Per herhaling werden de bodem- en plantwaarnemingen verricht op het volledige bed min 1 m kopkantrand (20 m<sup>2</sup> veldoppervlak; 13 m<sup>2</sup> teeltoppervlak; 44 planten).

De dimensies van de overdekte oppervlakte waren: breedte 7,2 m (4 bedden) en lengte 22 m met ook hier 44 bloemkoolplanten per herhaling.

De oogst van de bloemkoolteelt verliep van 16/8 tot 29/8/2005 (6 oogstdata).

### 2.3.1.2. Proefveld spruitkool 2005

De bloemkoolcultivar Clapton (S&G) werd uitgezaaid op 8/05/2005 in perspotten van 5 cm ribbe. Er werd uitgeplant op 14/06/2005 zowel in openlucht als onder afscherming.

De bemesting werd uitgevoerd op 14/06/2005 volgens de adviezen van de Bodemkundige Dienst van België (zie Bijlage 2, Tabel 2.2).

Verskillende vochtprofielen worden bekomen door de aanleg van 4 verschillende beregeningsregimes (getolereerde vochtspanning in de bouwlaag) met pF 2.5 of 2.8 tijdens de vegetatieve fase en met pF 2.5 of 2.8 tijdens de bloemvormingsfase (overgang op 28/07/2005).

De irrigatiebehandelingen (pF 2.5-2.5, 2.5-2.8, 2.8-2.5 en 2.8-2.8) lagen overlans op het proefperceel en wel met de 4 herhalingen telkens gegroepeerd rond de peilbuis voor de grondwaterstand.

Onder overkapping werden enkel het natte en het middelmatig droge regime namelijk pF 2.5-2.5 en pF 2.8-2.8 aangelegd.

Per behandeling (4 bedden) (94 m<sup>2</sup> veldoppervlakte; 62 m<sup>2</sup> teeltoppervlakte) werden 208 bloemkoolplanten uitgezet. Per herhaling werden de bodem- en plantwaarnemingen verricht op het volledige bed min 1 m kopkantrand (20 m<sup>2</sup> veldoppervlak; 13 m<sup>2</sup> teeltoppervlak; 44 planten).

De dimensies van de overdekte oppervlakte waren: breedte 7,2 m (4 bedden) en lengte 22 m met ook hier 44 bloemkoolplanten per herhaling.

De oogst van de bloemkoolteelt verliep van 16/8 tot 29/8/2005 (6 oogstdata).

### 2.3.2. Proefvelden te Rumbeke

Het proefveld te Rumbeke wordt gekenmerkt door een minder zandige textuur met een hoger klei- en leemgehalte. In de bouwlaag treft men een zandleem bodem aan, 62% zand, 33% leem en 5% klei. In de ondergrond wordt de bodem volgens de textuurdriehoek geklasseerd als 'licht zandleem'. Handmatig wordt zowel de textuurklasse lemig zand (grondsoort 20) als licht zandleem (grondsoort 25) toegekend. Achteraan in het proefveld (plotten Z11, Z12, Z13 en

Z14) wordt de bouwlaag gekenmerkt door een zwaardere textuur, 'lemig klei tot lichte klei'. Handmatig wordt echter de textuurklasse zware zandleem toegekend (grondsoort 35). Gedurende de teeltcycli schommelde de grondwatertafel tussen 47 en 186 cm onder het maaiveld.

In Rumbekke wordt er geplant op een afstand van 70 cm tussen de rijen, 51 cm in de rij voor bloemkool openlucht, 50 cm in de rij voor bloemkool overkapping en 35 cm in de rij voor spruitkool.

#### 2.3.2.1. Proefveld bloemkool 2005

De bloemkoolcultivar Clapton (S&G) werd uitgezaaid door de plantenkweker in perspotten van 5 cm ribbe. Er werd op 2/06/05 machinaal uitgeplant in open lucht en manueel uitgeplant onder overkapping. De bemesting werd uitgevoerd op 24/05/05 volgens de adviezen van de Bodemkundige Dienst van België (zie Bijlage 2, Tabel 2.4).

In Rumbekke waren de vooropgestelde behandelingen identiek aan deze in Sint-Katelijne-Waver, alleen werd het beregeningsregime pF 2.5/2.5 ter controle herhaald. De irrigatiebehandelingen (pF 2.5/2.5, 2.8/2.5, 2.5/2.8 en 2.8/2.8) lagen twee aan twee aan het begin van het proefperceel en wel met de 4 herhalingen telkens gegroepeerd rond de peilbuis voor de grondwaterstand. Halfweg augustus werd bij irrigatiebehandeling pF 2.5/2.5 (controle) vastgesteld dat een gedeelte van het veld niet beregend werd. Hoewel de irrigatie toen onmiddellijk hersteld werd, kreeg het betreffende deel bij deze irrigatiebeurt zeker minder water dan voorzien. Er werd toen ook vastgesteld dat de planten in dit irrigatieregime veel minder goed stonden dan de planten in andere irrigatieregimes.

Per herhaling (53,6 m<sup>2</sup> teeltoppervlakte; 150 planten) werden de bodem- en plantwaarnemingen verricht op de vierde rij te beginnen aan de buitenste zijde.

De dimensies van de overdekte oppervlakte waren: breedte 7,8 m en lengte 36 m.

De oogst van de bloemkoolteelt verliep van 10/8 tot 29/8/05 (9 oogstbeurten) in openlucht en van 10/08 tot 31/08/05 (6 oogstbeurten) onder overkapping.

#### 2.3.2.2. Proefveld spruitkool 2005

Voor de spruitkoolteelt werd de cultivar Maximus (S & G) uitgezaaid door de plantenkweker in trays. Er werd zowel in open lucht als onder de afkapping uitgeplant op 25/05/05.

De bemesting van de spruitkool werd uitgevoerd op 24/05/05 volgens de adviezen van de Bodemkundige Dienst van België (zie Bijlage 2, Tabel 2.5).

In Rumbekke waren de vooropgestelde behandelingen identiek aan deze in Sint-Katelijne-Waver, alleen werd het beregeningsregime pF 2.8/2.5 ter controle herhaald. De irrigatiebehandelingen (pF 2.5/2.8, 2.8/2.5, 2.8/2.8, 2.8/3.1, 3.1/2.8 en 3.1/3.1) lagen overlappend op het proefperceel en wel met de 4 herhalingen telkens gegroepeerd rond de peilbuis voor de grondwaterstand.

Per herhaling (53,6 m<sup>2</sup> teeltoppervlakte; 150 planten) werden de bodem- en plantwaarnemingen verricht op de vierde rij te beginnen aan de buitenste zijde.

Bij de spruitkoolteelt werd zowel in openlucht als onder afkapping geoogst op 2/12/05.

De toegepaste beregeningsregimes, de situering ten velde en de plaatsing van de peilputten voor de meting van de grondwaterstand zijn weergegeven in Bijlage 1, Figuur 1.2.



## 2.4. Uitgevoerde analyses en metingen

### 2.4.1. Algemene bodemanalyses

Vóór de plantdatum werd de bodemvruchtbaarheid van de percelen bepaald aan de hand van één of meerdere standaardontleding of stikstofanalyses.

Te Sint-Katelijne-Waver werden de deelpercelen P, O, L en K bemonsterd op 04/05/05. Er werden zowel stikstofstalen (tot 90 cm diepte) als standaardstalen (bouwvoor) genomen. Later in het seizoen werden voor elke behandeling opnieuw stikstofstalen genomen ter bepaling van het reststikstofgehalte. De bloemkoolbehandelingen (plotten in zones P en L) werden op 23/08/05 bemonsterd. Als gevolg van een zware knolvoetaantasting werden slechts twee spuitkoolbehandelingen (plotten O2 en O6) op 04/10/05 bemonsterd.

Te Rumbeke werden op 12/05/05 vier standaard- en stikstofstalen genomen ter hoogte van plotten Z7, Z8, Z12 en Z15. Hierbij werd een onderverdeling gemaakt tussen plotnummers Z1-Z2-Z3-Z4-Z5-Z6-Z7 (spuitkoolteelt), Z10-Z11-Z12-Z13-Z14 (bloemkoolteelt), Z8-Z9 (spuitkoolteelt onder overkapping) en Z15-Z16 (bloemkoolteelt onder overkapping). Ter bepaling van het reststikstofgehalte werden op 01/09/05 de bloemkoolbehandelingen bemonsterd. Op 22/11/05 werden plotnummers Z1, Z4, Z6 en Z9 van de spuitkoolbehandelingen bemonsterd.

Op basis van de ontleding werden de bemestingsadviezen geformuleerd, zodat de teelten zich onder optimale bodemvruchtbaarheidscondities konden ontwikkelen. De resultaten van deze analyses en bijkomende bemestingsadviezen worden weergegeven in Bijlage 2.

### 2.4.2. Bodemprofiel

Tijdens het plaatsten van de peilbuizen werd het bodemprofiel van elke plot beschreven. Per horizont werd de diepte, de textuur, de kleur en het voorkomen van roest genoteerd. Bodemstalen werden van een aantal lagen genomen en geanalyseerd op textuur (handmatig en granulometrisch) en organische stofgehalte. De staalnameplaats wordt weergegeven in Tabel 2-5.

Tabel 2-5 Situering bodemstalen op proefvelden ter bepaling van het koolstofgehalte en de textuur

Sint-Katelijne-Waver		Rumbeke	
Plotnr	Horizont	Plotnr	Horizont
P 1	bouwlaag	Z 3	tweede en vierde
P 4	tweede en vierde	Z 6	bouwlaag, tweede en vierde
O 5	derde	Z 12	bouwlaag, tweede en derde
B 1	bouwlaag en vierde	Z 13	bouwlaag
		Z 16	derde en vierde

De bodem van de proefvelden werd aan de hand van de profielbeschrijvingen en de bekomen resultaten in kaart gebracht in het eerste onderzoeksjaar. Bijlage 3 herneemt de gegevens over het profiel van elke plot.

Het voorkomen van een ploegzool werd nagegaan aan de hand van penetrografie. In Sint-Katelijne-Waver werden per zone (B, O, P, K en L) drie metingen uitgevoerd. In Rumbeke werden telkens drie metingen uitgevoerd in de bloemkoolbehandelingen, spuitkoolbehandelingen en bloemkool onder overkapping. De resultaten werden weergegeven in Bijlage 6 van het verslag van het eerste onderzoeksjaar en werden in het voorliggende verslag niet hernomen.

### 2.4.3 *Vocht karakteristieken*

Tijdens vorig onderzoek (Deproost et al., 2000 en 2001) werden de vocht karakteristieken van het proefveld te Sint-Katelijne-Waver meermaals bepaald. Als gevolg van regelmatige bodembewerkingen en mogelijke effecten hiervan op de bodemstructuur, werd er geopteerd om bijkomende bepalingen uit te voeren. Een overzicht van metingen uitgevoerd tijdens het eerste onderzoeksjaar wordt weergegeven in het eerste rapport. In het begin van het tweede onderzoeksjaar werden zowel op 15 cm als 70 cm diepte met behulp van Kopecky-ringen ongestoorde bodemstalen genomen ter hoogte van plotten P4, B1 en L7. Hierbij werden de vochtgehalten overeenkomend met de vochtspanningen pF 0, pF 2, pF 2.5, pF 3 en pF 4.2 bepaald. In Rumbeke werd tijdens het tweede onderzoeksjaar op 15 cm diepte het vochtgehalte overeenkomend met de vochtspanning pF 3.1 bepaald van plotnummers Z4, Z6, Z8, Z12 en Z13.

De resultaten van meerdere onderzoeksjaren worden voorgesteld in Bijlage 4.

### 2.4.4 *Verzadigde hydraulische conductiviteit*

De experimentele bepaling van  $K_{sat}$  volgens de boorgaten methode en staalname voor de labometrische methode op Kopeckyringen werden uitgevoerd op 17/05/05 en 20/05/05 voor respectievelijk Rumbeke en Sint-Katelijne-Waver.

De boorgatenmethode wordt in situ uitgevoerd. De diepte van het boorgat werd gekozen in functie van de verschillende bodemhorizonten. De  $K_{sat}$  werd bepaald in de bodemhorizont die de capillaire opstijging het meest beïnvloedt. In de praktijk komt dit overeen met de tweede of derde horizont. De inverse boorgatenmethode werd toegepast aangezien het boorgat zich telkens boven de watertafel bevond. Per proefveld werden vier herhalingen uitgevoerd.

Bij de labometrische methode werden op twee dieptes telkens drie ongestoorde bodemstalen (Kopecky-ringen) genomen. De eerste diepte komt overeen met de bouwlaag (15 cm). De tweede staalname diepte werd bepaald aan de hand van de boorgatenmethode. Ringstalen werden genomen in de horizont waarin de boorgatenmethode uitgevoerd werd.

Vervolgens werd de  $K_{sat}$  berekend aan de hand van drie parametrische modellen. Meer bepaald, volgens de vergelijking van Williams en Ahuja (1993) en volgens de Rosetta modellen 3 en 5 van Schaap (2001).

Resultaten van de twee experimentele en drie parametrische  $K_{sat}$ -bepalingen worden weergegeven in Bijlage 5.

### 2.4.5 *Registratie van de meteorologische parameters*

#### 2.4.5.1 *In openlucht*

De meteorologische gegevens worden gemeten met behulp van een automatisch weerstation en worden dagelijks naar de Bodemkundige Dienst van België doorgestuurd via modem. Dit weerstation bevindt zich op de vollegrondspcelen van het Proefstation.

Temperatuur, windsnelheid, relatieve luchtvochtigheid, straling en neerslag zijn de parameters die daarbij worden geregistreerd. Op basis van deze waarden wordt de referentie-evapotranspiratie ETo berekend volgens de formule van Penman-Monteith.

Ter illustratie zijn in Bijlage 8, Tabel 8.1. voor Sint-Katelijne-Waver de maandelijkse waarden van januari tot en met december van de gemiddelde temperaturen, de neerslag en de globale instraling samengevat voor de jaren 2000 tot en met 2005.

Tabel 8.2 toont voor Rumbekke eveneens de gemiddelde temperatuur en de neerslaghoeveelheden per maand, voor het jaar 2005 evenals de normaalwaarde.

#### 2.4.5.2. *Onder de overkapping*

Een niet te verwaarlozen invloed van de overkapping op het microklimaat werd reeds tijdens de een voorgaand onderzoek vastgesteld (Deproost P., et al., 2003). Gedurende 4 seizoenen van 2000 tot 2003 is gebleken dat de invloed van de overkapping op temperatuur en relatieve vochtigheid eerder gering was omwille van de open structuur van de afscherming. Hierbij werd een lichte reductie van temperatuurschommelingen waargenomen. Voornamelijk de instraling onder de overkapping werd in sterke mate gereduceerd.

Ook de klimatologische gegevens van 2004 waren een bevestiging hiervan.

Zowel tijdens relatief warme periodes als tijdens koudere periodes bleken ook in het seizoen 2004 de temperatuurschommelingen onder de overkapping kleiner dan in openlucht. Even hoge maximumtemperaturen en lagere minimumtemperaturen worden geregistreerd in openlucht. Over het ganse seizoen 2004 lag de gemiddelde etmaaltemperatuur dan ook nagenoeg gelijk onder overkapping en in openlucht.

Het belangrijkste effect van de overkapping situeerde zich in 2004 eveneens op het vlak van de instraling.

Te Sint-Katelijne-Waver werd in 2004 vastgesteld dat de reductie van de lichtintensiteit onder overkapping gemiddeld 23 % bedroeg aan de hand van de dagelijkse metingen met PAR-sensoren ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ ).

Daar waar in het verleden met de houten constructie gemiddeld 31 % lichtreductie werd vastgesteld, is deze in 2004 beperkt gebleven tot 23 %. De minder zware en hogere boogconstructie heeft in 2004 de lichtreductie van de afscherming aldus sterk verkleind.

In het seizoen 2005 werden de klimatologische effecten van de overkapping opnieuw opgevolgd. Te Sint-Katelijne-Waver werd de temperatuur periodiek geregistreerd zowel in openlucht als onder de overkapping met behulp van thermistorsondes (Bijlage 9, Figuur 9.1 tot en met 9.4).

Periodiek werd eveneens de invloed van de overkapping op de instraling geëvalueerd aan de hand van dagelijkse stralingsmetingen in openlucht en onder de afscherming met behulp van pyranometers ( $\text{Joule}/\text{cm}^2$ ) (Bijlage 9, Figuur 9.5.).

#### 2.4.6. *Opvolging van de bodemvochttoestand*

##### 2.4.6.1. *Gravimetrische vochtbepaling*

Wekelijks werden per behandeling gestoorde grondmonsters genomen, waarvan het gravimetrisch vochtgehalte werd bepaald. Deze waarde werd vervolgens herrekend naar het volumetrisch vochtgehalte op basis van de schijnbare dichtheid van de bodem. De staalnamen werden telkens uitgevoerd voor de lagen 0-30 cm en 30-60 cm.

Te Sint-Katelijne-Waver werd de bemonstering van het bed uitgevoerd door loodrecht te steken tussen de middelste rijen. Te Rumbeke werd bemonsterd door tussen twee rijen loodrecht in de bodem te steken. Het zongedroogde deel ( $pF \gg 4.2$ ) van het bodemoppervlak (bovenste 1-2 cm) werd verwijderd alvorens te steken. Per behandeling werd een mengstaal van 12 steken genomen (3 steken per herhaling).

#### *2.4.6.2. Opvolging van de grondwaterstand*

De evolutie van de grondwaterstand werd per behandeling opgevolgd. Hiervoor werd een peilbuis centraal in elke plot geplaatst. De opname van de grondwaterstand werd drie maal per week uitgevoerd gedurende het seizoen.

De evolutie van het grondwaterniveau wordt voor elke behandeling voorgesteld in Bijlage 7.

#### **2.4.7. Evaluatie van de stikstofhuishouding**

Alle meetresultaten zijn opgenomen onder Bijlage 6.

##### *2.4.7.1. Minerale stikstofgehalte van de bodem*

Het minerale stikstofgehalte ( $NO_3-N$  en  $NH_4-N$ ) van de bodem op het einde van de teeltcyclus, na of net voor de oogst werd opgemeten in 2004 en in 2005.

##### *2.4.7.2. Stikstofgehalte van het gewas*

Bij de eind oogst werd het stikstofgehalte (N-kjeldahl en  $NO_3-N$ ) van het gewas geanalyseerd m.u.v. de spuitkolen van de proef te Rumbeke in 2004 en de bloemkolen en spuitkolen te Rumbeke in 2005 gezien de verregaande ziekteaanbasting (knolvoet).

Voor bloemkool werden de bloem en het blad afzonderlijk geanalyseerd. Bij spuitkool werd eveneens het blad en de spuit gescheiden gehouden. Er werden vijf planten per herhaling geanalyseerd.

#### **2.4.8. Analyse van de gewasontwikkeling en opbrengst bij bloemkool**

##### *2.4.8.1. Vegetatieve ontwikkeling*

Teneinde de ontwikkeling van de bloemkoolplant in de verschillende irrigatieregimes te kunnen vastleggen, werden vanaf 25/06 tot de oogst om de 2 weken plantwaarnemingen uitgevoerd. De groeiduur van de bloemkool beslaat vanaf het planten tot de oogst maximaal 3 maanden waarin 2 tussentijdse waarnemingen werden verricht om af te ronden met de meermalige oogst van de zone bestemd voor opbrengstbepaling.

Staalnamedata voor de bloemkoolteelt te Sint-Katelijne-Waver: 14/06; 20/06; 18/07; 03/08; 16/08/05.

Staalnamedata voor de bloemkoolteelt te Rumbeke: 22/06, 7/07, 19/07, 12/08/05.

Per monsternamedatum werden telkens 5 bloemkoolplanten at random bemonsterd per experimentele eenheid waarop de volgende waarnemingen werden verricht:

- maximale lengte (Sint-Katelijne-Waver) en lengte voet-hart (Rumbeke) van de plant (cm)
- totaal aantal bladeren
- bodembedekkingsgraad in %

Supplementair werden op 5 bloemkoolplanten per experimentele eenheid het plantgewicht en het % droge stof bepaald. Te Sint-Katelijne-Waver gebeurde dit 18/07 en 09/08/05; te Rumbeke op 22/06, 18/07 en 18/08/05. Bij de oogst te Rumbeke werd eveneens de verhouding bloem/blad en het % blad/totaal gewicht bepaald.

#### 2.4.8.2. Opbrengst- en kwaliteitsbepaling

De opbrengstbepaling van bloemkool gebeurt op het meest ideale moment per individuele kool, dit is als de kool veilingklaar een sortering bereikt van zes stuks per veilingbak. Dit houdt a priori een meermalige oogst (4 tot 6 snijbeurten) in. Zo werd in de bloemkoolteelt in Sint-Katelijne-Waver geoogst van 16/08 tot 29/08/05 (6 oogstdata); in Rumbeke werd geoogst van 11/08 tot 6/09/05 (8 oogstbeurten in openlucht en 5 à 6 oogstbeurten onder overkapping).

Alle kolen van de zone bestemd voor productie bepalingen (Rumbeke openlucht 40 kolen; afkapping 10 kolen) werden bovendien onderworpen aan volgende opbrengstbepalingen op de "globale oogst":

- gewicht van de veilingklaar gemaakte kool ('geschoren')
- sortering verse markt: Klasse Extra, I, II, III en niet marktbaar (uitval, afval)

Tijdens volle oogst (22/08/05 te Sint-Katelijne-Waver; 12/08, 17/08 en 22/08/05 te Rumbeke) werden op een monster van 10 volgroeide kolen volgende bijkomende kwaliteitsparameters bepaald:

- gewicht volledige plant (blad + bloem)
- gewicht veilingklaar gemaakte kool (geschoren)
- gewicht bloem
- aantal roosjes (enkel te Sint-Katelijne-Waver)
- vastheid krans (enkel te Rumbeke)
- vastheid kool (enkel te Rumbeke)
- koolafmetingen (enkel te Rumbeke)

Te Rumbeke werden net voor de oogst (9/08/05) per experimentele eenheid volgende gewassenmerken bepaald:

- gewaskleur
- gewasstand
- groeiwijze
- bladmassa
- bladgrootte

#### 2.4.8.3. Ziekteaantasting

De volgende elementen werden opgevolgd indien ze voorkwamen:

- ziekteaantasting blad: valse meeldauw, witte roest, spikkelziekte (*Alternaria*), stip (*Mycosphaerella*)
- ziekteaantasting (valse meeldauw) van de roosjes indien aanwezig (% van totaal aantal)

### 2.4.9. Analyse van de gewasontwikkeling en opbrengst bij spruitkool

#### 2.4.9.1. Vegetatieve ontwikkeling

Teneinde de ontwikkeling van de spruitkoolplant in de verschillende irrigatieregimes te kunnen vastleggen, werden vanaf 22/06 om de 2 weken en vanaf 26/07 elke week plantwaarnemingen uitgevoerd.

Staalnamedata voor de spruitkoolteelt te Sint Katelijne Waver : 01/07 ; 14/07 ; 26/07 ; 5/08 ; 11/08 ; 18/08 ; 24/08 ; 31/08 ; 07/09 ; 24/09 ; 5/10/05 (11 x).

Staalnamedata voor de spruitkoolteelt te Rumbeke: 22/06, 7/07, 19/07, 11/08, 6/09, 22/09, (7 x).

Per monsternamedatum werden telkens 5 spruitkoolplanten at random bemonsterd per experimentele eenheid waarop de volgende waarnemingen werden verricht:

- maximale lengte (Sint-Katelijne-Waver) en lengte voet-hart (Rumbeke) van de plant (cm)
- totaal aantal bladeren (tot 26/07)
- bodembedekkingsgraad in %

Op 6/07 en 08/08/5 werden te Sint Katelijne Waver naast de hogervermelde waarnemingen supplementair op 5 spruitkoolplanten per experimentele eenheid eveneens het plantgewicht en het droge stofgehalte bepaald.

Op 9/08/05 en bij de oogst werden te Rumbeke supplementair op 3 spruitkoolplanten per experimentele eenheid het plantgewicht en het % droge stof bepaald.

#### 2.4.9.2. Opbrengst- en kwaliteitsbepaling

De opbrengstbepaling van spruitkool te Sint-Katelijne-Waver werd gespreid over 2 oogstdata, 4/10 en 28/11/05. Te Rumbeke gebeurde de oogst op 2/12/05. Omdat dit laatste proefveld door de opeenvolgende teelten van kolen sterk aangetast was door knolvoet (*Plasmodiophora brassicae*) werd beslist om slechts van 4 irrigatieregimes de opbrengst te bepalen. In openlucht werden irrigatieregimes 2.5/2.8; 2.8/2.8 en 3.1/2.8 beoordeeld; onder afkapping werd irrigatieregime 3.1/3.1 beoordeeld.

Alle kolen van de zone bestemd voor productie bepalingen werden onderworpen aan volgende opbrengstbepalingen op de "globale oogst":

- aantal en gewicht van de spruiten ongekuist en gekuist per sortering groot en klein: + 4 cm, 3-4 cm en 2-3 cm (Sint-Katelijne-Waver) en + 4 cm; 3,5-4 cm; 3,-3,5 cm; 2,5-3 cm en < 2,5 cm (Rumbeke)
- Te Rumbeke werd net voor de oogst volgende kenmerken van de spruiten bepaald: kleur, vorm, vastheid, structuur, pitgrootte, vleugels, vorming spruitjes en % oogstbare en niet oogstbare planten

Bij de tweede oogst te Sint-Katelijne-Waver (28/11/05) werden op een monster van 5 planten de volgende bijkomende kwaliteitsparameters bepaald:

- gewicht volledige plant (blad + stengel)

Te Rumbeke werden net voor de oogst (28/11) volgende gewaskenmerken bepaald:

- planthoogte
- stamdikte
- optreden legering
- bladschakeling
- spuitzetting
- aantal spruiten/plant
- uniformiteit
- bladkleur
- bladvorm
- vorming gele blaadjes
- gewasstand

#### 2.4.9.3. Ziekteaantasting

Op een deel van de planten werden de volgende elementen opgevolgd indien ze voorkwamen:

- ziekteaantasting blad: valse meeldauw, witte roest, spikkelziekte (*Alternaria*), stip (*Mycosphaerella*)
- ziekteaantasting van de spruiten
- ziekteaantasting van de wortel: knolvoet

## 2.5. Bespreking van de vochtbalansen der proefvelden

### 2.5.1. Typering van de proefvelden (bodem en grondwatertafel)

#### 2.5.1.1. Proefvelden te Sint-Katelijne-Waver

De bouwlaag in het proefveld te Sint-Katelijne-Waver wordt gekenmerkt door een bodemtype met als textuur 86 % zand, 13 % leem, 1 % klei (grondsoort 15: fijn zand) en met een C% van 2.1. Plot B1 daarentegen wordt gekenmerkt door een zwaardere textuur: 46 % zand, 45 % leem en 9 % klei (grondsoort 25 – 30: lichte zandleem tot zandleem) met een C% van 2.3 %. De twee volgende horizonten hebben respectievelijk een lemig zand en zand textuur. De derde horizont (vanaf 110 cm diepte) van B1 heeft een zwaardere textuur, zware zandleem of kleihoudend lemig zand volgens de handmatige textuurbepaling. In de ondergrond is volgens de handmatige textuurbepaling een kleilaag aanwezig beginnend vanaf 170-180 cm. In plot O6 begint de kleilaag reeds op 140 cm diepte. De horizontdieptes variëren in de ruimte. Het overzicht wordt weergegeven in Bijlage 3.

De vochtkenmerken zijn kenmerkend voor een zandige bodem. Ten gevolge van de typische macroporositeit van zandbodems is het verschil in vochtgehalte tussen verzadiging (pF 0) en de veldcapaciteit (pF 2) zeer groot. Het totaal beschikbare vochtgehalte (TAW) en gemakkelijk beschikbaar vochtgehalte (RAW) liggen daarentegen vrij laag.

Te Sint-Katelijne-Waver werd het proefveld opgedeeld in vijf zones (B, O, P, K en L), die in belangrijke mate verschillen qua vochtkenmerken. Bij een zelfde vochtspanning ligt het vochtgehalte van de zone O gemiddeld 5 á 7 vol% hoger dan bij zone P. Het vochtgehalte van zone B gevolgd door zone L ligt intermediair tussen de twee laatst genoemde zones.

Met behulp van penetrografie stelt men vast dat in zones B, O en L vanaf 30 cm diepte een bodemverdichting optreedt. Dit kan te wijten zijn aan de slechte structuur van zandige bodems.

De verzadigde hydraulische conductiviteit van de bodem (onder de bouwlaag) is volgens de experimentele boorgatenmethode matig langzaam en varieert van 0.13 tot 0.34 m/dag. Aan de hand van de parametrische modellen werd de verzadigde hydraulische conductiviteit van de bouwlaag en de tweede horizont bepaald. De bekomen Ksat-waarden variëren sterk tussen de drie parametrische modellen. De hoogste waarden werden berekend aan de hand van het model Rosetta3. De Ksat-waarde in de zandige bouwlaag is relatief hoger dan in de onderliggende lemig zand horizont, respectievelijk (0.32)-4.10 m/dag (matig langzaam tot vlug) en 0.07-0.92 m/dag (langzaam tot matig), rekening houdend met de drie parametrische modellen. In vergelijking tot de parametrische modellen werden voor de bouwlaag lagere waarden bekomen met de labometrische Ksat-bepaling.

Het proefveld wordt gekenmerkt door een ondiepe en sterk variabele grondwaterstand. De variabiliteit van het grondwaterniveau uit zich zowel in tijd als in ruimte. Tijdens de teeltcyclus van de bloemkool schommelde de grondwatertafel tussen 49 en 140 cm onder maaiveld. De diepste grondwatertafel werd aangetroffen onder afwisselend het regime pF 2.8/2.8 (overkapping) en het regime pF 2.8/2.5. De ondiepste grondwatertafel bevond zich ter hoogte van het regime pF 2.5/2.5. Gemiddeld werd een verschil van 28 cm opgemeten tussen de diepste en ondiepste grondwaterstanden die op hetzelfde tijdstip werd gemeten, met een maximum van 71 cm verschil. Gedurende dezelfde periode bij spuitkool schommelde de grondwatertafel in dezelfde grootte orde, tussen 64 en 142 cm onder maaiveld. De diepste grondwaterstanden kwamen voor bij de regimes pF 2.8/2.8, pF 3.1/3.1 (controle) en pF 2.8/3.1 en de ondiepste grondwatertafel bevond zich onder de behandelingen pF 2.5/2.8, pF 3.1/3.1 en pF 2.8/2.5. Naarmate het seizoen vorderde steeg de grondwatertafel. Vanaf november schommelde de grondwatertafel tussen 66 en 92 cm onder het maaiveld.

De vocht karakteristieken, de verzadigde hydraulische conductiviteit en grondwaterstanden van het proefveld in Sint-Katelijne-Waver worden in Bijlage 4 tot en met Bijlage 7 voorgesteld. De penetrografie is opgenomen in bijlage 6 van het tussentijdse verslag van eerste onderzoeksjaar.

#### 2.5.1.2. Proefvelden te Rumbeke

Het proefveld te Rumbeke wordt gekenmerkt door een minder zandige textuur met een hoger klei- en leemgehalte. In de bouwlaag treft men een zandleem bodem aan, 62% zand, 33% leem en 5% klei. In de ondergrond wordt de bodem volgens de textuurdriehoek geklasseerd als 'licht zandleem'. Handmatig wordt zowel de textuurklasse lemig zand (grondsoort 20) als licht zandleem (grondsoort 25) toegekend. Achteraan in het proefveld (plotten Z10, Z11, Z12, Z13 en Z14) wordt de bouwlaag gekenmerkt door een zwaardere textuur, 'lemig klei tot lichte klei'. Handmatig wordt echter de textuurklasse zware zandleem toegekend (grondsoort 35). Ter hoogte van plot Z3 verzwaart de bodem vanaf 70 cm diepte naar zandleem of zware zandleem volgens de handmatige textuurbepaling. Een overzicht wordt gegeven in Bijlage 3. Er is geen ploegzool aanwezig in het profiel.

De analyse van de vocht karakteristieken geeft aan dat de macroporositeit van de bouwlaag lager is dan te Sint-Katelijne-Waver. Het vocht wordt als gevolg van het hoger klei- en leemgehalte langer vastgehouden door de bodem en bijgevolg minder gemakkelijk ter beschikking gesteld. Het gemakkelijk beschikbaar vochtgehalte (tussen pF 2 en pF 2.5) is vergelijkbaar in beide bodems.

Met behulp van de boorgatenmethode werd de Ksat van de tweede horizont bepaald, 0.22-0.54 m/dag (matig langzaam). Deze bodem wordt geklasseerd als licht zandleem en volgens de



handmatige bepaling als lemig zand. De Ksat-waarden berekend volgens de parametrische modellen zijn van dezelfde grootte orde. De Ksat-waarden van de bouwlaag (zandleem tot zware zandleem) vallen in dezelfde beoordelingsklasse: matig langzaam. Met uitzondering van de tweede bodemlaag in plot Z5 werden, zowel voor de bouwlaag als de tweede horizont, veel hogere waarden bekomen met de labometrische bepaling, 1.11 tot 2.99 m/dag (matig tot matig vlug).

Het proefveld wordt gekenmerkt door een diepe en sterk variabele grondwaterstand. De variabiliteit van het grondwaterniveau uit zich zowel in tijd als in ruimte. Tijdens de teeltcyclus van de bloemkool (begin juni-eind augustus) schommelde de grondwatertafel tussen 60 en 177 cm onder maaiveld. De diepste en ondiepste grondwatertafel werden aangetroffen onder respectievelijk het regime pF 2.5/2.5 (overkapping) en het regime pF 2.5/2.5. Gemiddeld werd een verschil van 41 cm opgemeten tussen de diepste en ondiepste grondwaterstanden die op hetzelfde tijdstip werd gemeten, met een maximum van 79 cm verschil. Dit verschil werd genoteerd net na de grote neerslaghoeveelheden van 4 juli 2005. Door deze zware regenval duurde het tot ongeveer 20 augustus vooraleer de grondwatertafel na een wekenlange daling terug begon te stijgen.

Tijdens de teelt van spruitkool (eind mei-begin december) schommelde de grondwatertafel tussen 47 en 186 cm onder maaiveld. De diepste grondwaterstand kwam voor bij het regime pF 3.1/2.8 (overkapping) en de ondiepste grondwatertafel bevond zich onder de behandeling pF 2.8/2.8. Gemiddeld werd een verschil van 31 cm opgemeten tussen de diepste en ondiepste grondwaterstanden die op hetzelfde tijdstip werd gemeten, met een maximum van 80 cm verschil net na de hevige regenval van 4 juli.

Naarmate het seizoen vorderde, daalde de grondwatertafel, enkel rond eind augustus werd een stijging van de grondwatertafel opgemeten na enkele fikse buien. Door het droge najaar bereikte de grondwatertafel in de tweede helft van oktober nog steeds een laag peil. Pas vanaf eind november steeg de grondwatertafel terug aanzienlijk.

De vocht karakteristieken, de verzadigde hydraulische conductiviteit en grondwaterstanden van het proefveld in Rumbeke worden in Bijlage 4 tot Bijlage 7 voorgesteld. De penetrografie is eveneens opgenomen in bijlage 6 van het tussentijdse verslag van eerste onderzoeksjaar.

## 2.5.2. *Klimaatanalyse*

### 2.5.2.1. *Klimaatomstandigheden tijdens de bloemkool- en spruitkoolteelt in 2005 te Sint-Katelijne-Waver*

(Bijlage 8, Tabel 8.1)

Te Sint-Katelijne-Waver werd in 2005 een bloemkoolteelt opgezet met uitplanting op 14/06 en oogst tot 29/08 en een spruitkoolteelt met uitplanting op 18/5 en oogst op 4/10 en 28/11/05. Qua temperatuur was 2005 warmer dan normaal (+ 1.2 °C).

Wat betreft de neerslag waren juni en de maanden vanaf september droger dan normaal; globaal viel er in 2005 als neerslag 71 liter/m<sup>2</sup> minder dan normaal (764 l/m<sup>2</sup>).

De instraling lag hoger voor alle maanden behalve juli. Globaal lag de instraling 22374 joule/cm<sup>2</sup> hoger in 2005 t.o.v. normaal.

Algemeen kan gesteld worden dat het teeltjaar 2005 warmer (+ 1.2 °C), droger (- 71 l/m<sup>2</sup>) en vooral zonniger (+ 22374 J/cm<sup>2</sup>) is uitgevallen dan normaal.

### 2.5.2.2. *Klimaatomstandigheden tijdens de bloemkool- en spruitkoolteelt in 2004 te Rumbeke*

Te Rumbeke werd de bloemkoolteelt in 2005 uitgeplant op 2/06; de oogst in openlucht liep tot 26/08; onder overkapping werd geoogst tot 31/08. De spruitkoolteelt werd geplant op 25/05 waarna de oogst plaats vond op 2/12/05.

De klimaatanalyse is weergegeven in Bijlage 8, Tabellen 8.2. en 8.3.

De temperaturen opgemeten in Rumbeke tonen aan dat de gemiddelde temperatuur in 2005 0.8 °C hoger was dan normaal. Wat betreft de neerslag was mei, juli (voornamelijk te wijten aan de grote neerslag van 04/07) en augustus natter dan normaal terwijl september, oktober en november terug droger waren dan normaal. Globaal viel er van mei tot november 97 l/m<sup>2</sup> meer neerslag in 2005 dan normaal. De instraling lag steeds hoger met uitzondering van juli die als normaal beschouwd kan worden. Globaal lag de instraling 40124 J/cm<sup>2</sup> hoger in de periode mei-november 2005 t.o.v. normaal.

Algemeen kan gesteld worden dat het in Rumbeke van mei tot en met november 2005 warmer (+ 0.8 °C), natter (+97 l/m<sup>2</sup>) en zonniger (+ 40124 J/cm<sup>2</sup>) was dan normaal.

### 2.5.2.3. *Invloed van de overkapping op het microklimaat in 2005 te Sint-Katelijne-Waver*

(Bijlage 9, Figuren 9.1 tot 9.5.)

Gedurende 4 seizoenen van 2000 tot 2003 is gebleken dat de invloed van de overkapping op temperatuur en relatieve vochtigheid eerder gering was omwille van de open structuur van de afscherming.

De klimatologische gegevens van 2005 zijn een bevestiging hiervan.

Zowel tijdens relatief warme periodes als tijdens koudere periodes blijken ook in het seizoen 2005 de temperatuurschommelingen onder de overkapping kleiner dan in openlucht. Even hoge maximumtemperaturen en lagere minimumtemperaturen worden geregistreerd in openlucht (Bijlage 9, Figuren 9.1 tot en met 9.4). Over het ganse seizoen 2005 ligt de gemiddelde etmaaltemperatuur dan ook nagenoeg gelijk onder overkapping en in openlucht (Bijlage 9, Figuur 9.2).

Het belangrijkste effect van de overkapping situeert zich op het vlak van de instraling.

Te Sint-Katelijne-Waver werd in 2004 vastgesteld dat de reductie van de lichtintensiteit onder overkapping gemiddeld 23 % bedroeg.

Daar waar in het verleden met de houten constructie gemiddeld 31 % lichtreductie werd vastgesteld, bleef deze in 2004 beperkt tot 23 %. De minder zware en hogere boogconstructie verkleinde in 2004 de lichtreductie van de afscherming.

In 2005 werd periodiek de invloed van de overkapping op de instraling geëvalueerd aan de hand van dagelijkse stralingsmetingen in openlucht en onder de afscherming met behulp van pyranometers (Joule/cm<sup>2</sup>) (Bijlage 9, Figuur 9.5.).

Ook in 2005 stelden we daarbij een lichtreductie vast onder de afscherming t.o.v. openlucht, en wel een van ± 28 %. Deze verhoogde reductie t.o.v. de 23 % in 2004 is mede veroorzaakt door de veroudering van de plastic die niet vernieuwd werd in 2005.

### 2.5.3. *Vochtbalansen, algemeen*

De vochtbalansen en de bespreking hiervan voor het seizoen 2004 werden weergegeven in het betreffende rapport over 2004. Deze balansen en bespreking werden niet hernomen in het huidige rapport.

Alle vochtbalansen voor het seizoen 2005 evenals bijhorende overzichtstabellen en –figuren worden voorgesteld in Bijlage 10.

Enkele algemene toelichtingen:

- In de grafische weergave van de vochtbalansen worden vanzelfsprekend neerslag en berekening weergegeven. Daarnaast is de maximale hoeveelheid opneembaar vocht aangegeven die in de bouwlaag (TAW<sub>max1</sub>) en in de diepere laag (TAW<sub>max2</sub>) beschikbaar kan zijn. Deze maxima variëren in functie van de grondwaterstand bij hoge grondwaterstanden gezien de evenwichtsvochtspanning in deze lagen sterk daalt, lager dan veldcapaciteit, bij hoge grondwaterstanden (op minder dan ca 1.20 m-mv).
- De grafieken geven eveneens de meetwaarden weer van beschikbare vochtreserve in de bouwlaag en in de onderliggende bodemlaag.
- De beschikbare vochtreserve werd modelmatig benaderd (TAW<sub>act</sub>), doch *zonder rekening te houden met capillaire nalevering*. Hierdoor wordt de reële beschikbare vochtreserve doorgaans onderschat.
- Indien bij het begin van de groeicyclus de eerste meetwaarde van beschikbare vochtreserve meer dan 5 mm afweek van de gesimuleerde waarde, dan werd een eenmalige correctie doorgevoerd in de gesimuleerde waarde (bv. onder kap, en spruitkoolvelden, Sint Katelijne Waver).
- De aansturing van de berekening is gebeurd op basis van de voortdurende meetwaarden en op basis van de verwachte evolutie van de beschikbare vochtreserve a.h.v. simulatie en weersverwachting (ET<sub>o</sub> en neerslag).

#### 2.5.4. Vochtbalansen bloemkool- en spruitkoolteelt te Sint-Katelijne-Waver 2005

##### 2.5.4.1. Vochtbalansen bij bloemkoolteelt

De bodems van de proefpercelen beschikken over een grote vochtreserve tussen veldcapaciteit en pF 2.5. Hierdoor bestaat een relatief lang uitdrogingstraject bij drogend weer vooraleer de berekening start.

Door droogte en een hoge verdampingsvraag in de loop van de maand juni daalde de bodemvochtvoorraad snel zodat in de laatste decade van juni op alle regimes diende beregend te worden. De verschillen in drempelwaarden (pF 2.5 en 2.8) zijn beperkt zodat de eerste beregeningsdatum niet zeer verschilde tussen de regimes.

Eind juni – begin juli volgde een neerslagrijke periode waardoor de bodem van vrijwel alle behandelingen nagenoeg terug op veldcapaciteit werd gebracht.

De droge periode van midden juli noodzaakte terug tot beregening.

Vanaf eind juli tot aan de oogst van begin september viel geregeld neerslag, bleef de vochtvraag relatief beperkt. Afhankelijk van uitdrogingsgraad (aangegeven door de metingen) en regime werd in deze periode bijkomend beregend. De capillaire nalevering heeft in deze periode gevoelig gespeeld gezien de simulatie van de vochtreserve in de bouwlaag gevoelig droger aangeeft dan de vochtmetingen.

De berekeningen van de regimes onder kap werden eveneens aangestuurd door de metingen. De gesimuleerde waarden bleven eveneens onder de gemeten waarden, hier te verklaren omwille van twee redenen. Naast de capillaire nalevering, kan men eveneens aannemen dat de vochtvraag van het gewas onder kap eveneens lager ligt dan deze van het gewas in openlucht, door de verminderde straling onder kap.

Het volgende overzicht vat de belangrijkste elementen samen in de realisatie van de regimes.

	Vegetatieve ontwikkeling	Generatieve ontwikkeling
P1 (2.5-2.5)	Nattere ligging van het proefvlak waardoor 1 <sup>ste</sup> berekening samenvalt met deze van P4 en van P5	1 maal berekend tijdens de aanvang van de bloemkoolvorming
P2 (2.5-2.8)	Vroegste berekening	Niet berekend, mede door de capillaire nalevering
P3 (2.8-2.5)	Enigszins droge ligging van het regime waardoor vroege beregeningsstart	3 maal berekend in de aanvang
P4 (2.8-2.8)	Latere beregeningsstart	1 maal berekend tijdens de aanvang van de bloemkoolvorming
P5 (2.8-2.8)	idem	idem
L6 (2.5-2.5)	15 beregeningen, aan het einde van de cyclus zeer vochtig	
L7 (2.8-2.8)	15 beregeningen, latere start en kleinere dosissen in de aanvang dan bij L6	

In het bijzonder het regime P1 (2.5-2.5) ligt op een perceel waar de grondwaterstand gemiddeld hoger lag. Deze varieerde tussen ca 100 cm en 80 cm onder maaiveld en steeg zelfs enkele malen tot minder dan of ca 50 cm onder maaiveld. Tijdens deze laatste periodes wordt de bodemlaag 30-60 cm deels verzadigd en is het vochtgehalte in de bouwlaag tijdelijk extreem hoog, hetgeen bevestigd werd door de metingen van 5 juli 2005. Dergelijke omstandigheden kunnen zeer ongunstig zijn voor de plantontwikkeling door mogelijk zuurstofgebrek ter hoogte van de wortels en tijdelijk verminderde N-opname.

#### 2.5.4.2. Vochtbalansen bij spruitkoolteelt

De overgang naar de spruitkoolvorming deed zich voor rond 10 augustus.

De droge periodes van juni en midden juli lieten toe dat de geplande interventiedrempels voor de verschillende regimes werden gehaald tijdens de stengelontwikkeling. De neerslag van eind juni - begin juli zorgde dat op alle regimes, behalve bij pF3.1, in open lucht tijdelijk terug nagenoeg veldcapaciteit voorkwam.

Door het minder eisende weer van augustus en september, tijdens de spruitontwikkeling, diende enkel op de nattere regimes berekend te worden. In de droge regimes (pF 3.1) kon de gewenste uitdroging niet worden gehaald doordat voldoende neerslag voorkwam, maar zeker ook door de capillaire nalevering vanuit de hoge grondwaterstand.

Onder kap (K8 en K9) merkt men dat bij grote daling van de vochtreserve in de bouwlaag (en toename van de vochtspanning tot pF 3.1), de vochtreserve in de onderliggende bodemlaag eveneens dermate zakt dat de capillaire nalevering niet meer volstaat om dit aan te vullen, ondanks de hoge grondwaterstand (1 à 1.20 -mv). Bij een intensievere berekening in de tweede helft van de cyclus (K8), wordt minder water opgenomen uit de onderliggende laag en laat de capillaire nalevering de vochtreserve terug toenemen naar veldcapaciteit. In het minder intensieve regime (K9) gebeurt dit aanvankelijk niet. Slechts tegen het einde van het seizoen, vanaf september - oktober, wanneer de vochtvraag daalt neemt, zal dit wel gebeuren.

De afscherming van de regimes onder kap (K8 en K9), werd weggenomen midden oktober, in de aanname dat in een normale teelt nooit nog na deze datum zou berekend worden.

Algemeen bleef het vochtgehalte van de onderliggende bodemlaag bij alle vochtige regimes op veldcapaciteit of in evenwicht met het grondwater gedurende de hele teeltcyclus. Ook bij de drogere regimes in open lucht is tijdens uitdrogingscycli (na felle regen en/of na

berekening) nauwelijks een daling van de vochtreserve waarneembaar in de onderliggende bodemlaag.

Het volgende overzicht vat de belangrijkste elementen samen in de realisatie van de regimes.

	Stengelontwikkeling	Spruitontwikkeling (vanaf ca 10 augustus)
B1 (2.5-2.8)	Eerst beregend regime, midden juni. Matig intensief beregend	Vochtvoorziening in hoofdzaak door capillaire nalevering en neerslag. Slechts 1 berekening nodig,
O2 (2.8-2.5)	Start berekening tweede helft juni. intensief beregend	3 berekeningen in augustus – begin september
O3 (2.8-2.8)	idem	3 berekeningen, later dan in regime O2, tot eind september
O4 (2.8-3.1)	idem	Geen berekening, capillaire nalevering en neerslag; pF 3.1 werd nooit bereikt
O5 (3.1-2.8)	pF 3.1 vrijwel bereikt eind juni en midden juli. 1 maal beregend eind juni.	Intensief beregend
O6 (3.1-3.1)	idem	Geen berekening; capillaire nalevering en neerslag waardoor slechts pF 2.8 à 2.9 werd bereikt.
O7 (3.1-3.1)	idem	idem
K8 (3.1-2.8)	Start berekening begin juli. Intensieve berekening.	Intensievere berekening rond half augustus zodat de vochtspanning afnam zoals voorzien in de tweede helft van de cyclus.
K9 (3.1-3.1)	Start berekening eind juni. Intensieve berekening.	Minder intensieve berekening.

### 2.5.5. *Vochtbalansen bloemkool en spruitkoolteelt te Rumbeke 2005*

Door een defect in het irrigatiesysteem kon niet vroeger dan 20 juni worden beregend. Op enkele regimes was op dat ogenblik de geplande irrigatiedrempel reeds ruim overschreden. Het is ook de reden waarom op vrijwel alle proefvlakken op of kort na die datum werden beregend.

Op alle proefvlakken heeft de uitzonderlijk hoge neerslag van begin juli (> 90 mm) de bodemvochttoestand terug op veldcapaciteit gebracht.

#### 2.5.5.1 *Vochtbalansen bij bloemkoolteelt*

Algemeen geldt dat aan het einde van de vegetatieve ontwikkeling en aan het einde van de bloemkoolvorming de vochtvoorziening maximaal was door meer dan voldoende neerslag.

De differentiatie in de regimes was slechts mogelijk tijdens de midden-vegetatieve ontwikkeling en in de aanvang van de bloemkoolvorming

Het volgende overzicht vat de belangrijkste elementen samen in de realisatie van de regimes.

	Vegetatieve ontwikkeling	Generatieve ontwikkeling
Z10 (2.5-2.5)	Het regime werd gerealiseerd door cap. nalevering en beregening	Het regime werd gerealiseerd door cap. nalevering en beregening
Z11 (2.5-2.5)	De vochtspanning is toegenomen tot pF 2.8 vooraleer - intensief - beregend kon worden	Het regime werd gerealiseerd door cap. nalevering en intensieve beregening
Z12 (2.5-2.8)	Het regime werd gerealiseerd door cap. nalevering en beregening	Het regime werd gerealiseerd door cap. nalevering en beregening
Z13 (2.8-2.5)	Het regime werd gerealiseerd door cap. nalevering en beregening	Het regime werd gerealiseerd door cap. nalevering en intensieve beregening
Z14 (2.8-2.8)	Het regime werd gerealiseerd door cap. nalevering en beregening	Het regime werd gerealiseerd door cap. nalevering en intensieve beregening
Z15 (2.5-2.5)	17 beregeningen, met duidelijk invloed van cap. nalevering	
Z16 (2.8-2.8)	14 beregeningen, met kleinere dosissen in de aanvang dan bij Z15, met duidelijk invloed van cap. nalevering	

### 2.5.5.2 Vochtbalansen bij spruitkoolteelt

Spruitkool werd een 10-tal dagen voor de bloemkool uitgeplant. Begin mei was eerder nat waardoor bij aanvang van de teelt de bodemvochtreserve voldoende hoog lag.

Op 13 juni had een testberegening plaats met 3 mm. Deze is verder niet significant.

Het feit dat door een defect niet kon beregend worden voor 20 juni, had enkel gevolgen voor proefvlak Z1. Hierdoor kon in de aanvang van de stengelontwikkeling geen differentiatie gemaakt worden tussen de zone Z1 en de zones Z2 tot Z5.

Vanaf eind juli, over augustus, tot in het najaar viel veel neerslag zodat vanaf half september het vochtgehalte van de bodem doorgaans rond veldcapaciteit bleef tot aan de oogst.

Het volgende overzicht vat de belangrijkste elementen samen in de realisatie van de regimes.

	Stengelontwikkeling	Spruitontwikkeling (vanaf ca 15 augustus)
Z1 (2.5-2.8)	Te late start waardoor eerder pF 2.8 werd bereikt. Later zeer intensief beregend	1 beregening, waarna meer dan voldoende neerslag en capillaire nalevering
Z2 (2.8-2.5)	Eerder te intensieve beregening	Meerdere beregeningen, ruim voldoende neerslag en capillaire nalevering
Z3 (2.8-2.5)	Correcte beregening	idem
Z4 (2.8-2.8)	Correcte beregening	1 beregening, waarna meer dan voldoende neerslag en capillaire nalevering
Z5 (2.8-3.1)	Correcte beregening	ruim voldoende neerslag en capillaire nalevering zodat pF 2.8 niet werd overschreden
Z6 (3.1-2.8)	vooropgestelde uitdrogingsgrens nagenoeg bereikt	1 beregening, waarna meer dan voldoende neerslag en capillaire nalevering.
Z7 (3.1-3.1)	vooropgestelde uitdrogingsgrens nagenoeg bereikt	ruim voldoende neerslag en capillaire nalevering zodat pF 2.8 niet werd overschreden
Z8 (3.1-2.8)	Correcte beregening	Correcte beregening
Z9 (3.1-3.1)	Correcte beregening	Correcte beregening

Omwille van effecten van de neerslag en capillaire nalevering op de bodemvochttoestand, zijn de regimes Z3, Z4 en Z5 vergelijkbaar, en zijn regimes Z6 en Z7 vergelijkbaar.

## 2.6. Bepaling van het beregeningsschema voor bloemkool

### 2.6.1. Bloemkoolteelt te Sint-Katelijne-Waver

Klimatologisch was juni in 2005 warmer, zonniger en droger dan normaal. Juli was eveneens warmer maar wel somberder met meer neerslag. Augustus tenslotte was frisser maar met iets meer licht en neerslag.

Bij de bloemkoolteelt met uitplanting op 14/6/2005 en oogst tot 29/8/2005 werd in openlucht vijfmaal tot achtmaal beregend, namelijk in de vegetatieve fase 4 à 5 x en in de bloemkopontwikkelingsfase 1 à 3 x. Aldus kreeg<sup>2</sup> de teelt van 289 l/m<sup>2</sup> tot 337 l/m<sup>2</sup> (neerslag + beregening) (Bijlage 10, Tabellen 10.1 en 10.2 en Figuur 10.1).

Onder de afscherming daarentegen werd het natte regime (pF 2.5; 2.5) veertienmaal beregend en kreeg aldus 269.5 l/m<sup>2</sup>.

Het droge regime onder afscherming (pF 2.8; 2.8) moest eveneens veertienmaal geïrrigeerd worden en ontving aldus 263.5 l/m<sup>2</sup>.

#### 2.6.1.1. Vegetatieve ontwikkeling

Om de 2 weken werden een aantal gewasparameters bepaald. Het betreft de totale plantlengte, het aantal aangelegde bladeren en de gewasdichtheid. Op de staalnamedata 18/7 en 9/8 werden eveneens het plantgewicht en het droge stofgehalte bepaald.

De metingen qua gewasontwikkeling staan samengevat in Bijlage 11, Tabellen 11.1 tot en met 11.3 en zijn grafisch weergegeven in de Figuren 11.1 tot en met 11.3. De resultaten van de staalnames op 18/7 en 9/8 zijn samengevat in Bijlage 11, Tabel 11.4.

Wat de plantlengte betreft is het zo dat in openlucht er geen verschillen in plantlengte worden vastgesteld met wel iets langere planten op het droge regime (pF 2.8; 2.8). Onder afscherming zijn de planten significant langer in vergelijking met de planten in openlucht. De planten op het natte regime onder afscherming (pF 2.5; 2.5) waren het langst.

Naar aantal aangelegde bladeren waren er eveneens geen verschillen waar te nemen tussen de behandelingen. Het aantal bladeren per plant is wel hoger onder de afscherming.

Uit de bodembedekkingsgraad blijkt dat de planten onder de afscherming en dan vooral op het middelmatig droge regime de bodem minder snel bedekten tussen 20/6 en 18/7 en dus trager ontwikkelden dan de planten in openlucht. Zelfs op 16/8 bij het begin van de oogst, bedekten de planten onder de afscherming de bodem significant minder dan de planten in openlucht.

Bij de staalname op 18/7 werden er in openlucht geen significante verschillen qua plantgewicht waargenomen. Onder de afscherming wogen de planten wel lichter, zeker op het natte regime. In plantlengte zijn er geen significante verschillen, al zijn de planten onder afscherming wel iets langer.

Bij de staalname op 9/8 vinden we de hoogste plantgewichten in openlucht bij de beregeningsregimes pF 2.8; 2.5 en pF 2.8; 2.8. Onder de afscherming blijven de planten op het natte regime lichter wegen, zijn ze iets langer en hebben iets meer blad dan de planten in openlucht.

#### 2.6.1.2. Opbrengst - en kwaliteitsbepaling

Algemeen oogstverloop (Tabel 11.5 in Bijlage 11)

In 2005 werd er bij de bloemkool met uitplanting op 14/6 in 6 beurten geoogst van 16/8 tot 29/8. In verband met het oogstverloop is het opvallend dat in 2005 de ontwikkeling onder de

afscherming trager verliep dan in openlucht maar ook heterogener. Zo waren op de laatste oogstdatum nog 20 % kolen op het middelmatig droge regime onder afscherming niet marktbaar.

In openlucht waren de planten de eerste helft van de oogstperiode sneller op het vegetatief natte regime.

Opbrengst (Tabel 11.6 in bijlage)

In openlucht werden er geen significante verschillen waargenomen qua gemiddeld koolgewicht met wel het hoogste koolgewicht op de droge regimes in de generatieve fase. Onder afscherming wogen de kolen lichter dan in openlucht en hier werd het hoogste koolgewicht bekomen bij de planten op het droge regime pF 2.8; 2.8.

Kwaliteit (Tabellen 11.6 en 11.7 in bijlage)

In het percentage extra-kolen werden er geen significante verschillen vastgesteld met wel de tendens van meer extra in de drogere regimes. Het hoogste aantal Klas I-kolen werd er gesneden op het natte regime pF 2.5; 2.5.

Onder afscherming lag het % extra lager, vooral in het natte regime.

De verhouding blad / kool ligt hoger onder afscherming dan in openlucht met in openlucht de tendens naar een hogere blad/kool-verhouding op de drogere regimes.

De kooldiameter is het kleinst bij de kolen op het natte regime onder de afscherming.

#### 2.6.1.3. Ziekteaantasting

Bij de bloemkoolteelt in 2005 werden er geen verschillen in ziekteaantasting vastgesteld tussen de verschillende irrigatiebehandelingen.

Zowel de koolvlieg als de rups- en luisbestrijding (Tabel 2.3.) verliepen voldoende efficiënt.

Valse meeldauw, witte roest, spikkelziekte en stip kwamen in deze bloemkoolteelt niet voor.

Knolvoetaantasting werd vermeden door de aanplant van de resistente bloemkoolvariëteit Clapton.

#### 2.6.1.4. Stikstofhuishouding

(Bijlage 6: Stikstofanalyses van bodem en gewas)

*Bij gelegenheid van het tussentijdse rapport na het eerste onderzoeksjaar 2004 werd nog geen verslag gedaan van de opvolging van de stikstofhuishouding. Dit verslag volgt hier.*

Het perceel van de bloemkolen werd in 2004 na bodemanalyse volgens advies door de Bodemkundige Dienst van België bemest met een dosis van 170 kg N/ha.

Na de bloemkoolteelt bedroeg het stikstofniveau in de bodem voor alle behandelingen ongeveer 60 kg/ha. Het stikstofniveau in de bodem was na de natte behandelingen systematisch lichtjes lager dan het stikstofniveau na de droge behandelingen. Deze trend kan duiden op stikstofuitspoeling bij de vochtigere behandelingen. Er werd geen verschil waargenomen tussen de teelt onder kap en de teelt in openlucht.

Op het einde van de groeicyclus werden in de bloemkool de stikstofconcentratie in de plant bepaald. Tussen de verschillende behandelingen in openlucht werden er geen noemenswaardige verschillen opgemerkt. Onder kap was de stikstofconcentratie bij behandeling pF 2.8/2.8 licht hoger dan de stikstofconcentratie onder behandeling pF 2.5/2.5.



De analyse van de stikstofconcentratie in de bloem van de bloemkool gaf aan dat de concentratie  $\text{NH}_4$  en  $\text{NO}_3$  hoger was voor de bloemkolen geteeld in openlucht dan voor de bloemkolen geteeld onder afscherming. Dit gold voornamelijk voor  $\text{NH}_4$  concentratie en in mindere mate voor de concentratie  $\text{NO}_3$ . Eenzelfde trend werd waargenomen bij de  $\text{NH}_4$  en  $\text{NO}_3$  concentratie in het blad van de bloemkolen. Er werden echter geen significante verschillen vastgesteld. De verschillen in  $\text{NH}_4$ -concentratie zijn mogelijk te verklaren door een snellere mineralisatie van afstervend bladmateriaal aan het einde van de cyclus in de nattere openluchtomstandigheden.

Samengevat wordt onder de vochtigere behandelingen na de teelt minder stikstof teruggevonden in de bodem. Gezien geen hogere plantopname werden vastgesteld, vormen hogere verliezen door uitzakking (doorspoeling) van de stikstof een mogelijke verklaring.

Ook in 2005 werd na analyse bemest volgens advies van de Bodemkundige Dienst van België.

De stikstofinhoud in de bodem bij de bloemkolen geteeld in openlucht in 2005 bedroeg ongeveer 40 kg/ha. Na de natte behandelingen was het stikstofniveau in de bodem lichtjes lager dan na de droge behandelingen.

Onder kap bedroeg de stikstofinhoud in de bodem 50 kg N/ha voor behandeling pF 2..5/2.5 en 105 kg N/ha voor behandeling 2.8/2.8. Ook onder kap was het stikstofniveau in de bodem lager na de nattere behandeling. De stikstofinhoud in de bodem na de bloemkoolteelt was onder de kap duidelijk hoger dan in openlucht.

Op het einde van de groeicyclus werd bij de bloemkool een staal genomen van de bloem en van het blad ter bepaling van de stikstofconcentratie. Zowel onder kap als in openlucht was de concentratie het hoogst bij behandeling pF 2.8/2.8. Vooral in het blad werd bij de behandeling pF 2.8/2.8 meer stikstof opgenomen.

Samengevat is de N-opname licht hoger onder de droge behandelingen. Gezien de N-reserve in de bodem aan het eind van het seizoen onder de natte behandelingen lager ligt zou dit erop wijzen dat er bij deze behandeling meer uitspoeling optreedt.

#### 2.6.1.5. *Samenvatting bloemkoolteelt 2005 Sint-Katelijne-Waver (Tabel 11.8 in bijlage)*

Klimatologisch was juni in 2005 warmer, zonniger en droger dan normaal. Juli was eveneens warmer maar wel somberder met meer neerslag. Augustus tenslotte was frisser maar met iets meer licht en neerslag.

Bij de bloemkoolteelt in 2005 te Sint-Katelijne-Waver die liep van 14/6 tot 29/8 diende in openlucht vijf- tot achtmaal beregend te worden en kreeg de teelt een globale watergift (beregening + neerslag) van 289 tot 337 l/m<sup>2</sup>.

Onder afscherming kreeg de teelt 270 l/m<sup>2</sup> (nat regime) of 264 l/m<sup>2</sup> (middelmatig droog).

In openlucht resulteren de verschillende beregeningsregimes in een gelijklopend groeipatroon wat betreft de plantlengte, het aantal aangelegde bladeren en de bodembedekkingsgraad. Bij aanvang van de oogst waren de nattere regimes iets sneller maar globaal gezien was de kwaliteit beter op de drogere regimes (meer extra; minder Klas I). De blad/kool-verhouding lag eveneens hoger op de drogere beregeningsregimes. De stikstofopname was eveneens gevoeliger beter onder het iets drogere regime.

Onder de afscherming ontwikkelden de planten trager, vooral op het natte regime. Het drogere regime leverde hier dan weer een hoger koolgewicht en meer extra-kolen op.

## 2.6.2. Bloemkoolteelt te Rumbeke

### 2.6.2.1 Vegetatieve ontwikkeling

Bij de bloemkoolteelt werd in openlucht in de vochtigste percelen (Z10, Z11 en Z12) 6 tot 11 keer beregend; bij de matig droge regimes (Z13 en Z14) werd 7 of 8 maal beregend. Alle objecten kregen 306.3 l/m<sup>2</sup> neerslag en de irrigatiehoeveelheden schommelden van 97.0 l/m<sup>2</sup> tot 213.5 l/m<sup>2</sup> in het vochtigste regime (Bijlage 10, Tabellen 10.5 en 10.6 en Figuur 10.5).

Bij het natte regime (pF 2.5/2.5) onder afkapping werd 16 maal beregend waarbij in totaal 265.5 l/m<sup>2</sup> toegediend werd. Het droge regime onder afkapping (pF 2.8/2.8) werd 13 maal geïrrigeerd en ontving 202.0 l/m<sup>2</sup>. Omdat de teelt ruim twee maand overkapt werd, was er onder overkapping geen enkele bovengrondse watertoevoer in vergelijking met 306.3 l/m<sup>2</sup> neerslag in openlucht.

Ongeveer om de 2 weken werden een aantal gewasparameters bepaald. Het betreft de plantlengte (voet-hart), het aantal bladeren en de bodembedekkingsgraad. Op 22/06, 18/07 en 18/08 werden eveneens het plantgewicht en het droge stofgehalte van de totale plant bepaald. De metingen betreffende de gewasontwikkeling staan samengevat in Bijlage 13 in de tabellen 13.1 t.e.m. 13.5 terwijl de parameters plantlengte, aantal bladeren en bodembedekkingsgraad eveneens grafisch zijn weergegeven in de Figuren 13.1 tot en met 13.3.

In openlucht ligt het plantgewicht bij de oogst op 18/08 het hoogst bij het vochtige regime (pF 2.5/2.5) gevolgd door het droge regime (pF 2.8/2.8). Bij het regime met dezelfde vochtige behandeling (pF 2.5/2.5 controle) daarentegen wordt het laagste plantgewicht opgetekend. De planten stonden daar op het einde van de teelt inderdaad duidelijk minder goed. Onder afkapping ligt het plantgewicht op 18/07 hoger bij het drogere regime terwijl op het einde van de teelt een hoger plantgewicht gehaald wordt in het vochtige regime. Gemiddeld genomen worden er geen verschillen vastgesteld tussen het plantgewicht in openlucht en onder afkapping.

Op 18/08 en 24/08 ligt het droge stofgehalte van de totale plant voor de meeste behandelingen in openlucht rond de 9.0 %, enkel het regime pF 2.5/2.8 heeft een iets lager droge stofgehalte (= 8.0 %) en leunt daarmee dichterbij de behandelingen onder afkapping. Bij de roosjes ligt het droge stofgehalte per behandeling iets lager dan bij de totale plant maar zijn dezelfde tendensen zichtbaar. Gemiddeld gezien ligt het droge stofgehalte, zowel van de totale plant als van de roosjes, in openlucht hoger dan onder afkapping.

Wat plantlengte betreft, zijn de planten in openlucht op 19/07 het langst bij het vochtige regime pF 2.5/2.5 controle; onder afkapping worden geen verschillen vastgesteld tussen de behandelingen. Planten onder afkapping geteeld zijn steeds langer dan planten geteeld in hetzelfde regime in openlucht.

Het aantal bladeren in openlucht is op 19/07 het laagst bij het vochtige (pF 2.5/2.5) en het matig droge regime (pF 2.8/2.8) en het hoogst bij het regime pF 2.8/2.5; onder afkapping zijn er op dit tijdstip meer bladeren bij het matig droge regime. Gemiddeld genomen is er geen verschil tussen het aantal bladeren per plant in openlucht of onder afkapping.

Uit de bodembedekkingsgraad blijkt dat de planten in openlucht trager de bodem bedekken. De regimes die afwisselend vochtig en matig droog waren (pF 2.5/2.8 en pF 2.8/2.5) hadden de hoogste graad van bodembedekking. Onder afkapping was er geen verschil tussen de irrigatieregimes.

### 2.6.2.2 Opbrengst - en kwaliteitsbepaling

In openlucht begon de oogst op 10/08 terwijl deze onder afkapping pas ten volle startte op 22/08 (Tabel 13.6). In openlucht verliep de oogst nogal onregelmatig; aanvankelijk startte die eerst bij het vochtige regime (pF 2.5/2.5) terwijl de oogst later het snelst verliep bij het matig droge irrigatieregime (pF 2.8/2.8). Onder afkapping verliep de oogst eerder gelijklopend.

Door de hevige neerslag van 4 juli werd vanaf dit tijdstip in alle objecten een hogere grondwatertafel geregistreerd dan in 2004. Globaal gezien volgt de grondwatertafel in elk object hetzelfde verloop. Net als in 2004 werd de opbrengst ook nu beïnvloed door de diepte van de grondwatertafel (Tabel 13.7 en Grafiek 7.2).

In openlucht werden de laagste opbrengsten (kg/are) bereikt bij de vochtige regimes (pF 2.5/2.5). Wellicht werden deze objecten door de vele gietbeurten te vochtig gehouden. Dit is duidelijk bij Z10 waar naast de vele irrigatiebeurten de ondiepe grondwatertafel bovendien nog zorgt voor een capillaire nalevering zodat de planten extra vocht krijgen. Bij het controle object (zelfde irrigatieregime) lag de grondwatertafel echter dieper waardoor, net als in 2004 het geval was, een hogere opbrengst verwacht zou worden omwille van het iets drogere milieu (minder capillaire opstijging). Dit bleek echter niet zo te zijn; de opbrengst lag zelfs iets lager en ook visueel stonden de planten op dit perceel duidelijk het slechts van alle objecten. In de andere objecten wordt onafhankelijk van het irrigatieregime ongeveer dezelfde opbrengst gehaald. De grondwatertafel lag in deze objecten ongeveer op dezelfde diepte. Hoewel de teelt bij deze regimes in één of beide teeltfase droger verliep dan bij de vochtige regimes was de watervoorziening voldoende om goede opbrengsten te behalen.

In openlucht wordt gemiddeld gezien een hogere opbrengst behaald dan onder afkapping. In tegenstelling tot het matig droge regime onder afkapping waar de grondwatertafel dieper zit dan bij hetzelfde regime in openlucht zorgt de ondiepere grondwatertafel in openlucht wellicht voor een vochtcompensatie met hogere opbrengsten tot gevolg.

Onder afkapping werd weinig verschil opgemeten in opbrengst tussen de 2 regimes. Wellicht zorgt de minder diepe grondwatertafel bij het matig droge regime voor capillaire opstijging waardoor dezelfde opbrengst behaald wordt als bij de planten geteeld in het vochtige regime. Globaal kan gesteld worden dat hoe dieper de grondwatertafel zit, hoe kleiner het effect ervan is.

De sortering van de kool wordt besproken in Tabel 13.8. In openlucht werden in de twee vochtige regimes (pF 2.5/2.5) de laagste percentages extra-kolen behaald. De 3 andere regimes gaven hetzelfde percentage extra-kolen. De sortering van het controle regime (pF 2.5/2.5) scoorde in het algemeen slecht.

Onder afkapping lag het % extra kolen hoger in het matig droge regime. Beide regimes onder afkapping gaven beduidend meer extra-kolen dan de regimes in openlucht (de metingen onder afkapping gebeurden wel slechts op 20 kolen i.p.v. 40 kolen in openlucht).

In openlucht kwamen bijna geen rotte kolen voor terwijl het vochtige regime onder afkapping rot in de hand werkte. Onder afkapping kwamen geen boorders voor. Gemiddeld gezien was er geen verschil in percentage ongroeiende kolen in openlucht of onder afkapping. Het hoogste percentage ongroeiende kolen kwam voor bij het vochtige regime in openlucht.

Wat gewassenmerken betreft (Tabel 13.9), scoren de vochtige regimes in openlucht minst op vlak van groeiwijze, bladmassa en bladgrootte. Het matig droge regime (pF 2.8/2.8) scoort goed voor gewasstand, groeiwijze en bladmassa. Onder afkapping wordt er weinig verschil tussen de behandelingen vastgesteld. De meeste kenmerken zoals gewasstand, gewas kleur, bladmassa en bladgrootte scoren gemiddeld hoger onder afkapping dan in openlucht.

Analyse van de koolkenmerken (Tabel 13.10) toont niet veel effect van de behandelingen, wel zijn de kolen in openlucht smaller en hoger dan deze onder afkapping. De vastheid van de krans en van de kool ligt echter hoger onder afkapping.

In openlucht is het % blad/totaal gewicht (Tabel 13.11) het hoogst bij het vochtige regime (pF 2.5/2.5) en bij het matig droog/matig vochtig regime (pF 2.8/2.5); onder afkapping is er geen verschil tussen de behandelingen. Het % blad/totaal gewicht is lager in openlucht dan onder afkapping; het % bloem/blad is hoger in openlucht.

#### 2.6.2.3 Ziekteaantasting

Bij de bloemkoolteelt in 2005 werden er geen verschillen in ziekteaantasting vastgesteld tussen de verschillende irrigatiebehandelingen. Zowel de koolvlieg als de rups- en luisbestrijding (Tabel 2.7 in Bijlage 2) verliepen voldoende efficiënt.

#### 2.6.2.4 Stikstofhuishouding

(Bijlage 6: Stikstofanalyses van bodem en gewas)

*Bij gelegenheid van het tussentijdse rapport na het eerste onderzoeksjaar 2004 werd nog geen verslag gedaan van de opvolging van de stikstofhuishouding. Dit verslag volgt hier.*

Het perceel van de bloemkolen werd in 2004 na bodemanalyse volgens advies door de Bodemkundige Dienst van België bemest met een dosis van 220 kg N/ha in openlucht en met 230 kg/ha onder kap

Na de bloemkoolteelt werden in 2004 op vier plots stalen genomen ter bepaling van de stikstofinhoud in de bodem. Er werden twee plots in openlucht bemonsterd en twee onder kap. De resultaten van deze analyse waren variabel. In openlucht was het stikstofniveau meer dan 360 kg N/ha na behandeling pF 2.8/2.8, dit is bijna dubbel zo hoog als na behandeling pF 2.5/2.5. Mogelijk was er stikstofuitspoeling tijdens behandeling pF 2.5/2.5. Onder kap was het stikstofniveau van de natste behandeling daarentegen hoger dan het niveau van de drogere behandeling.

Op het einde van de groeicyclus werd de stikstofconcentratie in de bloem en in het blad van de bloemkool bepaald. De bepaling gebeurde bij vijf behandelingen in openlucht en twee onder kap. De NH<sub>4</sub> concentratie in het blad is opmerkelijk lager voor de bloemkolen onder kap. Tussen de bloemkolen in openlucht onderling werd er geen significant verschil waargenomen, net zoals tussen de bloemkolen onder kap.

Samengevat kan gesteld worden dat bij de natste behandelingen in 2004 mogelijk N-verlies door uitspoeling is opgestreden gezien geen verschillen in de opname konden worden vastgesteld.

Ook in 2005 werd na analyse bemest volgens advies van de Bodemkundige Dienst van België.

Na de bloemkoolteelt werd het stikstofgehalte in de bodem bepaald op zeven plots waarvan twee onder kap.

In openlucht was de stikstofreserve in de bodem het hoogste na behandeling pF 2.5/2.5 en pF 2.5/2.8. Onder kap was de stikstofreserve na beide behandelingen gelijk.

Deze bevindingen lijken deze van 2004 tegen te spreken.

### 2.6.2.5 Samenvatting bloemkoolteelt 2005 te Rumbeke

Tijdens de vegetatieve fase werd in openlucht bij de natte regimes (pF 2.5) vier tot zeven keer berekend, dit om een verschil te creëren met de overige behandelingen. De neerslag bij de aanvang van de generatieve fase bemoeilijkte het invoeren van de nieuwe vochtregimes. Vanaf 20 juli ontvingen de natte regimes (pF 2.5) in de generatieve fase 2-4 dosissen en de matig vochtige regimes (pF 2.8) 1-3 dosissen. De bovengrondse watertoevoer onder overkapping is globaal gezien 1/3 lager dan in openlucht.

De diepste grondwaterstanden worden aangetroffen onder de plotten onder overkapping, gevolgd door irrigatieregime pF 2.5/2.5 (controle) in openlucht. Het verloop van de grondwatertafel was in alle objecten uniform.

In openlucht zijn de planten langer bij het vochtige regime. De grootste graad van bodembedekking wordt bereikt bij irrigatieregimes die afwisselend vochtig en matig droog (pF 2.5/2.8 en pF 2.8/2.5) waren. Onder afkapping daarentegen worden voor beide parameters geen verschillen vastgesteld. In vergelijking met openlucht bevordert afschermen de plantlengte en de bodembedekkingsgraad maar is het droge stofgehalte onder afkapping lager. Zowel in openlucht als onder afkapping is het plantgewicht het hoogst bij het vochtigste regime (met uitzondering van het controle object). Tussen afkapping en openlucht worden geen verschillen vastgesteld op vlak van plantgewicht of op aantal bladeren.

In openlucht scoren de vochtige regimes het zwakst op vlak van groeiwijze, bladmassa en bladgrootte. Het matig droge regime (pF 2.8/2.8) scoort goed voor gewasstand, groeiwijze en bladmassa. Onder afkapping wordt er weinig verschil tussen de behandelingen vastgesteld. De meeste kenmerken zoals gewasstand, gewaskleur, bladmassa en bladgrootte scoren gemiddeld hoger onder afkapping dan in openlucht. De koolkenmerken worden niet veel beïnvloed door de behandelingen.

Het % blad/totaal gewicht is in openlucht het hoogst bij het vochtige regime (pF 2.5/2.5) en bij het matig droog/matig vochtig regime (pF 2.8/2.5); onder afkapping is er geen verschil tussen de behandelingen. Het % blad/totaal gewicht is lager in openlucht dan onder afkapping; het % bloem/blad daarentegen is hoger in openlucht.

In openlucht werden in de twee vochtige regimes (pF 2.5/2.5) de laagste percentages extra-kolen behaald. De 3 andere regimes gaven hetzelfde percentage extra-kolen. Onder afkapping lag het % extra kolen hoger in het matig droge regime (pF 2.8/2.8) terwijl algemeen onder afkapping het percentage extra-kolen hoger was dan in openlucht.

Overberekening leidt net als vorig jaar tot een vermindering van de opbrengst. In openlucht werden de laagste opbrengsten (kg/are) bereikt bij de vochtige regimes (pF 2.5/2.5). Indien de grondwatertafel bij deze regimes ondiep zit, is er bovendien nog een extra vochttoelevering door de capillaire nalevering. In de andere objecten wordt onafhankelijk van het irrigatieregime ongeveer dezelfde opbrengst gehaald. Hoewel de teelt droger verliep dan bij de vochtige regimes was de watervoorziening voldoende om goede opbrengsten te behalen.

Onder afkapping wordt gemiddeld gezien een lagere opbrengst behaald dan in openlucht. De opbrengst wordt eveneens beïnvloed door de grondwatertafel. Bij het matig droog regime in openlucht zit de grondwatertafel minder diep dan bij hetzelfde regime onder afkapping. Toch is de opbrengst in openlucht hoger wellicht door een vochtcompensatie door capillaire opstijging.

### 2.6.3. *Besluit en beregeningsstrategie voor de bloemkoolteelt*

De proeven aangelegd in 2004 en 2005 te Rumbeke en te Sint-Katelijne-Waver bevestigen dat zowel tijdens het vegetatief stadium als tijdens het stadium van de bloemkoolontwikkeling een lage bodemvochtspanning in de bouwlaag, t.t.z. een vochtige bodem, de optimale productie levert. Anderzijds daalt de productie bij zelfs tijdelijk te vochtige groeiomstandigheden waardoor ook stikstofverlies kan optreden..

Uit het IWT onderzoek 020592 (De Proost et al., 2003) kon voorlopig worden besloten dat beregening zowel tijdens de vegetatieve fase als tijdens de bloemkoolontwikkeling de plantontwikkeling stimuleert. De invloed van een vroeg beregening tijdens de vegetatieve fase bleef tot aan de oogst merkbaar. Er werd een duidelijke relatie gevonden tussen de voldoening aan de vochtvraag en het gemiddeld koolgewicht. Zowel voor de verse markt als voor de industrie bleek de meest beregende behandeling de beste resultaten te geven en dit zowel in de vegetatieve fase als in de bloemkoolfase. De rendabiliteit van de beregening echter is afhankelijk van de markt (industrie of verse markt) en van de marginale kost van een beregening. Bij levering aan de industrie en/of bij een hoge marginale beregeningskost wordt in de vegetatieve fase bij voorkeur restrictiever beregend.

De percelen in het huidige onderzoek gelegen te Sint-Katelijne-Waver en te Rumbeke kenden een hoge capillaire nalevering vanuit het ondiepe grondwater. Deze capillaire nalevering bemoeilijkte de realisatie van de irrigatieregimes waardoor veelal moeilijk onderscheid gemaakt kon worden tussen de verschillende regimes. Er werden geen significante verschillen waargenomen met betrekking tot het gewicht en de diameter van de kolen. Wel werden de volgende duidelijke trends waargenomen.

De bloemkolen die geteeld werden in 2005 in openlucht produceerden de zwaarste kolen onder het droogste irrigatieregime pF 2.8/2.8, dit zowel te Rumbeke als te Sint-Katelijne-Waver. Op beide locaties werd de interventiedrempel pF 2.8 niet bereikt tijdens de fase van de bloemkoolontwikkeling. In Rumbeke werd de drempel wel bereikt tijdens de vegetatieve fase.

In 2004 werden te Rumbeke de zwaarste kolen geproduceerd onder het regime pF 2.5/2.8. Dit regime was in de praktijk echter vergelijkbaar met een regime 2.8/2.5 omwille van een grillig neerslagverloop. Het droogste irrigatieregime pF 2.8/2.8 scoorde minder goed dan in 2005. De vochtspanning pF 2.8 werd in 2004 echter duidelijk wel bereikt tijdens de bloemkoolontwikkeling en niet in 2005. Ook te Sint-Katelijne-Waver scoorde het regime 2.8/2.5 het beste, samen met de regimes pF 2.5/2.5 en pF 2.8/2.8. Het regime pF 2.8/2.5 ontving één irrigatiebeurt meer dan het regime pF 2.8/2.8 doch het effect van deze irrigatiebeurt werd echter tenietgedaan door een regenbui de volgende dag. Het regime pF 2.5/2.5 ontving dezelfde irrigatiedosissen als het regime 2.8/2.5.

De behandeling pF 2.5/2.5 scoorde te Sint-Katelijne-Waver goed in 2004, minder goed in 2005 zowel in opbrengst als in kwaliteitsklasse. In 2004 was in de praktijk de evolutie van de bodemvochtspanning onder het regime pF 2.5/2.5 echter vergelijkbaar met een regime pF 2.8/2.5. Dit was niet meer het geval in 2005 waar het regime pF 2.5/2.5 te natte periodes heeft gekend. Ook in Rumbeke was de behandeling pF 2.5/2.5 minder succesvol. De vochtinhoud in deze bodem bereikte meermaals veldcapaciteit. De bloemkolen hebben een te natte bodem gekend om de optimale productie te halen.

Zeer lage bodemvochtspanningen tijdens de teelt, met bodemvochtreserves boven veldcapaciteit, schaden de opbrengst. De beregeningsregimes die het beste scores hebben tijdens de ganse bloemkoolontwikkeling voldoende water beschikbaar gesteld met een interventiegrens voor beregening rond pF 2.5. Ook in het vegetatief stadium van de bloemkoolontwikkeling mag de bodem niet indrogen en kan deze interventiedrempel

aangehouden worden voor een maximale fysieke opbrengst. Anderzijds zal tijdens de vegetatieve fase slechts rendabel berekend worden bij een interventiegrens rond pF 2.8 in 3 omstandigheden:

- bij levering aan de industrie;
- in geval van een hogere marginale beregeningskost;
- of indien het risico bestaat dat na beregenen de bodemvochtspanning meerdere dagen te laag blijft.

De bodemvochtspanning kan na beregenen sterk zakken bij een WRC die tussen pF 2.5 en veldcapaciteit zeer steil verloopt of bij een hoge grondwaterstand of bij veel neerslag volgend op de beregening. In deze laatste voorwaarde is een degelijke weersverwachting onontbeerlijk.

## 2.7. Bepaling van het beregeningschema voor spruitkool

### 2.7.1. *Spruitkoolteelt te Sint-Katelijne-Waver*

Bij de spruitkoolteelt werd in openlucht in de vegetatieve fase een- tot zesmaal berekend en in de spruitontwikkelingsfase niet tot vijfmaal met een supplementaire watergifte van 21 tot 243 l/m<sup>2</sup>. Aldus kreeg de teelt van 410 l/m<sup>2</sup> (389 l/m<sup>2</sup> neerslag + 21 l/m<sup>2</sup> beregening) bij de pF 3.1 objecten tot 632 l/m<sup>2</sup> (389 l/m<sup>2</sup> neerslag + 243 l/m<sup>2</sup> beregening) bij het object 2.8; 2.8 (Bijlage 10, Tabellen 10.3 en 10.4 en Figuur 10.2.).

Onder de afscherming werd het natte regime (pF 3.1; 2.8) dertienmaal berekend en kreeg aldus 254 l/m<sup>2</sup>. Het droge regime onder afscherming (pF 3.1; 3.1) werd twaalfmaal berekend met globaal 212 l/m<sup>2</sup>.

#### 2.7.1.1 *Vegetatieve ontwikkeling*

Om de 2 weken werden een aantal gewasparameters bepaald. Het betreft de totale plantlengte, het aantal aangelegde bladeren en de gewasdichtheid. Op de staalnamedata 6/7 en 8/8 werden eveneens het plantgewicht en het droge stofgehalte bepaald.

De metingen qua gewasontwikkeling staan samengevat in Bijlage 12, Tabellen 12.1 tot en met 12.3 en zijn grafisch weergegeven in de Figuren 12.1 tot en met 12.3. De resultaten van de staalnames op 6/7 en 8/8 zijn samengevat in Bijlage 12, Tabel 12.4.

Qua plantlengte waren de planten significant langer onder de afscherming. De planten zijn hier het langst op het droge beregeningsregime pF 3.1; 3.1. In openlucht waren de planten eveneens het langst op het droogste regime pF 3.1; 3.1.

Het aantal bladeren tot 30/8 ligt eveneens hoger onder de afscherming. In openlucht waren er geen verschillen waar te nemen, maar wel met het minste bladeren op het natste en het meeste bladeren op het droogste regime.

De bodembedekkingsgraad ligt hoger onder afscherming. In openlucht neemt de bodembedekkingsgraad sneller toe bij de drogere regimes, maar vanaf begin augustus neemt hij af omwille van intense knolvoetaantasting.

Bij de staalname op 6/7 lag het plantgewicht het hoogst bij het regime 2.8; 2.8 en het laagst onder de afscherming.

Bij de staalname op 8/8 lag het plantgewicht het hoogst bij het droge regime onder de afscherming. De plantgewichten in openlucht zijn vanaf begin augustus sterk beïnvloed door de sterke knolvoetaantasting.

### 2.7.1.2 *Opbrengst – en kwaliteitsbepaling*

De spruitkoolteelt werd uitgeplant op hetzelfde perceel als in het eerste proefjaar. Vanaf begin augustus kregen we mede daardoor te maken met een sterke knolvoetaantasting in de openluchtpercelen. De opbrengstgegevens moeten we dan ook met de nodige voorzichtigheid interpreteren.

#### **Algemeen teeltverloop (Tabel 12.4)**

Bij de staalname op 6/7 werden de hoogste plantgewichten bekomen bij de beregeningsregies die in de vegetatieve fase op pF 2.8 werden gestuurd.

Bij de staalname op 8/8 was de plantontwikkeling het verst gevorderd op het droge regime, onder de afscherming. In openlucht waren de planten omwille van knolvoet geremd vanaf begin augustus.

#### **Opbrengst (Tabellen 12.5 tot en met 12.7)**

Bij de 2<sup>o</sup> oogst op 28/11 werd onder afscherming het hoogste gewicht aan spruiten geoogst op het droge regime.

#### **Kwaliteit (Tabellen 12.5 tot en met 12.7)**

De beste spruitkwaliteit (meest 2-3 cm-sortering) werd geoogst op het droge perceel onder de afscherming.

### 2.7.1.3 *Ziekteaantasting*

Bij de spruitkoolteelt in 2005 werden er geen verschillen in ziekteaantasting vastgesteld tussen de verschillende irrigatiebehandelingen.

Zowel de koolvlieg- als de rups- en luisbestrijding (Tabel 2.3. in Bijlage 2) verliepen efficiënt. Wel werd er in de openluchtpercelen vanaf begin augustus een sterke knolvoetaantasting vastgesteld.

### 2.7.1.4 *Stikstofhuishouding*

(Bijlage 6: Stikstofanalyses van bodem en gewas)

*Bij gelegenheid van het tussentijdse rapport na het eerste onderzoeksjaar 2004 werd nog geen verslag gedaan van de opvolging van de stikstofhuishouding. Dit verslag volgt hier.*

Het perceel werd in 2004 na bodemanalyse volgens advies door de Bodemkundige Dienst van België bemest met een dosis van 140 kg N/ha.

De analyse van de bodem na de teelt gaf een stikstofniveau van ongeveer 20 kg/ha. Er werd geen verschil waargenomen tussen de teelt onder kap en de teelt in openlucht. Onder alle behandelingen bij spruitkool bleef de stikstofreserve in de bodem op het einde van de groeicyclus ongeveer dezelfde. Enkel na behandeling pF 3.1/2.8 was het stikstofniveau in de bodem opmerkelijk hoger dan na de andere behandelingen.

In het gewas werd een duidelijk verschil in stikstofconcentratie waargenomen tussen de teelt in openlucht en de teelt onder kap. Het stikstofgehalte in het restgewas en in de spruiten was bij de planten onder kap duidelijk hoger dan bij de planten in openlucht.



Tussen de verschillende behandelingen in openlucht onderling en de verschillende behandelingen onder kap onderling werd geen noemenswaardig verschil opgemerkt. De spuitkool nam in totaal ongeveer 120 kg N/ha op (de spuitkolen onder kap buiten beschouwing gelaten).

In 2005 werd na de spuitkoolteelt slechts op twee plots een staal van de bodem genomen gezien de ziekteaantasting. De stikstofreserve in de bodem varieerde van ongeveer 25 kg N/ha tot 45 kg N/ha. Beide plots waren gelegen in openlucht en het stikstofniveau in de bodem was het grootst na behandeling pF 3.1/2.8, de meest natte behandeling van beide bemonsterde behandelingen.

Bij de spuitkool werd de stikstofconcentratie van de spruiten en het restgewas in 2005 bepaald voor de behandelingen pF 2.8/2.5 en pF 3.1/3.1. De totale opname in stikstof in kg/ha was tijdens beide behandelingen gelijk, per 100 g droge stof echter nam de spuitkool tijdens behandeling pF 3.1/3.1 meer stikstof op dan tijdens behandeling pF 2.8/2.5.

In totaal nam de spuitkool ongeveer 65 kg N/ha op hetgeen eerder laag is, mogelijk te wijten aan de ziekteaantasting.

De opnames laten niet toe om zinvolle trends aan te geven.

#### 2.7.1.5 *Samenvatting spuitkoolteelt 2005 Sint-Katelijne-Waver*

(Tabel 12.8 in Bijlage)

Klimatologisch was het tijdens de spuitkoolteelt van 2005 warmer dan normaal, behalve tijdens de maand augustus.

In mei, juli en augustus was het natter dan normaal maar juni, september, oktober en november waren dan weer droger.

De ganse spuitkoolteelt verliep zonniger dan normaal behalve in de maand juli.

Bij de spuitkoolteelt 2005 te Sint-Katelijne-Waver van 18/5 tot 28/11 diende in openlucht tot tienmaal beregend te worden en kreeg de teelt van 410 tot 632 l/m<sup>2</sup>.

Onder afscherming kreeg de teelt 212 l/m<sup>2</sup> (droog regime) of 254 l/m<sup>2</sup> (middelmatig droog).

Zowel in openlucht als onder afscherming resulteert dit in langere planten met meer blad en met een hogere bodembedekkingsgraad op de drogere regimes.

Globaal gezien bekomen we de hoogste spuitgewichten en de beste spuitkwaliteit (meest 2-3 cm-sortering) bij de planten onder de afscherming op het droge regime (3.1-3.1).

In openlucht verliepen de plantwaarnemingen normaal tot begin augustus maar werden vanaf dan verstoord door een sterke knolvoetaantasting.

### 2.7.2. *Spruitkoolteelt te Rumbeke*

#### 2.7.2.1. *Vegetatieve ontwikkeling*

Bij de spuitkoolteelt werd in de vegetatieve fase in openlucht één- tot zevenmaal beregend en in de spuitontwikkelingsfase nul tot driemaal. De behandelingen ontvingen een supplementaire watergift van 20.0 l/m<sup>2</sup> tot 165.5 l/m<sup>2</sup>. Aldus kreeg de teelt van 567.8 l/m<sup>2</sup> (547.8 l/m<sup>2</sup> neerslag + 20.0 l/m<sup>2</sup> berekening) tot 713.3 l/m<sup>2</sup> (547.8 l/m<sup>2</sup> neerslag + 165.5 l/m<sup>2</sup> berekening) (Bijlage 10, Tabellen 10.7 en 10.8 en Figuur 10.7).

Onder afkapping werd in de vegetatieve fase zes tot achtmaal berekend terwijl in de generatieve fase het matig droge regime (pF 3.1/2.8) zesmaal berekend werd en het droge regime (pF 3.1/3.1) viermaal. In totaal werd in het matig droge regime 381.1 l/m<sup>2</sup> bovengronds water toegediend (237.5 l/m<sup>2</sup> irrigatie + 143.6 l/m<sup>2</sup> neerslag); in het droge regime werd 331.6 l/m<sup>2</sup> bovengronds water toegediend (188.0 l/m<sup>2</sup> irrigatie + 143.6 l/m<sup>2</sup> neerslag). In de spruitkoolteelt bleef de afkapping gedurende 2 maanden functioneel. Hierdoor was de bovengrondse watertoevoer onder afkapping te wijten aan neerslag aanzienlijk lager: 143.6 l/m<sup>2</sup> t.o.v. 547.8 l/m<sup>2</sup> in openlucht.

De metingen betreffende de gewasontwikkeling staan samengevat in Bijlage 14 in de Tabellen 14.1 t.e.m. 14.5 terwijl de parameters plantlengte, aantal bladeren en de bodembedekkingsgraad eveneens grafisch zijn weergegeven in de Figuren 14.1 tot en met 14.3.

Gemiddeld gezien waren de planten onder afkapping duidelijk langer dan in openlucht. Onder afkapping was de plantlengte het hoogst bij het droge regime (pF 3.1/3.1) terwijl in openlucht de planten het langst waren in het matig vochtige regime pF 2.8/2.5 (controle) en in het matig droge regime (pF 3.1/2.8).

Er is geen verschil in het aantal bladeren van planten geteeld in openlucht of onder afkapping. De invloed van het irrigatieregime op het aantal bladeren per plant was verwaarloosbaar.

In openlucht was de bodem meer bedekt bij de irrigatieregimes met een droge vegetatieve fase; onder afkapping was er geen effect van de behandelingen zichtbaar.

Vanaf eind augustus werd bij enkele objecten een erge aantasting door knolvoet (*Plasmodiophora brassicae*) vastgesteld. Rond de middag wanneer de temperatuur steeg, begonnen de planten als het ware te "slapen" op het veld. Omdat deze ziekte een duidelijk invloed had op de verdere ontwikkeling van de planten werd besloten om de aangetaste objecten niet te oogsten en te bemonsteren. In openlucht werden daarom enkel de irrigatieregimes 2.5/2.8; 2.8/2.8 en 3.1/2.8 bemonsterd; Onder afkapping werd enkel irrigatieregime 3.1/3.1 bemonsterd.

Op 9/08 en bij de oogst wogen de planten onder afkapping gemiddeld meer dan in openlucht; bij de oogst was het gewicht van de spruiten in openlucht en onder afkapping echter ongeveer gelijk (Tabel 14.4). Bij de oogst in openlucht was het plantgewicht het hoogst bij het regime pF 3.1/2.8 en het laagst bij het drogere regime pF 2.8/2.8. Het gewicht van de spruiten volgde dezelfde tendens. Bij het irrigatieregime pF 3.1/3.1 onder afkapping sloot het plantgewicht het meest aan bij het irrigatieregime pF 3.1/2.8 in openlucht terwijl het gewicht spruiten dichter aanleunde bij het vochtiger irrigatieregime pF 2.5/2.8.

Op 09/08 was het gemiddeld droge stof gehalte lager onder afkapping dan in openlucht maar bij de oogst was het verschil weggewerkt (Tabel 14.6). Zowel voor de totale plant als voor de spruiten werd er geen effect van de behandeling vastgesteld.

### 2.7.2.2. Opbrengst – en kwaliteitsbepaling

Wat de gewaskenmerken weergegeven in Tabel 14.7 betreft, geldt dat de bladkleur onder afkapping gemiddeld beter was dan in openlucht. Voor bladvorm en vorming van gele blaadjes geldt het tegenovergestelde: deze parameters scoorden iets beter in openlucht. In openlucht was er wel degelijk een effect van de behandelingen te merken. Het matig droge irrigatieregime pF 3.1/2.8 scoorde best op vlak van gewasstand, uniformiteit en bladvorm. Het vochtiger regime pF 2.8/2.8 kreeg op alle vlakken de laagste score en scoorde heel zwak voor uniformiteit.

Op vlak van gewaskenmerken blijkt uit Tabel 14.7 dat gemiddeld genomen de planten onder afkapping veel langer waren, gevoeliger waren aan legeren en een grotere bladschakeling

hadden dan de planten in openlucht. In openlucht waren de plantlengte, de legerresistentie, de spruitzetting en het aantal spruiten het hoogst bij het irrigatieregime pF 3.1/2.8. De kleinste, meest legergevoelige planten met de minst cilindrische spruitzetting en het minste aantal spruiten werden opgemeten bij het matig droge regime pF 2.8/2.8. Dit regime had wel de ruimste bladschakeling.

Gemiddeld gezien lag het % oogstbare planten in openlucht lager dan onder afkapping (Tabel 14.8). In openlucht werden eveneens meer te kleine planten opgemeten. Het irrigatieregime pF 2.8/2.8 scoorde op beide punten zwakst terwijl de andere irrigatieregimes gelijke resultaten gaven.

De opbrengstgegevens worden weergegeven in Tabel 14.9. In openlucht lag de netto-opbrengst bij de oogst en het percentage spruiten uit de beste sortering (2.5-3 cm) het hoogst bij het regime pF 3.1/2.8. Het irrigatieregime pF 2.8/2.8 had de laagste opbrengst. Onder afkapping werd er gemiddeld gezien een hogere netto-opbrengst en een hoog percentage van de sortering 2.5-3 cm vastgesteld dan in openlucht.

De kwaliteitsbeoordeling van de spruiten (Tabel 14.10) toont aan dat er gemiddeld genomen geen verschil was tussen de openlucht behandelingen en deze onder afkapping. Er werd geen enkel effect van het irrigatieregime vastgesteld.

### 2.7.2.3 Stikstofhuishouding

(Bijlage 6: Stikstofanalyses van bodem en gewas)

Voor 2004 zijn geen analyses na de teelt beschikbaar.

De bepaling van de stikstofreserve in de bodem in 2005 gebeurde bij de spuitkool op vier plots waarvan drie in openlucht en één onder kap.

De reserve in de bodem onder kap was opmerkelijk hoger dan het niveau in open lucht.

In openlucht had de bodem na behandeling pF 2.5/2.8 de grootste stikstofreserve. Behandeling pF 2.5/2.8 is de natste behandeling van de drie plots in openlucht die bemonsterd werden.

Enkel trendmatig zou dit erop wijzen dat onder dit nattere ofwel minder opname is geweest, ofwel meer mineralisatie is opgetreden.

### 2.7.2.4 Samenvatting spuitkoolteelt 2005 te Rumbeke

Ondanks de vele neerslag van begin juli konden de beregeningsregimes grotendeels gerealiseerd worden. Eind augustus viel behoorlijk wat neerslag waardoor in openlucht niet veel meer beregend werd. In openlucht werd tijdens de vegetatieve fase het vochtig regime (pF 2.5) zevenmaal beregend, de matig vochtige regimes (pF 2.8) drie- tot zesmaal en de droge regimes (pF 3.1) éénmaal. Tijdens de generatieve fase was dit respectievelijk éénmaal, nul tot driemaal en nul tot éénmaal. De teelt in openlucht kreeg 568 l/m<sup>2</sup> tot 713 l/m<sup>2</sup> water terwijl onder overkapping de teelt 331 l/m<sup>2</sup> tot 381 l/m<sup>2</sup> water kreeg.

Onder afkapping zijn de planten langer, bedekken ze sneller de bodem, hebben ze een hoger plantgewicht en evenveel bladeren als de planten in openlucht. De gemiddelde netto-opbrengst lag onder afkapping aanzienlijk hoger en dit gold ook voor de gemiddelde sortering 2.5-3 cm.

In tegenstelling tot vorig jaar werd de vegetatieve ontwikkeling bevorderd door een hogere vochtspanning tijdens de vegetatieve fase gevolgd door een vochtiger regime in de generatieve fase, zoals in irrigatieregime pF 3.1/2.8. Dit regime resulteerde in minder legergevoeligheid, hogere planten, betere spruitzetting en een hoger aantal spruiten per plant. Een hogere vochtspanning tijdens de vegetatieve fase is dus niet nadelig indien er regelmatig beregend

wordt tijdens de spuitvorming. Meer beregenen tijdens de vegetatieve fase resulteerde dit jaar in een lagere spuitzetting met minder spruiten per plant. Het rendement was het laagst bij het irrigatieregime pF 2.8/2.8. Dit was ook de plot waar de ondiepste grondwaterstand werd aangetroffen. Het grootste aantal spruiten kwam voor in de sortering 2.5-3 cm.

### 2.7.3. *Besluit en beregeningsstrategie voor de spuitkoolteelt*

De percelen te Rumbeke en te Sint-Katelijne-Waver hadden allen een hoge grondwaterstand. Door de capillaire nalevering en de natte augustusmaanden van 2004 en 2005 konden slechts moeilijk de interventiedrempels pF 2.8 en pF 3.1 bereikt worden. Enkel onder kap werden de interventiedrempels pF 2.8 en pF 3.1 systematisch bereikt. De spuitkool onder kap groeide systematisch sneller dan de spuitkool in openlucht en vertoonde een langere stengellengte en een hogere bodembedekkingsgraad. De spuitkool onder kap werd aan drogere irrigatieregimes onderworpen (pF 3.1/2.8, pF 3.1/3.1) maar ontving door de kap eveneens minstens 25% minder straling.

In 2005 is te Sint-Katelijne-Waver onder kap het aantal spruiten per plant en het totaal spuitgewicht merkbaar hoger dan bij de planten in openlucht. Dit verschil was niet aanwezig in 2004 en eveneens niet te Rumbeke. In openlucht ontwikkelde zich in 2005 te Sint-Katelijne-Waver knolvoet. Bovendien was de oogst in 2005 te Sint-Katelijne-Waver mogelijk groter omdat de interventiedrempels pF 2.8 en pF 3.1 enkel tijdens het stadium vóór spuitzetting werden bereikt en niet tijdens de spuitkoolontwikkeling. Wanneer onder kap de interventiedrempels tijdens de hele groeiperiode systematisch bereikt werden was de oogst ongeveer gelijk aan de oogst in vochtiger regimes in openlucht.

Door de neerslag en de capillaire nalevering is het voor de spuitkool in openlucht moeilijk om een onderscheid te maken tussen de verschillende irrigatieregimes doorheen de jaren. Zowel op de plots te Sint Katelijne-Waver als te Rumbeke worden de natte regimes (pF 2.5/2.8, pF 2.8/2.5), de matig droge regimes (pF 2.8/2.5, pF 2.8/2.8, pF 2.8/3.1) en de droge regimes (pF 3.1/2.8, pF 3.1/3.1) telkens als gelijk beschouwd. In de vegetatieve stadia werden de interventiedrempels bereikt. Tijdens de spuitontwikkeling echter viel er zowel in 2004 als ook in 2005 te veel neerslag om alle interventiedrempels te bereiken. Tijdens de spuitontwikkeling lag het vochtgehalte op alle behandelingen in openlucht tegen veldcapaciteit. Een zeer lage vochtspanning in Rumbeke, 2004, heeft tijdens de spuitkoolvorming een zeer laag rendement geleverd: lage opbrengst, laag aantal spruiten per plant, lage kwaliteit (sortering).

De gewichtsverschillen van de geogste spruiten tussen de verschillende regimes zijn nergens opmerkelijk groot. Volgende verschillen zijn echter wel waarneembaar:

De spuitkolen in openlucht onder de droge regimes (pF 3.1/2.8, pF 3.1/3.1), produceerden in 2004 te Sint Katelijne Waver en in 2005 te Rumbeke een zwaardere oogst dan onder de andere regimes ondanks mindere vegetatieve ontwikkeling (Rumbeke, 2004). In 2005 te Sint Katelijne Waver kwamen deze droge regimes op de tweede plaats na de nattere regimes (pF 2.5/2.8, pF 2.8/2.5), doch deze laatste resultaten dienen voorzichtig geïnterpreteerd te worden omwille van de knolvoetaantasting. In 2004 zijn er te Rumbeke geen verschillen waarneembaar. De matig droge regimes scoorden overal het slechtste.

Uit beide onderzoeksjaren kan men trendmatig besluiten dat een eerder hoge bodemvochtspanning gaande tot pF 3.1 vóór de spuitzetting weliswaar de vegetatieve ontwikkeling (plantgewicht, plantlengte en stamdikte) remt, doch dat dit niet noodzakelijk nadelig is voor de productie. Gecombineerd met een beheerst vochtig regime (pF 2.5 tot pF 2.8) tijdens de erop volgende ontwikkeling van de spruiten levert dit de grootste opbrengst.

### 3. WP2: DATASETS VAN CONTROLEVELDEN OP PRAKTIJKBEDRIJVEN

#### 3.1. Doelstelling

De doelstelling is de monitoring van bodem-, gewas- en klimaatparameters teneinde de bodemwaterbalans te begroten met inbegrip van de capillaire nalevering en teneinde datasets te leveren voor de modelontwikkeling.

#### 3.2. Selectie en situering praktijkbedrijven

Over een periode van twee jaar worden 40 percelen van praktijkbedrijven gelegen in de groenteteeltstreken geselecteerd. Hierbij worden jaarlijks 10 percelen nader opgevolgd in enerzijds de provincie West-Vlaanderen (POVLT) en anderzijds de provincie Antwerpen (PSKW). De akkers behoren toe aan landbouwers, met uitzondering van twee percelen van de proefstations te Sint-Katelijne-Waver in 2004 (BVA-8: Muilshoek en BVA-9: Nieuw proefstation).

De onderzoekspartners POVLT en PSKW hebben contact opgenomen met verschillende landbouwbedrijven en een lijst van mogelijke kandidaten overhandigd aan de BDB. Vervolgens heeft de BDB op basis van een aantal criteria een selectie gemaakt. Aan de hand van bodemkaarten en topografische kaarten werd nagegaan of bepaalde bodemseries voorkomen in de verschillende bedrijven. De gekozen bodemseries zijn, matig natte lemige zandgronden, matige natte lichte zandleemgronden en matig gleyige zandleemgronden. In de provincie Antwerpen werden eveneens een aantal bedrijven geselecteerd met matig droge gronden (waterhuishoudingsklasse 'c' in plaats van 'd'). Nadat de perceelshomogeniteit nagegaan werd op basis van de bodemseries, werd de locatie van de peilbuis bepaald. Bij het plaatsen van de peilbuizen werden de heterogeniteit van de bodem en de diepte van de grondwatertafel nagegaan. Een perceel werd niet verder opgevolgd indien de grondwatertafel lager was dan 200 cm – mv (cm onder maaiveld). Voorkeur werd gegeven aan percelen verbouwd met gewassen met een relatief lang teeltseizoen.

In het tweede onderzoeksjaar werd de selectie van de praktijkvelden herzien. In de provincie Antwerpen werden, op basis van een diepe grondwatertafel en de aanwezigheid van een kleilaag in de ondergrond, praktijkvelden BVA 3, BVA 8, BVA 9 en BVA 10 niet verder opgevolgd. In de plaats hiervan komen PSKW 2, PSKW 6, PSKW 7, PSKW 8 en PSKW 9 overeen met respectievelijk BVA 2, BVA 5, BVA 6, BVA 7 en BVA 11. In de provincie West-Vlaanderen werd drie percelen niet langer opgevolgd: POVLT 9 en POVLT 11 als gevolg van een diepe grondwatertafel en POVLT 3 omwille van een sterke bodemheterogeniteit. POVLT 6, POVLT 13, POVLT 14 werden opnieuw opgevolgd. Voor de andere praktijkvelden werd al naargelang de teelt in 2005 een ander perceel toegekend binnen dezelfde boerderij.

Tabel 3-1 en

Tabel 3-2 geven een overzicht van de praktijkvelden in 2005 met bijhorende locaties, teelten, teeltperioden en de range van de grondwaterniveaus.

Tabel 3-1 Overzicht van de praktijkvelden in de provincie Antwerpen in 2005

Veld nr.	Locatie	Teelt	Teeltperiode	Grondwaterstand
PSKW-1	Sint-Amands	spruitkool	mei - vanaf oktober	77 - 142 cm - mv
PSKW-2	Sint-Katelijne-Waver	prei	juli - december	82 - 141 cm - mv
PSKW-3	Leest	spruitkool	mei - vanaf oktober	164 - 215 cm - mv
PSKW-4	Hombeek	spruitkool	mei - december	158 - 258 cm - mv
PSKW-5	Bornem	prei	juli - januari '06	281 - > 320 cm - mv
PSKW-6	Bornem	bloemkool	mei - juli	194 - 227 cm - mv
PSKW-7	Bornem	bloemkool	juni - augustus	155 - 228 cm - mv
PSKW-8	Duffel	prei	juli - december	128 - 163 cm - mv
PSKW-9	Duffel	prei	juli - februari '06	103 - 153 cm - mv
PSKW-10	Oppuurs	prei	juli - januari '06	187 - > 320 cm - mv

Tabel 3-2 Overzicht van de praktijkvelden in de provincie West-Vlaanderen in 2005

Veld nr.	Locatie	Teelt	Teeltperiode	Grondwaterstand
POVLT05-1	Gyverinkhove	rode kool	/ - oktober	77 - 177 cm - mv
POVLT05-4	Gyverinkhove	boon	juni - augustus	49 - 99 cm - mv
POVLT05-6	Lendeledede	maïs	mei - oktober	85 - 175 cm - mv
POVLT05-7	Beselare	maïs	mei - oktober	45 - 164 cm - mv
POVLT05-10	Ieper	ui	april - september	125 - 168 cm - mv
POVLT05-12	Lendeledede	wortel	mei - november	60 - 169 cm - mv
POVLT05-13	Aartrijke	aardappel	april - oktober	99 - 138 cm - mv
POVLT05-14	Gits	bloemkool	juni - september	83 - 137 cm - mv
POVLT05-16	Gits	prei	juni - november	70 - 159 cm - mv
POVLT05-17	Lendeledede	aardappel	april - oktober	106 - 157 cm - mv

### 3.3. Karakterisatie praktijkvelden

Metingen werden uitgevoerd in de omgeving van de peilbuis (straal van ca 10 m). In de provincie Antwerpen werden de 10 praktijkvelden opgemeten. In West-Vlaanderen bleef dit beperkt tot de nieuwe praktijkvelden (7). De karakterisatie van POVLT05-17 is wegens de uiterst natte omstandigheden op moment van opmeting/staalname beperkt gebleven.

#### 3.3.1. Bodemprofiel

In bijlage 15 wordt het bodemprofiel voor elk perceel beschreven. Voor de bovenste drie horizonten worden de horizontdieptes en de resultaten van het koolstofgehalte en de handmatige en granulometrische textuurbepalingen samengevat.

Voor elk perceel werd tevens het voorkomen van een ploegzool onderzocht aan de hand van een penetrografie. De meetresultaten worden weergegeven in bijlagen 16.

### **3.3.2. Vochtretentiekarakteristieken**

In de provincie West-Vlaanderen werden met behulp van Kopecky-ringen ongestoorde bodemstalen genomen op 15 cm en 45 cm diepte. De vochtgehalten overeenkomend met de vochtspanningen pF 0, pF 2, pF 2.5, pF 3 en pF 4.2 werden bepaald. In de provincie Antwerpen werden bijkomend ongestoorde bodemstalen genomen op 75 cm diepte. Voor elke diepte werden de vochtgehalten bij vochtspanningen pF 0, pF 0.5, pF 1, pF 1.5, pF 2, pF 2.5, pF3 en pF 4.2 bepaald.

Om de onzekerheid in het resultaat, omwille van de invloed van bodemheterogeniteit op het kleine ringvolume, te beperken werden drie herhalingen per staalname diepte genomen. De schijnbare dichtheid werd eveneens bepaald op de ongestoorde bodemstalen.

De resultaten worden voorgesteld in bijlagen 17.

### **3.3.3. Verzadigde hydraulische conductiviteit**

De experimentele bepaling van Ksat werd uitgevoerd volgens de boorgaten- en de labometrische methode.

De boorgatenmethode wordt in situ uitgevoerd. Per perceel werden voor de provincie Antwerpen en de provincie West-Vlaanderen respectievelijk, vier en drie herhalingen uitgevoerd. De diepte van het boorgat werd gekozen in functie van de verschillende bodemhorizonten. De Ksat werd bepaald in de bodemhorizont die de capillaire opstijging het meest beïnvloed. In de praktijk komt dit overeen met de tweede of derde horizont. In de provincie Antwerpen werd echter geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende bodemhorizonten. Overwegend werd de inverse boorgatenmethode toegepast aangezien het boorgat zich meestal boven de grondwatertafel bevond. Slechts bij de diepere boringen te PSWK 1, PSKW 2 en PSKW 8 werd de echte boorgatenmethode toegepast.

Bij de labometrische methode werden op twee dieptes telkens vier ongestoorde bodemstalen (Kopecky-ringen) genomen. De eerste diepte komt overeen met de bouwlaag (15 cm). De tweede staalname diepte werd bepaald aan de hand van de boorgatenmethode. Ringstalen werden genomen in de horizont waarin de boorgatenmethode uitgevoerd werd. In de provincie Antwerpen daarentegen viel de tweede diepte standaard samen met de tweede horizont.

In dit onderzoek werden drie parametrische modellen toegepast. Meer bepaald, de Ksat werd berekend volgens de vergelijking van Williams en Ahuja (1993) en volgens de modellen Rosettata3 en Rosetta5 van Schaap (2001).

De Ksat-bepalingen volgens de parametrische methoden en de boorgaten- en de labometrische methode zijn in bijlagen 18 weergegeven. Enkel de gemiddelde waarden van de herhalingen is weergegeven. Daar de uitkomsten van de experimentele methodes een brede variatie vertonen werd gewerkt met het geometrisch gemiddelde i.p.v. het rekenkundig gemiddelde.

## **3.4. Registratie van meteorologische parameters**

De klimatologische data voor neerslag en ET0 werden dagelijks geregistreerd. Gedurende de teeltperiode werden de neerslaghoeveelheden geregistreerd door het landbouwbedrijf zelf. Ontbrekende neerslaggegevens werden aangevuld met data van de naburige weerstations (KMI, BDB). Voor de percelen in de provincie Antwerpen bevindt het dichtstbijzijnde

weerstation zich in Sint-Katelijne-Waver. In de provincie West-Vlaanderen werden de neerslaggegevens van de weerstations in Kokzijde en Ieper toegekend aan respectievelijk, de percelen gelegen in Gyverinkhove en Ieper. De gemiddelde waarden van de weerstations in Ieper en Rumbeke werden berekend voor het perceel in Beselare. Voor de overige percelen bevindt het meest nabijgelegen weerstation zich in Rumbeke. De neerslaggegevens op perceelsniveau zijn weergegeven in grafieken in bijlagen 21.

De dag-aan-dag waarden voor ET<sub>0</sub> werden door de BDB berekend volgens de formule van Penman-Monteith. De meteorologische gegevens die hiervoor nodig zijn werden voor de provincie Antwerpen dagelijks geleverd door het weerstation in Deurne en in Sint Katelijne Waver. Voor West-Vlaanderen werd het gemiddelde genomen van de meteorostations in Chièvres, Semmerzake en Koksijde.

Aangezien de praktijkvelden in de omgeving van Rumbeke en Sint-Katelijne-Waver liggen kan men stellen dat het karakter van het seizoen analoog is aan de twee proefcentra (zie WP1).

### **3.5. Opvolging van de bodemvochttoestand**

Voor elk perceel worden metingen van het gravimetrisch vochtgehalte en de stand van de grondwatertafel grafisch voorgesteld in Bijlage 20 en in Bijlage 21.

#### **3.5.1. Gravimetrische vochtbepaling**

Gedurende het groeiseizoen werden wekelijks gestoorde grondmonsters genomen van de bodemlagen 0-30 cm en 30-60 cm. Het gravimetrisch vochtgehalte werd vervolgens bepaald. Om over te gaan naar het volumetrisch vochtgehalte werd het gravimetrisch vochtgehalte vermenigvuldigd met de droge bulkdensiteit van de bodem en gedeeld door de dichtheid van het water.

Stalen werden binnen een straal van 20 m rond de peilbuis genomen. Bemonstering gebeurde door tussen de plantrijen loodrecht te steken. Indien op ruggen werd centraal of half verwegen in de rug loodrecht naar beneden gestoken, voor respectievelijk de provincie West-Vlaanderen en de provincie Antwerpen.

#### **3.5.2. Opvolging van de grondwaterstand**

De evolutie van het grondwaterniveau werd opgevolgd door op elk perceel één peilbuis te plaatsten. Wekelijks werd de stand van het grondwater in de peilbuis ten opzichte van het maaiveld genoteerd.

### **3.6. Opvolging van gewasontwikkeling**

Wekelijks werd binnen een straal van 20 m rond de peilbuis de planthoogte, het ontwikkelingsstadium, de geschatte bodembedekkingsgraad en eventueel andere opmerkingen genoteerd. Bijlage 19 geeft voor elk perceel de gewasontwikkeling weer.



### 3.7. Beregeningsregime

Berekening werd uitgevoerd op initiatief van het landbouwbedrijf zelf. Dit bleef beperkt tot PSKW-6 (Bornem) in de provincie Antwerpen.

### 3.8. Bespreking van de praktijkvelden

#### 3.8.1. Typering van de praktijkvelden

De bodems in de provincie Antwerpen hebben over het algemeen een lichtere textuur. Op basis van de profielbeschrijvingen (bovenste drie horizonten) worden de velden onderverdeeld in verschillende categorieën (Tabel 3-3):

Tabel 3-3 Indeling praktijkvelden volgens textuurklassen

Textuurklasse	Praktijkveld
Lemig zand – lichte zandleem	PSKW 5, PSKW 8, PSKW 10, <i>POVLT05-13</i>
Lichtere textuur boven zwaar zandleem	PSKW 3, PSKW 6, PSKW 7, PSKW 9
Zwaar zandleem/leem boven zand/lemig zand	PSKW 2, PSKW 4
Zwaar zandleem – leem	PSKW 1, POVLT05-1, POVLT05-4, POVLT05-6, <i>POVLT05-7</i> , POVLT05-10, <i>POVLT05-12</i> , POVLT05-14, POVLT05-16, POVLT05-17

Volgens de handmatige textuurbepaling treft men een kleilaag aan in de ondergrond van percelen PSKW 7, PSKW 9, POVLT05-1 en POVLT05-4 vanaf respectievelijk 90, 130, 150 en 110 cm. Bij POVLT05-13 werd reeds vanaf 35 cm een kleilaag aangetroffen. In tegenstelling tot de granulometrische textuurbepaling bestaat de bodem onder de bouwlaag voor PSKW 1, POVLT05-7 en POVLT05-12 uit zandleem i.p.v leem.

In de volgende praktijkvelden werd een ploeglaag aangetroffen rond 30-40 cm: PSKW 1, PSKW 2, PSKW 3, PSKW 4, (PSKW 7), PSKW 8, PSKW 9, POVLT 2 en POVLT05-14, POVLT05-16.

Het verloop van de grondwaterstand wordt weergegeven in bijlage 20.

Begin juli steeg de grondwatertafel als gevolg van een aantal hevige buien na de droge maand juni. De stijging was het sterkst in West-Vlaanderen. In vergelijking tot de provincie Antwerpen viel er dubbel zoveel neerslag. In het begin van het teeltseizoen zat in de provincie Antwerpen de grondwatertafel reeds dieper dan 100 cm onder het maaiveld, met uitzondering van PSKW-1 en PSKW-2. In West-Vlaanderen deed het omgekeerde zich voor, hierbij zat de grondwatertafel, met uitzondering van POVLT05-10 en POVLT05-17, boven 100 cm-mv.

De diepste grondwaterstanden werden aangetroffen in de provincie Antwerpen. In PSKW-3, PSKW-4, PSKW-6 en PSKW-7 schommelde de grondwatertafel voornamelijk tussen 200-230 cm-mv. In PSKW-5 en PSKW-10 zat de grondwatertafel dieper dan 250 cm-mv en zakte zelfs onder de 320 cm-mv. In West-Vlaanderen daalde de grondwatertafel nooit onder de 180 cm-mv.

PSKW-1, PSKW-2, PSKW-9, POVLT05-4, POVLT05-13 en POVLT05-14 hebben een zeer ondiepe grondwatertafel dat schommelde tussen 50 en 140 cm-mv. Bij POVLT05-04 bleef de grondwatertafel permanent boven 100 cm-mv. In de resterende acht percelen schommelde de grondwatertafel voornamelijk tussen 120-170 cm-mv.

### 3.8.2. Klimaatanalyse

In 2005 viel er gedurende de periode van april tot en met december 80 l/m<sup>2</sup> minder neerslag in de provincie Antwerpen dan het jaar voordien. West-Vlaanderen, daarentegen, was natter (137 l/m<sup>2</sup> meer neerslag) dan in 2004.

In 2005 is er in West-Vlaanderen opmerkelijk meer neerslag gevallen, globaal 154 l/m<sup>2</sup> meer dan in de provincie Antwerpen. In mei en juni is de gemiddelde hoeveelheid neerslag gelijkaardig in beide provincies. Met uitzondering van april waren de overige maanden natter in de provincie West-Vlaanderen.

April, mei en juli zijn de natste maanden in de provincie Antwerpen (gemiddeld 75 l/m<sup>2</sup>). Juni daarentegen was uitzonderlijk droog (gemiddeld 31 l/m<sup>2</sup>). Het najaar (vanaf september) met 39-46 l/m<sup>2</sup> was vrij droog. Net zoals het jaar voordien is Bornem (PSKW-5, PSKW-6 en PSKW-7) de droogste regio, in het bijzonder in juni.

Tabel 3-4 Neerslaggegevens (l/m<sup>2</sup>) van april tot december 2005 voor de praktijkvelden in de provincie Antwerpen (getallen gewoon: meteostation; onderlijnd: meetwaarden door boer; italics: deels aangevuld met meteostation)

	april	mei	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	totaal
<b>PSKW 1</b>	78	81	48	<i>71</i>	<u>54</u>	<u>51</u>	39	48	44	<b>515</b>
<b>PSKW 2</b>	<u>61</u>	<u>75</u>	<u>33</u>	<u>93</u>	<u>73</u>	<u>41</u>	<u>37</u>	52	44	<b>509</b>
<b>PSKW 3</b>	<u>61</u>	<u>75</u>	<u>33</u>	<u>93</u>	<u>73</u>	<u>41</u>	<u>37</u>	52	44	<b>509</b>
<b>PSKW 4</b>	78	72	<u>41</u>	<u>95</u>	<u>74</u>	<u>53</u>	<u>37</u>	48	44	<b>544</b>
<b>PSKW 5</b>	56	<u>70</u>	<u>9</u>	<u>81</u>	<u>45</u>	<u>35</u>	<u>40</u>	40	44	<b>421</b>
<b>PSKW 6</b>	56	<u>70</u>	<u>9</u>	<u>81</u>	<u>45</u>	<u>35</u>	<u>40</u>	40	44	<b>421</b>
<b>PSKW 7</b>	56	<u>70</u>	<u>9</u>	<u>81</u>	<u>45</u>	<u>35</u>	<u>40</u>	40	44	<b>421</b>
<b>PSKW 8</b>	78	81	<u>40</u>	<u>80</u>	<u>58</u>	<u>56</u>	<u>38</u>	48	44	<b>523</b>
<b>PSKW 9</b>	78	81	<u>40</u>	<u>80</u>	<u>58</u>	<u>56</u>	<u>38</u>	48	44	<b>523</b>
<b>PSKW 10</b>	78	81	48	<i>71</i>	<u>54</u>	<u>52</u>	39	48	44	<b>515</b>
<b>gemiddeld</b>	<b>68</b>	<b>76</b>	<b>31</b>	<b>83</b>	<b>58</b>	<b>46</b>	<b>38</b>	<b>46</b>	<b>44</b>	<b>490</b>

In de provincie West-Vlaanderen is er in juli opmerkelijk veel neerslag gevallen (gemiddeld 160 l/m<sup>2</sup>). Mei, augustus en november waren eveneens vrij nat (gemiddeld 83 l/m<sup>2</sup>). Het najaar, met uitzondering van november, was vrij droog. In mei, juli en augustus is er in Alveringem (POVLT05-1 en POVLT05-4) opvallend minder neerslag gevallen. In juni, een uitermate droge maand, is dan weer dubbel zoveel neerslag gevallen.

Tabel 3-5 Neerslaggegevens ( $l/m^2$ ) van april tot december 2005 voor de praktijkvelden in de provincie West-Vlaanderen (getallen gewoon: meteostation; onderlijnd: meetwaarden door boer; italics: deels aangevuld met meteostation)

	april	mei	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	totaal
POVLT05 1	61	37	54	<u>117</u>	<u>55</u>	<u>48</u>	40	102	70	<b>584</b>
POVLT05 4	61	37	54	<u>117</u>	<u>55</u>	<u>48</u>	40	102	70	<b>584</b>
POVLT05 6	47	83	31	<u>168</u>	<u>81</u>	<u>67</u>	50	88	47	<b>661</b>
POVLT05 7	54	85	26	<u>171</u>	<u>107</u>	46	45	100	53	<b>687</b>
POVLT05 10	60	88	15	<u>161</u>	<u>94</u>	32	54	113	58	<b>676</b>
POVLT05 12	47	83	24	<u>172</u>	<u>78</u>	<u>67</u>	68	88	47	<b>673</b>
POVLT05 13	47	83	25	<u>171</u>	<u>78</u>	<u>43</u>	49	88	47	<b>631</b>
POVLT05 14	47	83	24	<u>176</u>	<u>93</u>	<u>48</u>	37	88	47	<b>642</b>
POVLT05 16	47	83	24	<u>176</u>	<u>93</u>	<u>48</u>	37	88	47	<b>642</b>
POVLT05 17	47	83	31	168	81	<u>67</u>	50	88	47	<b>661</b>
gemiddeld	<b>52</b>	<b>74</b>	<b>31</b>	<b>160</b>	<b>81</b>	<b>51</b>	<b>47</b>	<b>94</b>	<b>53</b>	<b>644</b>

### 3.8.3. Simulatie van de waterbalansen

Na de verwerking van de meetgegevens werd voor elk praktijkveld een voorlopige vochtbalans opgesteld, meer bepaald de simulatie zonder capillaire opstijging.

De vochtbalansen zonder verrekening van capillaire nalevering worden ter illustratie van de opgenomen gegevens voorgesteld in bijlage 21.

Een eerste doorlichting van de bodemvochtbalansen levert reeds duidelijke indicaties of er al dan niet capillaire nalevering optreedt.

#### 3.8.3.1. Bespreking waterbalansen praktijkvelden provincie Antwerpen

Van de tien proefvelden die bemonsterd werden in de provincie Antwerpen zijn er een zestal balansen waarbij de metingen overeenkomen met de simulaties. Meer bepaald gaat het dan over pskw1, pskw3, pskw4, pskw8, pskw9 en pskw10. Bij deze proefvelden zijn er slechts kleine afwijkingen tussen de opgemeten waarden en de gesimuleerde waarden. Deze kleine afwijkingen tussen de opgemeten waarden en de gesimuleerde waarden kunnen deels verklaard worden door onnauwkeurige registratie van de neerslag, deels door de heterogeniteit van de bodem, en bovendien zal de capillaire nalevering op sommige van deze percelen meegespeeld hebben.

Afwijkingen zijn er zeer duidelijk op pskw2, pskw5, pskw6 en pskw7. Op pskw2 liggen tot september de opgemeten waarden systematisch onder de gesimuleerde waarden, vanaf september wordt net het omgekeerde waargenomen. Er wordt ook vastgesteld dat het vochtgehalte in de laag 30-60 cm sterk toenam vanaf september. In augustus viel er veel neerslag en bleef de bodemvochtreserve volgens de simulatie hangen tegen veldcapaciteit. In werkelijkheid spoelde echter al een deel van de neerslag door naar de tweede laag en werd deze bijgevolg aangevuld. Vanaf september was de tweede laag verzadigd, tijdens de droge septembermaand heeft het gewas gebruik gemaakt van deze vochtvoorraad. Dit was mogelijk dankzij capillaire nalevering. Mede daarom liggen de opgemeten waarden opmerkelijk hoger dan de gesimuleerde waarden.

Op pskw5 liggen de opgemeten waarden over heel de groeiperiode systematisch boven de gesimuleerde waarden. Aan de hand van de vochtanalyses uit de bodemlaag 30-60 cm wordt vastgesteld dat deze vanaf augustus systematisch werd aangevuld. Het verschil tussen simulatie en opgemeten waarden kan bijgevolg verklaard worden door capillaire nalevering.

De capillaire nalevering heeft ook meegespeeld op pskw6. Tijdens de verschillende uitdrogingstrajecten lagen de opgemeten waarden telkens hoger dan de gesimuleerde waarden. Het water sijpelde in werkelijkheid iets minder snel door de bodem dan gesimuleerd. Dit kan mee verklaard worden door capillaire nalevering.

De bodemwaterbalans van pskw7 is soortgelijk aan deze van pskw3. Het verschil tussen opgemeten en gesimuleerde waarden kan bijgevolg ook verklaard worden door capillaire nalevering.

### *3.8.3.2. Bespreking waterbalansen praktijkvelden provincie Antwerpen*

Op een achttal balansen kwam de simulatie overeen met de opgemeten waarden. De simulatie liep over de opgemeten waarden op de percelen POVLT04, POVLT07, POVLT10, POVLT12, POVLT13, POVLT14, POVLT16, POVLT17. Op deze percelen was er slechts een kleine afwijking tussen de gesimuleerde waarden en de opgemeten waarden. Deze afwijkingen kunnen verklaard worden door het meespelen van de capillaire nalevering naast onnauwkeurige registratie van de neerslaggegevens of heterogeniteit van de bodem.

Op de percelen POVLT 1 en POVLT 6 blijft de simulatie systematisch boven de opgemeten waarden. Op beide percelen neemt de vochtinhoud in de laag 30-60 cm toe naarmate het groeiseizoen vordert. De afwijking tussen simulatie en opgemeten waarden is het grootst op het einde van een uitdrogingstraject. Dit zijn aanwijzingen dat op beide percelen de capillaire nalevering een rol van betekenis heeft gespeeld. Mede door deze capillaire nalevering sijpelde het water iets trager door de bodem dan gesimuleerd door de waterbalans.

## 4. WP3: VERVOLLEDIGING BESTAANDE DATASETS

*Vooraf:*

*Teneinde de duidelijkheid in de verslaggeving te behouden, werd de nummering van de themas in de bijlagen in het voorliggende rapport identiek gehouden aan de nummering die in het tussentijdse rapport na het eerste onderzoeksjaar werd gegeven.*

*Uitzondering hierop vormen bijlage 24, 25, 26 en 28.*

*Gezien enkele parameters reeds volledig verzameld waren in het eerste onderzoeksjaar, werden de bijlagen uit het tussentijdse rapport van het eerste jaar die deze parameters weergeven, niet meer hernomen in het nu voorliggende rapport.*

### 4.1. Doelstelling

Doelstelling is het gestructureerd verzamelen, evalueren en aanvullen door bijkomende (niet-tijdsafhankelijke) metingen van historische datasets. Deze meetreeksen worden betrokken bij de validatie van de modelmatige ontwikkeling onder WP4.

### 4.2. Selectie meetreeksen

In het afgelopen decennium werden in opdracht van overheden en/of op initiatief van de uitvoerders een aantal onderzoeksprojecten gerealiseerd met verschillende doelstellingen, doch waar uit de onderzoeksgang datareeksen beschikbaar gesteld zijn die in het huidige onderzoek kunnen betrokken worden. Een overzicht van de onderzoeksprojecten wordt weergegeven in Tabel 4-1.

*Tabel 4-1 Overzicht van onderzoeksprojecten voor screening*

<b>Onderzoek/project id.</b>	<b>Data-beheerder</b>	<b>Aantal percelen</b>	<b>Max. aantal jaren</b>
Beregening vollegrondse groenten (ALT, 2001)	BDB	6	1
MML gras (N-bemesting ifv N-leverend en vochtleverend vermogen)	BDB	6	6
5-B project Westhoek-Middenkust 1999: Voorlichting en Begeleiding van irrigatie voor groenten en aardappelen	BDB, POVLT	8	1
5-B project Westhoek –Middenkust 2000: Idem	BDB, POVLT	20+20	1
IWT 020592 (MML prei/bloemkool)	BDB,BVA,POVLT	12 + 2	4
Deterministische en stochastische parameterbepaling voor WAVE (Doctoraat S. Ducheyne)	LWB	10	3

De ligging van deze percelen is gekend. Op nagenoeg alle percelen werd de profielopbouw beschreven en op een aantal werden vochtretentiekenmerken gemeten bij aanvang van het teeltseizoen.

Een aantal tijdsafhankelijke kernparameters is bekend en geregistreerd tijdens het seizoen:

- met betrekking tot de plant- of gewasontwikkeling (ontwikkelingsfases, bodembedekkingsgraad en/of Leaf Area, benadering van de beworteling, gebeurlijk anomalieën in de ontwikkeling, productie) en teeltzorgen (o.m. bemesting);
- met betrekking tot klimaat: PENMAN-MONTEITH-parameters (temperatuur, instraling, luchtvochtigheid, windsnelheid) en/of referentie-evapotranspiratie ( $ET_0$ ) met bepalingmethode, neerslag op de locatie van het perceel, beregening. Een aantal percelen waren voorzien van een klimatologisch station on-site;
- met betrekking tot de bodem (gravimetrische bodemvochtgehalten van meerdere horizonten, in een aantal gevallen tensiometrische meetreeksen, grondwaterstanden).

Deze percelen kunnen betrokken worden in het huidige onderzoek gezien de intensiteit van registratie van de parameters tijdens het seizoen als ruim voldoende wordt verwacht voor de verdere validatie. De frequentie van registratie tijdens het seizoen is namelijk in de meeste gevallen wekelijks, soms meermaals per week, slechts in een klein aantal gevallen 2 tot 3 wekelijks.

Evaluatie van de meetreeksen (volledigheid, nauwkeurigheid, relevantie) op perceelsniveau gebeurde op basis van onderstaande geselecteerde parameters:

**bodemparameters:**

- profielopbouw, penetrografie, verzadigde conductiviteit ( $K_{sat}$ ), textuur, bulkdensiteit (schijnbare dichtheid), vochtretentiekarakteristiek en organische stofgehalte;

**tijdsafhankelijke parameters:**

- plant- of gewasontwikkeling (hoogte, diameter, bodembedekkingsgraad, gebeurlijke anomalieën in de ontwikkeling);
- neerslag, beregening,  $ET_0$ , grondwaterstand, gravimetrische bodemvochtgehalten op 0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm;

**bijkomende parameters:**

- hellingsgraad, aanwezigheid van een irrigatie systeem, rol van de grondwatertafel.

De textuur, vochtretentiekarakteristiek, bulkdensiteit en het organische stofgehalte werden nagekeken op drie dieptes, 15, 45 en 75 cm.

Na gestructureerde dataverzameling, screening en evaluatie van de datasets werden omwille van uiteenlopende redenen (bv. heterogeniteit, onvolledigheid, calamiteiten,...) enkele percelen verwijderd uit de dataset. Het project 'beregening vollegrondse groenten (ALT, 2001)' wordt niet verder betrokken. De datareeks van het project 'Deterministische en stochastische parameterbepaling voor WAVE' kon niet bemachtigd worden en werd bijgevolg niet opgenomen in de dataset. Anderzijds werden datareeksen van het '5-B project Westhoek-Middenkust 2001' toegevoegd aan de dataset. Een overzicht van de geselecteerde projecten wordt weergegeven in tabel 4.2.

Tabel 4-2 Overzicht van onderzoeksprojecten na screenen

Onderzoek/project id.	Aantal percelen	Aantal percelen relevant	Aantal jaren
MML gras (N-bemesting ifv N-leverend en vochtleverend vermogen)	29 (totaal)	8 4	2 1
5-B project Westhoek-Middenkust 1999: Voorlichting en Begeleiding van irrigatie voor groenten en aardappelen	8	7	1
5-B project Westhoek –Middenkust 2000: Idem	41	24	1
5-B project Westhoek –Middenkust 2001: Idem	8	5	1
IWT 020592 (MML prei/bloemkool)	13 5	13 5	2 1

Rekening houdend met de verschillende teeltseizoenen werden 119 meetreeksen geselecteerd, die liggen op 66 percelen. De identificatie van die meetreeksen wordt weergegeven in Bijlage 22.

### 4.3. Bijkomende analyses en metingen

#### 4.3.1. Karakterisatie percelen

Op een aantal percelen dienen bijkomende metingen te gebeuren op parameters die vrijwel niet tijdafhankelijk zijn, en die binnen het oorspronkelijke onderzoeksprogramma minder volledig werden geregistreerd omwille van de toenmalige relevante doelstellingen. De meeste metingen werden uitgevoerd tijdens het eerste onderzoeksjaar..

Tijdens het najaar van 2005 werden nog verdere ontbrekende metingen uitgevoerd. Hierbij werd de penetrografie uitgevoerd op velden 5b 99/7 en 5b 01/5 van de 5-B percelen. Voor de percelen van het project 'MML gras' werd de textuur en het organische stofgehalte van de tweede bodemhorizont, de Ksat-waarde (in situ boorgatenmethode en labometrische methode op ongestoorde bodemstalen) en de penetrografie gemeten. Ten laatste werd het resterende veldwerk op percelen 02/322 en 02/301 van het IWT 020592 project uitgevoerd. Voor 02/322 was dit de textuur en het organische stofgehalte van de tweede bodemhorizont, de Ksat-waarde de penetrografie. Voor 02/301 was dit de textuur en het organische stofgehalte van de bouwlaag en de tweede bodemhorizont en de Ksat-waarde.

Een overzicht van de perceelsdata wordt weergegeven in Tabel 22.2, Bijlage 22. Een onderscheid wordt gemaakt tussen reeds beschikbare data en ontbrekende data. De groep van ontbrekende parameters werd verder onderverdeeld in twee categorieën: bemonsterde en geanalyseerde parameters en parameters die niet meer in rekening gebracht kunnen of zullen worden. De laatste categorie betreft hoofdzakelijk de parameters die op een diepte van 75 cm bepaald zijn.

De bodemstalen werden hoofdzakelijk geanalyseerd in het laboratorium van de BDB. De vochtretentiekarakteristiek en de verzadigde conductiviteit op ongestoorde bodemstalen werden geanalyseerd in het LWB.

De textuuranalyse werd uitgevoerd volgens twee methoden. Enerzijds werd de textuur handmatig bepaald. Anderzijds werd de textuur granulometrisch bepaald volgens de Pipetmethode in het labo van de BDB. Het organische stofgehalte werd bepaald volgens de natte oxidatietechniek, 'de gewijzigde Walkley-Black methode'.

Het bodemprofiel werd opgesteld aan de hand van een handmatige grondboring (Edelmanboor). Het voorkomen van een ploegzool werd onderzocht met behulp van een penetrograaf. Aangezien de hellingsgraad van het veld invloed kan hebben op de waterhuishouding werd die visueel bepaald.

In dit onderzoek werd de Ksat zowel parametrisch als experimenteel bepaald. Vermits de parametrische bepalingen gebruik maken van gemakkelijk meetbare bodemeigenschappen (zoals textuur, bulkdensiteit en volumetrisch vochtgehalte bij een bepaalde zuigspanning), werden enkel de experimentele bepalingen opgenomen in het overzichtsschema voor bijkomende metingen op het veld. Twee experimentele methoden werden uitgevoerd. Enerzijds de in situ boorgatenmethode en anderzijds de labometrische methode op ongestoorde bodemstalen (Kopecky-ringen).

Van zodra alle bodemparameters verzameld werden, werd de Ksat parametrisch bepaald volgens de PTF van Williams en Ahuja en de artificiële neurale netwerken Rosetta3 en Rosetta5.

Alle resultaten worden weergegeven in Bijlage 23 tot en met Bijlage 37 van het tijssentijdse rapport na het eerste onderzoeksjaar en in bijlage van het voorliggende rapport.

#### **4.3.2. Registratie van meteorologische parameters**

Indien meteorologische parameters (neerslag en  $ET_0$ ) niet voorhanden of volledig waren, werd de meetreeks aangevuld op basis van data van naburige meteostations. Indien nodig werden bestaande klimaatgegevens herkend en op elkaar afgestemd (windsnelheid i.f.v. hoogte van meting,  $ET_0$  volgens Allen et al. (1999)).

De intensiteit van registratie van de klimaatgegevens wordt weergegeven in Tabel 22.3, Bijlage 22.

#### **4.3.3. Registratie van seizoensgebonden plant- en bodemparameters**

De intensiteit van registratie van de seizoensparameters wordt weergegeven in Tabel 22.3, Bijlage 22. Bijkomende metingen op ontbrekende tijdsafhankelijke data zijn niet mogelijk.

Resultaten omtrent gewasontwikkeling en seizoensgegevens worden weergegeven in Bijlage 25, Bijlage 28, Bijlage 33 en Bijlage 37 van het tussentijdse rapport na het eerste onderzoeksjaar.

### **4.4. Opstelling datasets**

Voor elk perceel/plot werd een dataset opgesteld zodat de identificatie, de bodemprofielbeschrijving en de meetreeksen omtrent bodem, klimaat en gewasontwikkeling digitaal beschikbaar zijn. De datasets werden opgesteld volgens een analoge structuur om de validatie van de modelmatige ontwikkelingen te vergemakkelijken.



## 5. WP4: MODELONTWIKKELING, KALIBRATIE, TEST EN VALIDATIE

### 5.1 Inleiding

Een functioneel model voor de CN wordt omschreven als mathematische uitdrukking of een geheel van mathematische uitdrukkingen of expertregels die de CN beschrijven.

In algemene termen wordt een functioneel model gezocht dat

- voldoende nauwkeurig de capillaire nalevering te benaderen
- een mathematisch continue verband weergeeft
- in de mate van het mogelijke, een beperkt aantal en beschikbare inputgegevens vereist
- en hiermee samenhangend kosteffectief is.

De eisen die aan de nauwkeurigheid gesteld worden zijn te omschrijven als maximaal 1 dag afwijking ten opzichte van de optimale dag op minstens 50 % van de percelen. Deze eis is een praktische vereiste en houdt verband met de onnauwkeurigheid in de doorrekening van een waterbalans en de hieruit volgende richtlijnen voor beregning. Men kan stellen dat het waterverbruik door een gewas in de zomer bij groeizaam weer minstens 5 mm/dag bedraagt. De betrouwbaarheid van het model dient statistisch voldoende aangetoond te worden.

Een mathematisch model geeft bij voorkeur een continu verband aan tussen de CN en andere parameters. Een discontinu verband (b.v. tabel met expertregels) kunnen een te grote variatie of “sprongen” meebrengen in de afgeleide CN afhankelijk van de inputparameters.

De operationaliteit, de bruikbaarheid van een functioneel model is gebaat met inputgegevens die bij voorkeur reeds beschikbaar en/of eenvoudig meetbaar zijn. Eenvoud van toepassing en kosteffectiviteit zijn in die zin eveneens technologische doelstellingen.

De ontwikkeling van een functioneel model geschikt voor de benadering van de capillaire nalevering en voor de onderbouwing van een programma voor irrigatiesturing is in 4 verschillende fases gebeurd waarin telkens aanpassingen en verbeteringen werden aangebracht zowel in de inputparameters als aan de mathematische uitdrukking, het algoritme.

In hetgeen volgt worden deze fases en hierbinnen de benaderingswijzen kort samengevat. De volgende delen rapporteren erna in detail over de gevolgde rekenwijzen, toetsingen en validaties.

## Samenvatting van het ontwikkelingstraject

### *Eerste functioneel model:*

In eerste fase werd vertrokken vanuit de set van twaalf standaard waterretentiecurven die overeenkomen met de twaalf verschillende textuurklassen volgens de classificatiemethode: USDA, 1991. Voor elke textuurklasse binnen deze classificatie bestaat een karakteristieke  $\theta$ -h relatie.

Vergelijking van de USDA-classificatie in de bodemtextuur met het Belgische textuurclassificatiesysteem deed besluiten om de textuurklassen “sandy clay” en silty clay loam” buiten beschouwing te laten wegens het weinig voorkomen van deze bodemtextuur in België. Binnen het USDA-systeem wordt voor elke textuurklasse een karakteristieke Ksat waarde gesteld. Gezien het verband tussen een bodemtextuur en de Ksat-waarde allerm minst eenduidig is, wordt deze onzekerheid meegenomen in de verdere analyse.

Op basis van verzadigde hydraulische conductiviteitsklassen (FAO, 1990) en de waterretentiecurves werden de tien USDA- textuurklassen onderverdeeld in vier groepen:

- sand - loamy sand - sandy loam (Ksat 200-2000 mm/dag),
- loam – silt loam – silt (Ksat 100-750 mm/dag),
- sandy clay loam – clay loam (Ksat 5-150 mm/dag) en
- silty clay – clay (Ksat 1-50 mm/dag).

Per textuurgroep wordt een berekeningsmodule opgebouwd. Meer bepaald, wordt per textuurgroep, die gekenmerkt is door een bepaalde waterretentiecurve, de capillaire opstijging berekend in functie van de grondwaterdiepte en een range van Ksat-waarden.

De capillaire opstijging wordt met behulp van UPFLOW berekend op basis van de voor de groep karakteristieke waterretentiecurve en dat met zeven verschillende groottes voor de Ksat-waarde, vastgelegd binnen de Ksat-range (FAO) van de desbetreffende textuurgroep en telkens voor verschillende grondwaterstanden. De diepte van de grondwatertafel wordt gevarieerd met stappen van 0.10 m, tussen 0 en 3 m onder het onbedekte bodemoppervlak. De evaporatievraag aan de bodemoppervlakte werd maximaal gekozen (8 mm/dag), aanzienlijk hoger dan mogelijk voorkomende waarden in zone streken, zodat steeds de maximale nalevering wordt berekend. De aanvangsvochttoestand in de bodem werd hoog gekozen ‘well watered’. Onder een verdroogde bodem neemt de nalevering drastisch af.

Vervolgens werd per Ksat-waarde en per diepte de gemiddelde CN voor de verschillende waterretentiecurves binnen een bepaalde textuurgroep berekend. De CN werd uitgezet in functie van de diepte van de grondwatertafel gaande van 0 tot 3 m beneden het bodemoppervlak. Vervolgens werd voor elke Ksat-waarde een ln-functie gefit doorheen de punten volgens de structuur:

$$x = e^{\left(\frac{y-b}{a}\right)} \quad (5.1)$$

waarbij:        y: diepte grondwatertafel beneden het bodemoppervlak [m]  
                   x: capillaire opstijging [mm/dag]

De parameters a en b worden uitgedrukt in functie van de Ksat (mm/dag), afgeleid door a en b uit te zetten in functie van de Ksat en vervolgens een ln-functie of een rechte te fitten doorheen de punten.

De bekomen modellen geven op deze wijze, per textuurgroep, een relatie tussen de capillaire nalevering enerzijds, en anderzijds de grondwaterstand en de Ksat-waarde.

Deze modellen werden per textuurgroep getoetst door de vergelijking van de modelresultaten aan de simulatieresultaten uit UPFLOW op basis van 5 verschillende opgemeten gegevensreeksen over zeer verschillende textuurklassen: perceelskarakteristieken verzameld in het kader van het huidige onderzoek, gepubliceerde gegevens van Rijtjema (1969), Wösten et al. (1994), Raes en Deckers (1993) en Meyer et al. (1997).

Uit deze toetsing werden een aantal besluiten getrokken die aanleiding gaven tot de ontwikkeling van een volgend functioneel model.

***Tweede functioneel model:***

In de tweede benadering werd een logaritmisch uitdrukking van de grondwaterstand meegenomen.

Een tweede functioneel model, een geheel van rekenmodules voor de 4 textuurgroepen, werd afgeleid.

Een beperkte validatie op basis van een 10tal meetreeksen leverde als geheel onvoldoende nauwkeurigheid.

***Derde functioneel model:***

Er werd in principe gestart met de meetreeksen van bodemparameters en vochtretentiekarakteristieken die werden verzameld of bepaald in het kader van het huidige onderzoek in de Werkpakketten WP1, WP2 en WP3.

De vochtretentiekarakteristieken (WRC) van de bodemlagen van alle percelen werden herrekend op basis van de individuele meetwaarden volgens het parametrisch model van Van Genuchten (1980) en statistisch gegroepeerd in 9 klassen (curvetypes).

Voor de 9 klassen werden rekenmodules afgeleid op basis van de hoger aangegeven logaritmische verbanden.

De toetsing van het model leverde echter onrealistische waarden voor CN.

***Vierde functioneel model:***

Teneinde de WRC van de onderzochte bodems beter te benaderen werd een 4<sup>de</sup> graadsvergelijking als model toegepast.

Na statistische groepering in 8 groepen (curvetypes) werden de rekenmodules afgeleid.

Hierna volgt een zeer uitgebreide validatie op basis van meetreeksen en data van 104 percelen met telkens 5 verschillende benaderingen van de hydraulische conductiviteit (Ksat-waarde).

Uit de statistische analyse van de modelresultaten blijkt dat het vierde functionele model duidelijk operationele mogelijkheden heeft.

## 5.2 Afleiding van eenvoudige rekenmodules op basis van UPFLOW (Eerste functioneel model)

### 5.2.1 Capillaire nalevering en UPFLOW

De beweging van water door een poreus medium wordt weergegeven door de vergelijking van Darcy:

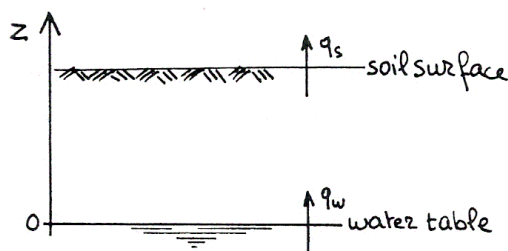
$$q = -K(\psi) \text{ grad } \psi \quad (5.2)$$

Waarbij  $q$  [m/dag] staat voor de waterflux door de bodem, positief wanneer het water opstijgt naar het bodemoppervlak.  $K(\psi)$  [m/dag] is de hydraulische conductiviteit in functie van  $\psi$  (de waterpotentiaal).

De belangrijkste componenten van  $\psi$  in een niet-zoute bodem zijn  $\psi_m$  en  $\psi_p$ . De waterflux wordt over heel het profiel als gelijk beschouwd wanneer de capillaire opstijging beschreven wordt in een steady-state model ( $q_s = q_w$ ) (zie figuur 5.1). De flux doorheen de bodem kan dan geschreven worden als:

$$q_s = q_w = q = -K(h) \text{ grad } (h + z) \quad (5.3)$$

Waarbij  $q$  [m/dag] de waterflux is,  $h$  de energie per gewichtseenheid,  $z$  de verticale coördinaat die positief gericht is naar het bodemoppervlak en  $K(h)$  [m/dag] de hydraulische conductiviteit in functie van  $h$ .



Figuur 5-1 Capillaire opstijging

Genoteerd met differentiaal wordt dit (Richards, 1931):

$$q = -K(h) \left( \frac{\delta h}{\delta z} + 1 \right) \quad (5.4)$$

Hieruit wordt  $z$  bepaald door integratie (De Laat, 1980). Het referentieniveau ( $z = 0$ ) wordt gekozen op het freatisch oppervlak waar geldt:  $h = 0$ .

$$z = - \int_0^h \frac{-1}{1 + q/K(h)} dh \quad (2.5)$$

Waarbij  $z$  [m] de verticale coördinaat is,  $q$  de opwaartse waterflux [(m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>)/dag],  $h$  [m] de matrixpotentiaal per eenheid van gewicht en  $K(h)$  [m/dag] de hydraulische conductiviteit in functie van  $h$ .

De waterstroming van de grondwatertafel naar de oppervlakte van de bodem is de capillaire opstijging of capillaire nalevering (CN). In de bovenstaande uitdrukking kan de opstijging gedefinieerd worden als de hoogte boven de watertafel die het water kan stijgen, rekening houdend met de matrixkrachten die gelden op die hoogte. Om uitdrukking (5.5) uit te rekenen dient de relatie tussen  $K$  en  $h$  gekend te zijn. De  $K(h)$ -relatie wordt o.a. beschreven door Rijjtjema (1969), Kunze et al. (1968), Bloemen (1980a) en Wesseling (1981). Brandyk en Wesseling (1985) en Bloemen (1983) berekenden met behulp van deze  $K(h)$ -relaties de hoogte van de capillaire opstijging. Van der Molen (1972) berekende de hoogte eveneens vertrekkende vanuit de gegevens van Rijjtjema (1969). De grootte van de waterflux naar de

oppervlakte is ook afhankelijk van het kleigehalte en het organische stofgehalte in de bodem. Een lager kleigehalte zorgt voor een hogere waterflux, een hoger organische stofgehalte eveneens. Bovendien wordt de flux ook onregelmatig naarmate er meerdere horizonten in de bodem voorkomen. Wind (1961) gaf aan dat wanneer een zandbodem bedekt wordt met een laag klei de capillaire opstijging van de zandbodem zal verminderen. Omgekeerd zal een laag zand boven een laag klei het watertransport in de laag klei doen toenemen. De capillaire opstijging wordt volgens Bannink en Wösten (1988) voornamelijk bepaald door de bovenste 60 cm van een bodemprofiel.

UPFLOW (Raes 2002, Raes en Deproost 2003) is een steady-statemodel dat de capillaire opstijging berekent op basis van vergelijking (5.5) uitgaande van de volgende gegeven:

- de gemiddelde evapotranspiratie (mm/dag);
- het gemiddelde watergehalte in de bodem;
- de diepte van de grondwatertafel;
- karakteristieken van de waterextractie van de plant;
- het bodemprofiel en het zoutgehalte van de watertafel.

Voor deze waarden geeft UPFLOW:

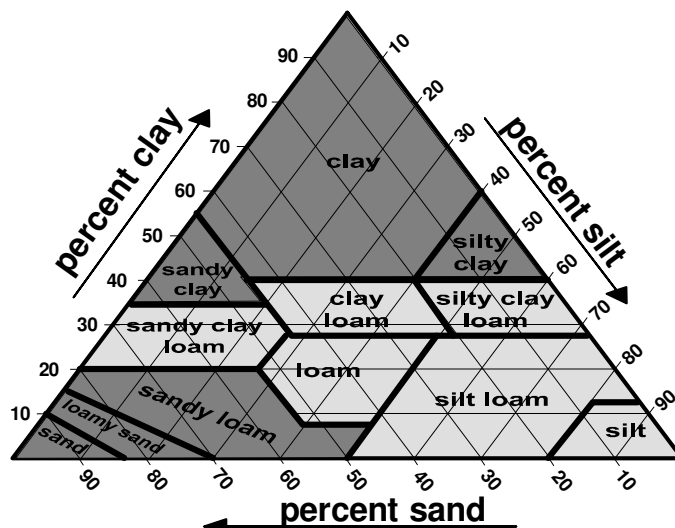
- de verwachte waterflux van de grondwatertafel naar wortelzone;
- het verwachte vochtgehalte in de wortelzone;
- de hoeveelheid zout die getransporteerd wordt en de graad van waterlogging (in %) in de wortelzone.

De bodemkarakteristieken die UPFLOW nodig heeft om de CN te berekenen zijn de waterretentiecurve (WRC) en de verzadigde hydraulische conductiviteit (Ksat). In UPFLOW is de WRC ingegeven op twee manieren: een set van representatieve waterretentiepunten waardoor de WRC getekend wordt en een set van parameters. De parameterset steunt op de vergelijking van Van Genuchten *et al.* (1991):

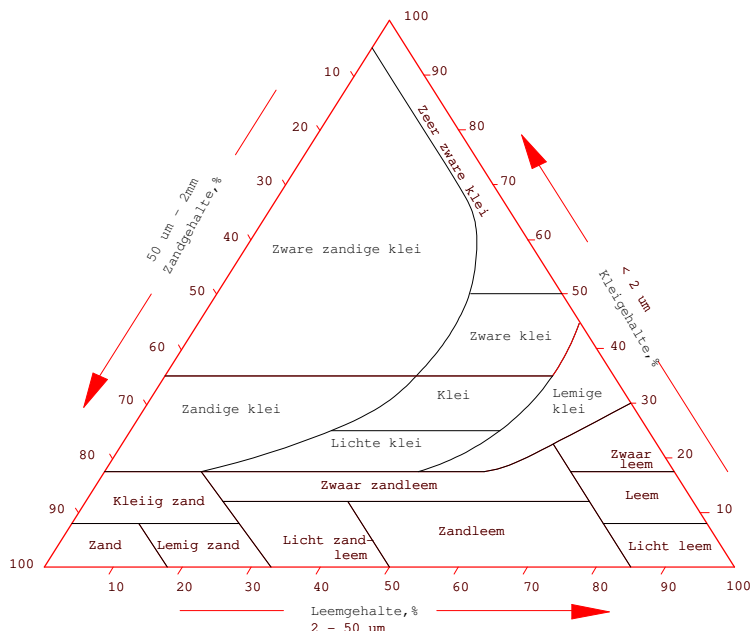
$$\theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \frac{1}{\left[1 + |\alpha h^n|\right]^m} \quad (5.6)$$

waarbij  $h$  [m] de drukhoogte is,  $\theta(h)$  [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ] het vochtgehalte in functie van  $h$ ,  $\theta_s$  [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]  $\theta_r$  [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ] de verzadigde en residuele vochtinhoud,  $\alpha$  [ $\text{m}^{-1}$ ] een empirische parameter gerefereerd naar de luchtintrede waarde,  $n$  en  $m$  empirische parameters die de vorm van de waterretentiecurve beschrijven.

Representatieve waarden voor de Ksat, het residueel vochtgehalte ( $\theta_r$ ), het vochtgehalte bij verzadiging ( $\theta_s$ ) en de empirische parameters  $\alpha$  en  $n$  zijn terug te vinden in de parameterset. Voor 12 verschillende bodemtypes bestaat er in UPFLOW een representatieve curve (standaardcurve), een parameterset en telkens een bijhorende Ksat. De 12 verschillende bodemtypes zijn telkens representatief voor een textuurklasse in de USDA-classificatie. In figuur 5.2 is de indeling in de verschillende textuurklassen weergegeven. Figuur 5.3 geeft de indeling volgens de het Centrum voor Bodemkartering, België (Naar Deckers J., 1996)



Figuur 5-2 Textuurdriehoek en -benamingen volgens de USDA-benadering



Figuur 5-3 Onderverdeling in grondsoort voor niet venige gronden met een grove fractie < 5% volgens het Centrum voor Bodemkartering, België (Naar Deckers J., 1996)

Met behulp van de Ksat en de WRC wordt de K(h)-relatie berekend die nodig is om vergelijking (5.5) op te lossen. De methode voor deze berekening wordt gegeven door Mualem (1976), Van Genuchten *et al.* (1991) wanneer een set met parameters wordt gebruikt. Indien een set met curven wordt gebruikt, wordt de relatie beschreven door Kunze *et al.* (1968) en Jackson (1972).

De doorrekening van de CN met UPFLOW is dermate omstandig dat onmogelijk voor elke praktijksituatie en 'online', op elk ogenblik, de CN kan berekend worden. In die zin is het geen operationeel model om op dagbasis aan te wenden en dient gezocht te worden naar een vereenvoudigd model.

### 5.2.2 Ontwikkeling van een functioneel model

De ontwikkeling van een functioneel model is een alternatief om de capillaire opstijging (CN) voldoende snel te benaderen zonder uitgebreide simulatie. In hetgeen volgt werd dit ontwikkeld op basis van UPFLOW. Het model bestaat uit vergelijkingen waarbij de capillaire opstijging geschreven wordt in functie van de diepte van de grondwatertafel en de verzadigde hydraulische conductiviteit ( $K_{sat}$ ) van de bodem.

Vooraleer de vergelijkingen afgeleid worden, zal eerst nagegaan worden wat het belang is van de nauwkeurigheid van de waterretentiecurve (WRC) in UPFLOW. Indien blijkt dat de WRC in UPFLOW geen grote invloed heeft op de CN, dan zou bij het opstellen van het functioneel model (de vergelijkingen) de inputparameter WRC kunnen vervangen worden door de inputparameter textuur.

Er worden vier vergelijkingen opgesteld, elke vergelijking telkens voor drie textuurklassen uit de USDA textuurdriehoek (zie figuur 5.2). De WRC wordt bijgevolg niet meer specifiek voor het perceel ingegeven, maar zit vevat in de vier verschillende vergelijkingen.

De invloed van de WRC zal besproken worden in punt 5.2.3 Hieruit zal blijken dat WRC een beperkte invloed heeft op de CN en dat mogelijk vergelijkingen opgesteld zouden kunnen worden zonder de WRC specifiek als inputparameter.

De vergelijkingen worden afgeleid in punt 5.2.4. Vertrekkende van UPFLOW worden er grafieken opgesteld waarbij de CN wordt uitgezet in functie van de grondwatertafeldiepte. Met behulp van deze grafieken worden vier vergelijkingen afgeleid. Elke vergelijking betreft drie USDA textuurklassen.

Hierna wordt elke vergelijking terug getoetst aan UPLOW in 5.2.5. Voor enkele bodems waarvan de  $K_{sat}$ , de WRC en de textuur gekend is, wordt de CN berekend enerzijds met de vergelijkingen, anderzijds met UPFLOW.

### 5.2.3 Invloed van de waterretentiecurve in UPFLOW

De capillaire nalevering (CN) wordt door UPFLOW berekend op basis van de waterretentiecurve (WRC). UPLOW voorziet ook om, wanneer de textuur van de bodem gekend is, de CN te bepalen met behulp van een standaard-WRC uit de databank van UPFLOW. Elke standaardcurve uit de databank hoort bij een textuurklasse uit figuur 5.2. Het verschil tussen de twee methodes werd onderzocht voor 42 bodems en is weergegeven in bijlage 39.

Met behulp van een statistisch programma (SPSS) werd getest of de CN tussen de twee werkmethodes significant verschilt en welke de correlatie tussen de twee methodes is.

Het verschil tussen de gemiddelde CN bepaald via de textuur en de gemiddelde CN bepaald via de WRC werd nagegaan met de gepaarde t-test. Met deze test werd een betrouwbaarheidsinterval voor het gemiddeld verschil tussen de twee methodes opgesteld (zie tabel 5.2). Wanneer het betrouwbaarheidsinterval de waarde 0 omvat, verschilt de gemiddelde CN bepaald via de textuur niet significant van de gemiddelde CN bepaald via de WRC. Indien het betrouwbaarheidsinterval de waarde 0 omvat is ook het significantieniveau groter dan 0,05.

Per bodem en per diepte werd de CN berekend via de textuur enerzijds en via de WRC anderzijds. Het verschil tussen de twee methodes moet normaal verdeeld zijn, anders mag de

gepaarde t-test niet toegepast worden. De normaliteit werd getest met de Kolmogorov-Smirnov test (zie tabel 5.1). Deze test vergelijkt de verdeling van een gegevensgroep met de normale verdeling. De gegevensgroep is normaal verdeeld wanneer het significantieniveau groter is dan 0,05.

Indien de verschillen tussen de twee methodes niet normaal verdeeld waren, werd de CN via de WRC vergeleken met de CN via de textuur met de Wilcoxon Signed Ranks test (zie tabel 5.3). De Wilcoxon Signed Ranks test is het alternatief voor de gepaarde t-test wanneer gegevens niet normaal verdeeld zijn. De nulhypothese van de Wilcoxon Signed Ranks test stelt dat het gemiddeld verschil tussen twee gegevensgroepen gelijk is aan nul (Lowry, 2006). Wanneer het significantieniveau groter is dan 0,05 dan verschillen de gemiddeldes tussen de twee gegevensgroepen niet significant.

Tabel 5-1 Kolmogorov-Smirnov test: Invloed van de waterretentiecurve (WRC) in UPFLOW

		verschil 0,5	verschil 1	verschil 1,5	verschil 2	verschil 2,5	verschil 3
N		42	42	42	42	42	42
Normal Parameters (a,b)	Mean	1,467	0,819	0,379	0,162	0,100	0,055
	Std. Deviation	3,438	2,826	2,035	1,200	0,819	0,598
Kolmogorov-Smirnov Z		1,240	1,406	1,824	1,831	1,852	1,965
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,092	0,038	0,003	0,002	0,002	0,001

Verschil 0,5 is het verschil in CN (mm/dag) tussen de CN berekening via de WRC en de CN berekening via de textuur op een diepte van 0,5 m. verschil 1 is hetzelfde verschil op een diepte van 1 m. N is het aantal geteste bodems in dit geval 42.

De Kolmogorov-Smirnov test (zie tabel 5.1) geeft aan dat het verschil tussen de CN berekend via de WRC en de CN berekend via de textuur enkel normaal verdeeld is, wanneer de grondwatertafel 0,5 m diep ligt. Het significantieniveau ('Asymp. Sig.') is dan 0,092 wat groter is dan 0,05. Op deze diepte werd de gepaarde t-test toegepast, op de andere dieptes de Wilcoxon Signed Ranks test:

Tabel 5-2 Gepaarde t test: Invloed van de waterretentiecurve (WRC) in UPFLOW

T	a	Paired Differentie					t	dof	Sig.(2-tailed)	
				Std. Erdoor Mean	95 % Confidence Interval of the Difference					
		Mean	Std. Deviation		Lower	Upper				
	Pair 1	WRC 0,5 – textuur 0,5	0,731	2,134	0,329	0,066	1,396	2,220	41	0,032

WRC 0,5 betekent dat de CN berekend is met UPFLOW via de WRC op een diepte van 0,5 m, textuur 0,5 betekent dat de CN berekend is met UPFLOW via de textuur op een diepte van 0,5 m. WRC 0,5 - textuur 0,5 is per diepte voor elke bodem het verschil tussen de twee methodes in CN (mm/dag).

Volgens de gepaarde t test (zie tabel 5.2) is er een significant verschil tussen de twee gemiddeldes want 0 ligt niet in het 95 % betrouwbaarheidsinterval ('95 % confidence interval of the difference'). Het gemiddeld verschil is 0,7 mm/dag. Het gemiddeld verschil ligt, voor 95 % significant, tussen 0,066 mm/dag en 1,396 mm/dag.

Tabel 5-3 Wilcoxon Signed Ranks test: Invloed van de waterretentiecurve (WRC) in UPFLOW

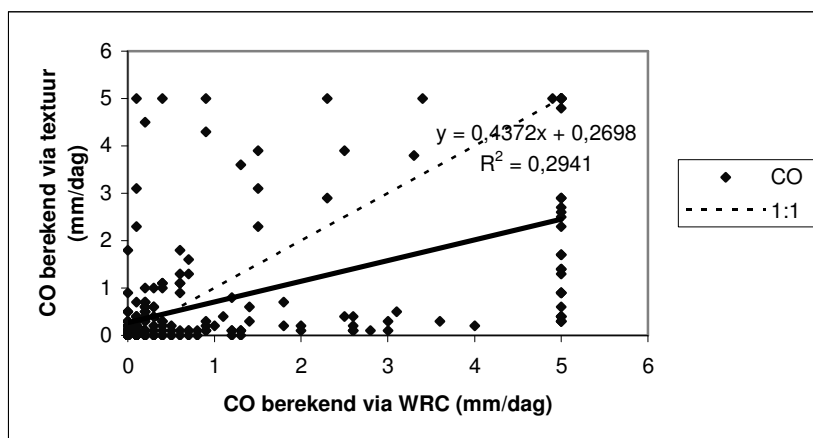
	textuur 1 – WRC 1	textuur 1,5 – WRC 1,5	textuur 2 – WRC 2	textuur 2,5 – WRC 2,5	textuur 3 – WRC 3
Z	-1,452	-1,016	-0,587	-1,090	-0,892
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,146	0,309	0,557	0,276	0,373

Textuur 1 betekent dat de CN berekend is met UPFLOW via de WRC op een diepte van 1 m, WRC 1 betekent dat de CN berekend is met UPFLOW via de textuur op een diepte van 1 m. textuur 1 - WRC 1 is per diepte voor elke bodem het verschil tussen de twee methodes in CN (mm/dag).



De Wilcoxon Signed Ranks test (zie tabel 5.3) geeft aan dat wanneer de grondwatertafel dieper ligt, er geen significant verschil is tussen de gemiddeldes. Voor geen enkele diepte is het significantieniveau ('Asymp. Sig.>') kleiner dan 0,05.

De correlatie tussen de CN berekend via de textuur en de CN berekend via de WRC is laag (zie figuur 5.4). Het absoluut verschil tussen de twee methodes is laag, namelijk 0,3 mm/dag gemiddeld wanneer de grondwatertafel 1,5 meter diep ligt, maar het relatief verschil tussen de twee methodes is groot, de gemiddelde CN op 1,5 m diepte is 0,8 mm/dag berekend via de WRC.



Figuur 5-4 CN berekend via de textuur in functie van de CN berekend via de waterretentiecurve (WRC)

## Besluit

Met behulp van UPFLOW kan de capillaire opstijging (CN) berekend worden via de textuur en via de waterretentiecurve. Hoewel er een relatief verschil is tussen de twee methodes, is er slechts een klein absoluut verschil. Enkel wanneer de grondwatertafel op een diepte van 0,5 m lag, werd er een significant verschil vastgesteld tussen de gemiddelde CN berekend via de textuur en de gemiddelde CN berekend via de waterretentiecurve. In de praktijk is voor de CN-schatting het absoluut verschil belangrijker dan het relatief verschil.

Aangezien er slechts een klein absoluut verschil is, wordt bij het afleiden van de vergelijkingen de waterretentiecurve in deze eerste benadering niet beschouwd als inputparameter en wordt enkel de textuur beschouwd.

### 5.2.4 Afleiding functioneel model

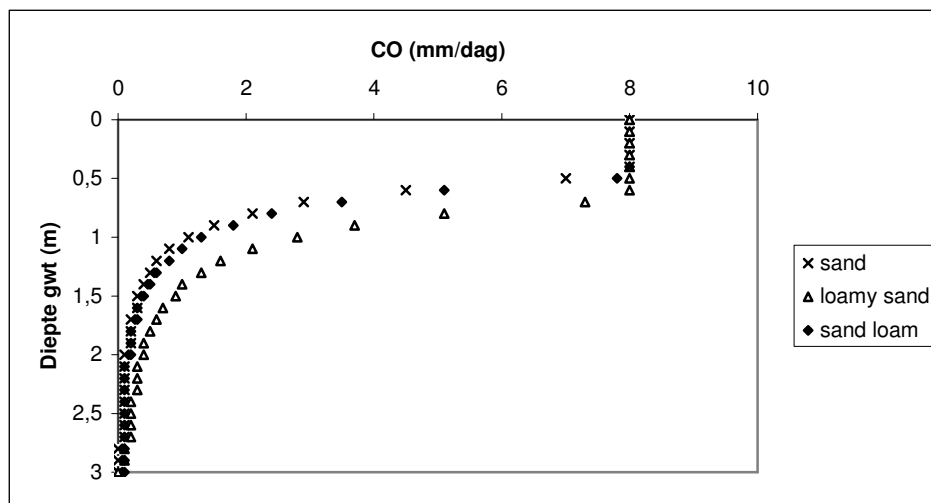
Doorenbos en Pruitt (1977) publiceerden representatieve curven van negen verschillende bodemtypes. In deze curven werd de capillaire opstijging (CN) weergegeven in functie van de grondwaterdiepte. In kleibodems is de snelheid van de CN klein, maar de stijghoogte is groot. Voor zandige bodems is dit net omgekeerd. Soortgelijke curven werden met behulp van UPFLOW opgesteld voor 12 verschillende textuurklassen. De curven werden opgesteld voor een bodem zonder begroeiing met een evaporatie van 8 mm/dag. Dit is bijgevolg de bovengrens voor de CN. De opgestelde curven zijn weergegeven in figuur 5.5 tot 5.8. De CN werd berekend met de standaardcurven uit de dataset van UPFLOW met een indicatieve waarde voor de Ksat.

De textuurklassen werden per drie gegroepeerd. Het functioneel model bestaat uit vier vergelijkingen waarmee de CN geschat kan worden. Texturen waarvan de CN overeenkomt, werden gegroepeerd in een klasse. Elke klasse vertegenwoordigt drie textuurklassen:

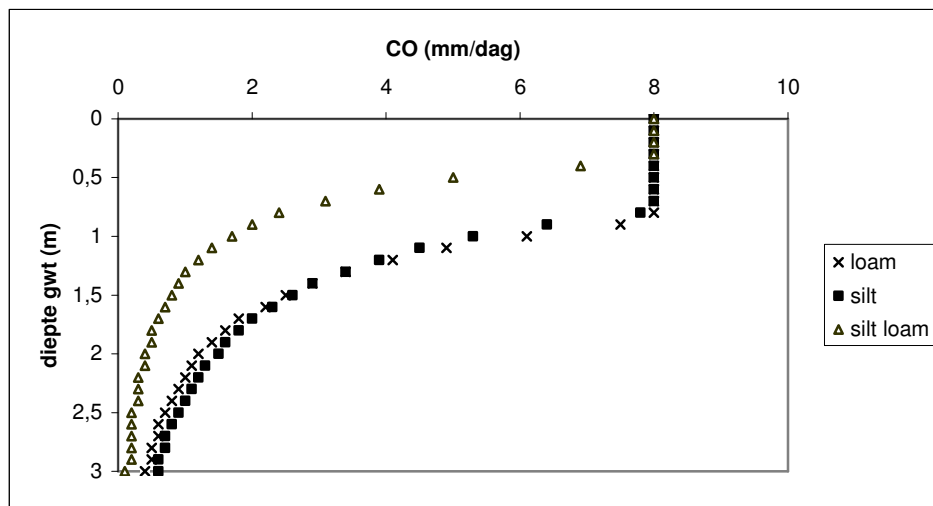
- Klasse I: sand, loamy sand, sand loam (zand, lemig zand, zandleem) (zie figuur 5.5);
- Klasse II: loam, silt loam, silt (lichte leem, lemige klei, zwaar zandleem) (zie figuur 5.6);
- Klasse III: sandy clay, sandy clay loam, clay loam (zandige klei, zware zandige klei, klei) (zie figuur 5.7);
- Klasse IV: silty clay loam, clay, silty clay (lemige klei, zware klei, zeer zware klei) (zie figuur 5.8).

De waarden voor silt loam en silty clay loam verschillen van de andere klassen in hun groep (zie figuur 5.6, 5.8). In de praktijk is het onderscheid tussen silt loam, silt en loam niet eenvoudig te bepalen. Daarom is een groepering toch aangewezen. Eenzelfde redenering geldt voor silty clay loam, dat samen genomen werd bij clay en silty clay.

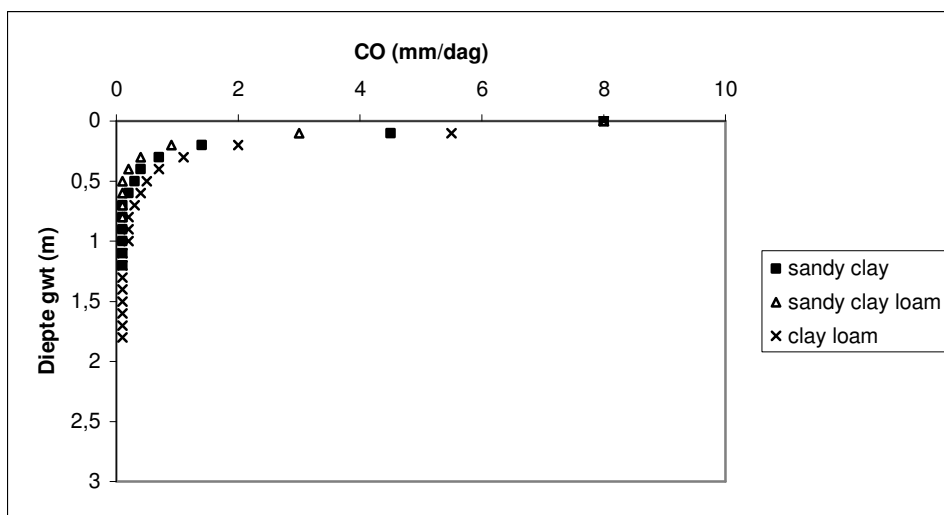
Deze indeling groepeert telkens drie aangrenzende textuurklassen. Dit maakt het eenvoudig om te bepalen welke klasse aangewezen is om de CN te schatten. Een oppervlakkige textuurbepaling, bijvoorbeeld handmatig, is nauwkeurig genoeg om te beslissen welke vergelijking aangewezen is om de CN te schatten.



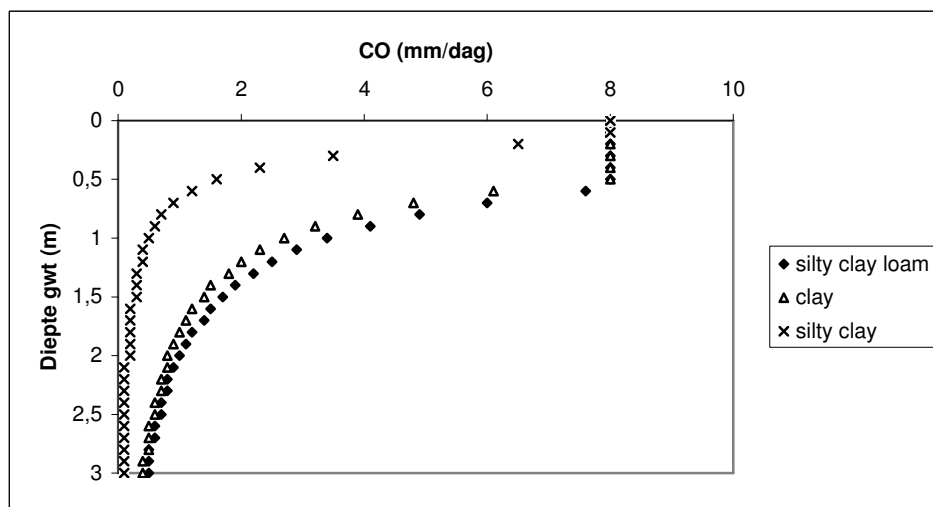
Figuur 5-5 CN voor klasse I in functie van de diepte van de grondwatertafel (diepte gwt) ( $K_{sat}$  500 mm/dag)



Figuur 5-6 CN voor klasse II in functie van de diepte van de grondwatertafel (diepte gwt) ( $K_{sat}$  360 mm/dag)



Figuur 5-7 CN voor klasse III in functie van de diepte van de grondwatertafel (diepte gwt) ( $K_{sat}$  50 mm/dag)



Figuur 5-8 CN voor klasse IV in functie van de diepte van de grondwatertafel (diepte gwt) ( $K_{sat}$  30 mm/dag)

Voor elke textuurklasse buigt de curve af wanneer de grondwatertafel ondiep wordt. Een kleine variatie in grondwaterdiepte heeft voor die diepte een grote variatie in CN tot gevolg.

De relatie tussen CN en de grondwaterstand is wiskundig te benaderen door de volgende vorm:

$$y = a \ln(x) + b \tag{5.7}$$

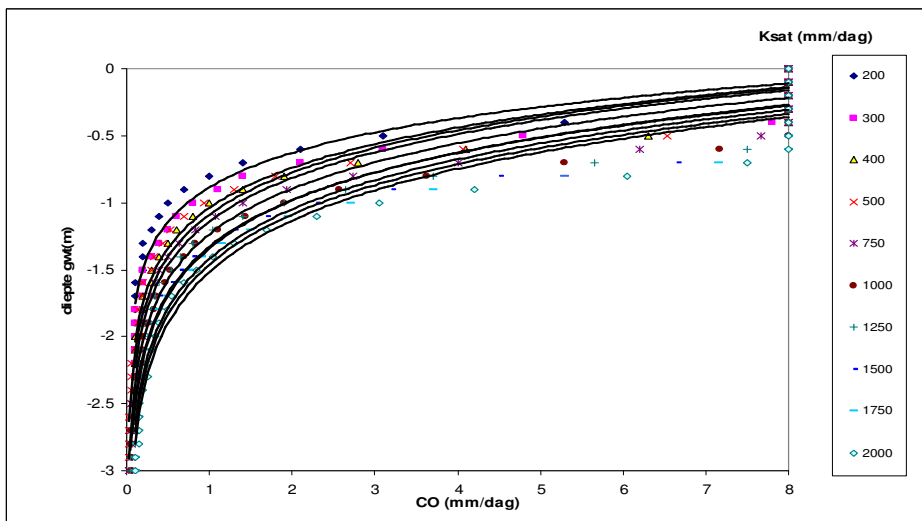
Waarbij  $y$  de de grondwaterdiepte  $z$  [m] is,  $x$  de CN [mm/dag] en  $a$  en  $b$  parameters die variëren in functie van  $K_{sat}$  [mm/dag]. Vergelijking (5.7) wordt herschreven als:

$$x = \exp\left(\frac{y-b}{a}\right) \tag{5.8}$$

Voor deze functie werd per klasse de optimale waarden voor  $a$  en  $b$  berekend i.f.v. de  $K_{sat}$ . Voor klasse I werd de CN berekend voor een  $K_{sat}$  van 200 tot 2000 mm/dag, voor klasse II van 100 tot 750 mm/dag, voor klasse III van 1 tot 150 mm/dag net zoals voor klasse IV. Deze indicatieve grenzen voor  $K_{sat}$ -waarden werden voor alle textuurklassen (Raes, 2002).

**Klasse 1 sand, loamy s, sand loam:**

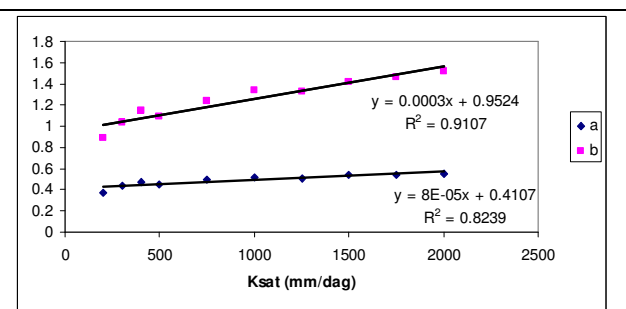
$$CN = \exp(z+(0,0003K_{sat}+0,9524))/8e-0,5K_{sat}+0,4107$$



Figuur 5-9 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand ( $z$ ) voor textuurklasse I bij binnen de groep voorkomende  $K_{sat}$ -waarden.

$K_{sat}$ (mm/dag)	$a$	$b$	$R^2$
200	0.3736	0.8867	0.9503
300	0.4338	1.0406	0.9411
400	0.4715	1.1422	0.9472
500	0.4535	1.0892	0.9688
750	0.4902	1.2364	0.9697
1000	0.5145	1.3402	0.9732
1250	0.5057	1.3295	0.9697
1500	0.5351	1.4193	0.9650
1750	0.5407	1.4625	0.9666
2000	0.5562	1.5187	0.9692

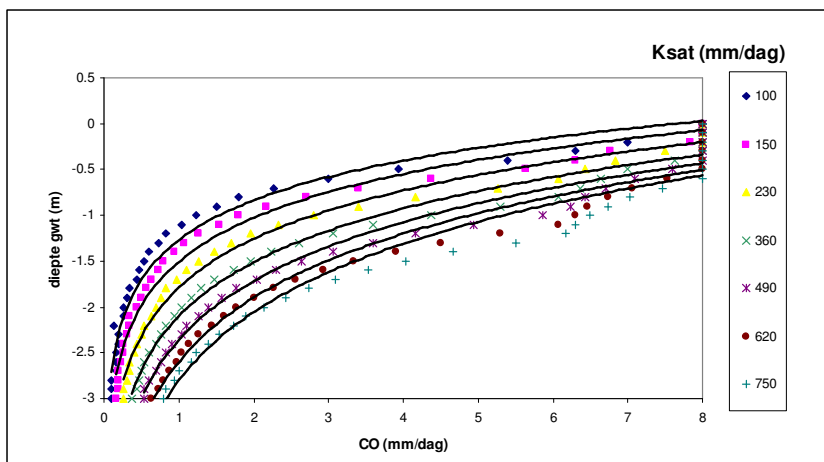
Tabel 5-4 De coëfficiënten  $a$  en  $b$  in het model  $\{z = a(\ln(CN)) + b\}$  in functie van de  $K_{sat}$ -waarde voor textuurklasse I.



Figuur 5-10 Ln-relatie tussen de coëfficiënten  $a$  en  $b$ , en  $K_{sat}$  voor textuurklasse I

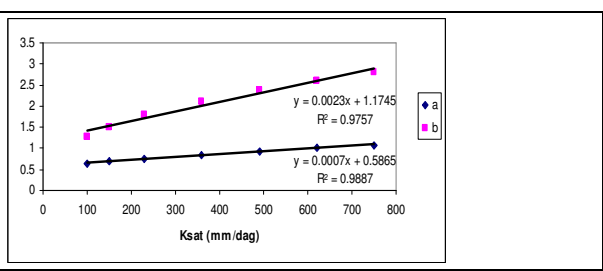
**Klasse 2 loam, silt loam, silt :**

$$CN = \exp(z+(0,0023Ksat+1,1745))/0,0007Ksat+0,5865$$



Figuur 5-11 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor textuurklasse 2 bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.

Ksat (mm/dag)	a	b	R <sup>2</sup>
100	0.624	1.2677	0.9681
150	0.6895	1.5045	0.9791
230	0.76	1.7828	0.9872
360	0.846	2.0976	0.9853
490	0.9261	2.3582	0.9731
620	1.0067	2.5964	0.9603
750	1.0757	2.8008	0.9454

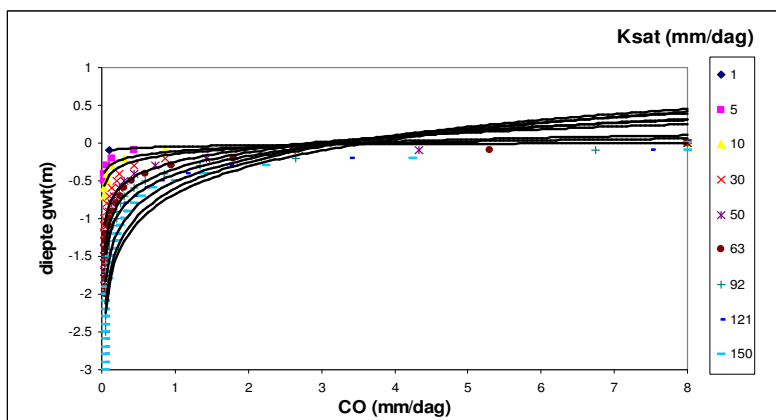


Tabel 5-5 De coëfficiënten a en b in het model  $\{z = a (\ln(CN)) + b\}$  in functie van de Ksat-waarde voor textuurklasse 2

Figuur 5-12 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor textuurklasse 2

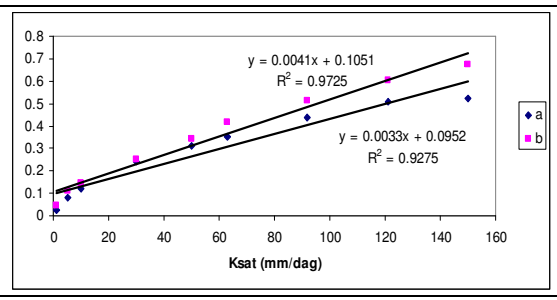
**Klasse 3 sandy clay, sandy clay loam, clay loam:**

$$CN = \exp(z+(0,0041Ksat+0,105))/0,0033Ksat+0,0952$$



Figuur 5-13 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor textuurklasse 3 bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.

Ksat (mm/dag)	a	b	R <sup>2</sup>
1	0.0228	0.0475	1
5	0.0816	0.1102	0.8344
10	0.1203	0.1469	0.8575
30	0.2422	0.252	0.8631
50	0.3114	0.3406	0.8775
63	0.3523	0.4161	0.8349
92	0.4378	0.5128	0.8259
121	0.5082	0.6052	0.8357
150	0.5249	0.6767	0.8609

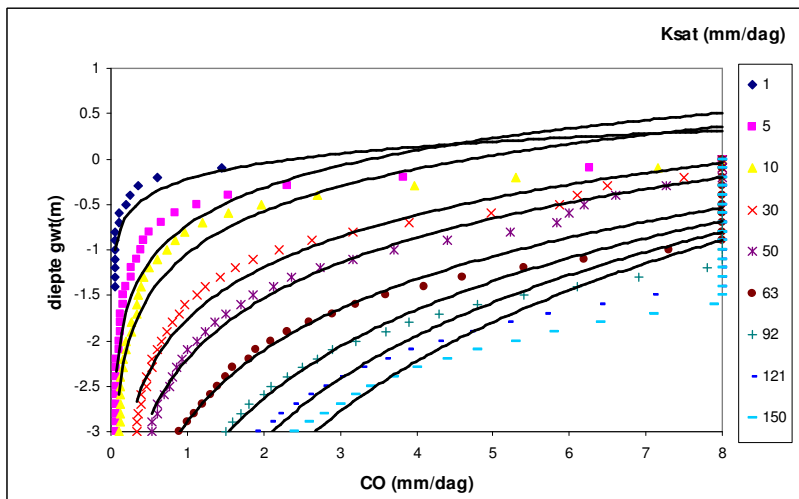


Tabel 5-6 De coëfficiënten a en b in het model  $\{z = a(\ln(CN)) + b\}$  in functie van de Ksat-waarde voor textuurklasse 3.

Figuur 5-14 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor textuurklasse 3

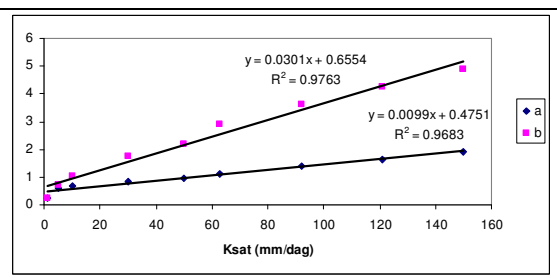
**Klasse 4 silty clay, clay:**

$$CN = \exp(z + (0,0301Ksat + 0,6554)) / (0,0099Ksat + 0,4751)$$



Figuur 5-15 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor textuurklasse 4 bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.

Ksat (mm/dag)	a	b	R <sup>2</sup>
1	0.2577	0.2244	0.775
5	0.5939	0.7271	0.890
10	0.6727	1.0411	0.925
30	0.8284	1.7646	0.974
50	0.9605	2.1997	0.988
63	1.1322	2.8932	0.952
92	1.4086	3.6129	0.906
121	1.6486	4.232	0.848
150	1.9266	4.8978	0.791



Tabel 5-7 De coëfficiënten a en b in het model  $\{z = a(\ln(CN)) + b\}$  in functie van de Ksat-waarde voor textuurklasse 4.

Figuur 5-16 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor textuurklasse 4

## 5.2.5 Toetsing van het functioneel model aan UPFLOW

### 5.2.5.1 Toetsing

De vier vergelijkingen van het functioneel model zijn gebaseerd op het programma UPFLOW. UPFLOW berekent de capillaire opstijging (CN) theoretisch. De vergelijkingen moeten zorgen voor een snelle schatting van de CN met minder inputgegevens. Dit impliceert dat de vergelijkingen mogelijk minder nauwkeurig zijn dan de modelberekening met UPFLOW.

Bij de vergelijkingen moet de Ksat, de textuur en de diepte van de grondwatertafel gekend zijn om de CN te schatten. In UPFLOW wordt ook de waterretentiecurve (WRC) ingebracht. Bovendien wordt bij de afleiding van de vergelijkingen een uniforme bodem verondersteld.

Om de vergelijkingen te testen, werden opgemeten gegevens gebruikt die in het kader van het huidige onderzoek werden verzameld (WP1, WP2 en WP3), gepubliceerde gegevens van Rijtjema (1969), Wösten *et al.* (1994), Raes en Deckers (1993) en Meyer *et al.* (1997). Voor gegevens van WP1 tot WP3, Raes en Deckers (1993) Rijtjema (1969) en Wösten *et al.* (1994) is de textuurklasse, de WRC en de Ksat gekend. Voor elke bodem werd de CN berekend voor zes verschillende dieptes. De CN werd berekend met UPFLOW en met de eerder afgeleide vergelijkingen waarna beide resultaten werden vergeleken.

Omdat de evapotranspiratie in België zelden of slechts zeer tijdelijk hoger is dan 5 mm werd de bovengrens voor de testen op 5 mm gezet.

De statistische analyse is in een eerste benadering op een eenvoudige wijze gebeurd op basis van de volgende statistische parameters, volgens Raes D. *et al.* (2006):

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2 - \sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \quad (5.9)$$

Met O: observatie of de capillaire nalevering op basis van de doorrekening met UPLOW  
 P: predictie of de capillaire nalevering berekend op basis van het functionele model  
 Ostreep: gemiddelde observatie

EF geeft de model efficiëntie. Indien  $EF < 0$ , dan is de gemiddelde observatie een betere predictor dan het model.

$$t = \left[ \frac{(N-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2} \right]^{1/2} \quad (5.10)$$

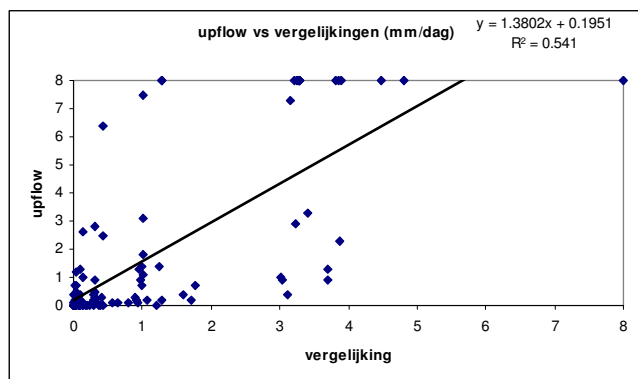
Met t-waarde: Significantie indien  $t < 2.66$   
 RMSE: Root Mean Square Error  
 MBE: Mean Bias Error

$$RMSE = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i^2 \right)^{1/2} \quad (5.11)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad (5.12)$$

Met N het aantal waarnemingen  
 d het verschil tussen waarneming en modelresultaat.

5.2.5.1.1 Klasse I (sand, loamy sand, sand loam)  
(Aantal bodems: N = 23)



diepte gwt	t	EF
-0.50	2.97	-0.35
-1.00	1.10	-0.13
-1.50	0.96	-0.11
-2.00	1.10	-0.16
-2.50	1.31	-2.66
-3.00	1.33	-0.18

Tabel 5-8 Test van het functioneel model voor textuurklasse 1

Figuur 5-17 De relatie tussen de CN berekend met het functioneel model en berekend via UPFLOW voor textuurklasse 1

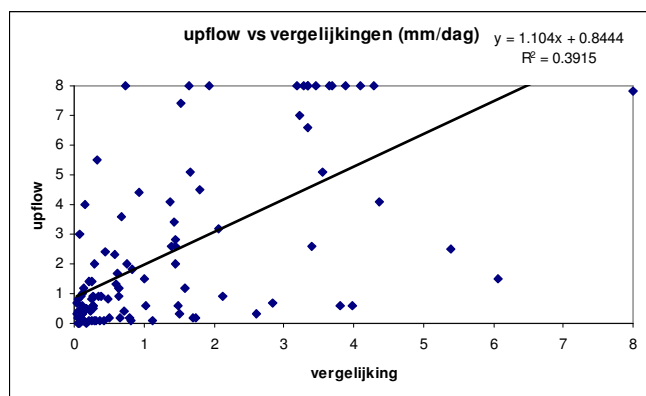
**Bespreking:**

Bij een grondwatertafel die gelijk of hoger ligt dan 0.5 m onder de wortelzone, wijkt de CN volgens het functionele model significant af van de doorrekening via UPFLOW.

Bij een grondwatertafel vanaf 1 m onder de wortelzone bestaat er geen significante afwijking meer.

De EF blijft negatief. Het functionele model is niet efficiënt.

5.2.5.1.2 Klasse II (silt, loam, silt loam)  
(Aantal bodems: N = 21)



diepte gwt	t	EF
-0.50	3.88	-1.44
-1.00	1.90	-0.68
-1.50	1.58	-0.51
-2.00	1.52	-0.50
-2.50	1.61	-0.48
-3.00	1.68	n.def.

Tabel 5-9 Test van het functioneel model voor textuurklasse 2

Figuur 5-18 De relatie tussen de CN berekend met het functioneel model en berekend via UPFLOW voor textuurklasse 2

**Bespreking:**

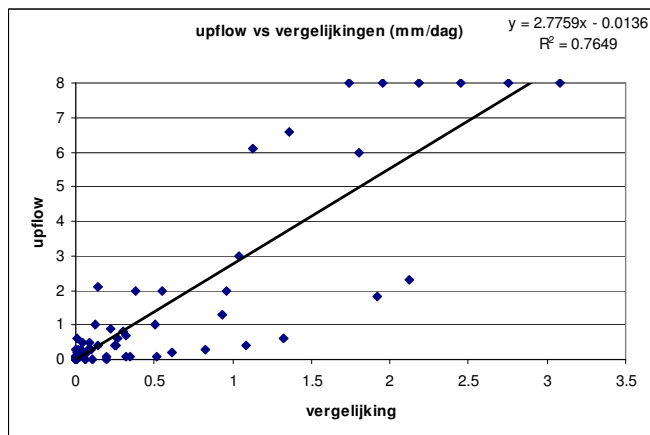
Bij een grondwatertafel die gelijk of hoger ligt dan 0.5 m onder de wortelzone, wijkt de CN volgens het functionele model significant af van de doorrekening via UPFLOW.

Bij een grondwatertafel vanaf 1 m onder de wortelzone bestaat er geen significante afwijking meer.

De EF blijft negatief. Het functionele model is niet efficiënt.



5.2.5.1.3 Klasse III (sandy clay, sandy clay loam, clay loam)  
(Aantal bodems: N = 15)



diepte gwt	t	EF
-0.50	0.23	-0.13
-1.00	0.26	0.37
-1.50	0.22	0.41
-2.00	0.18	0.40
-2.50	0.18	0.36
-3.00	0.17	0.32

Tabel 5-10 Test van het functioneel model voor textuurklasse 3

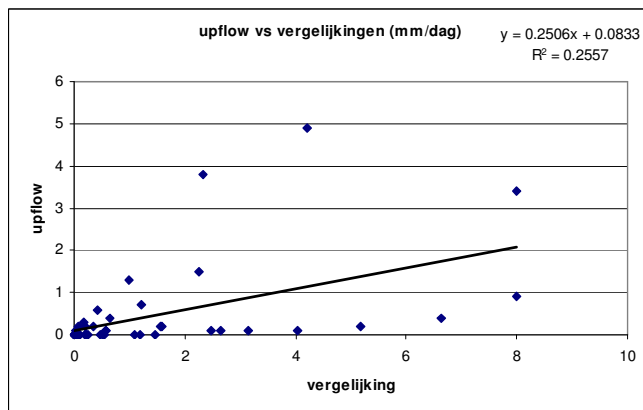
Figuur 5-19 De relatie tussen de CN berekend met het functioneel model en berekend via UPFLOW voor textuurklasse 3

**Bespreking:**

In deze klasse wijkt de CN, berekend volgens het functioneel model, nooit significant af van de CN benaderd door UPFLOW, voor grondwaterstanden tussen 0.50 m en 3 m onder de wortelzone.

De modefficiëntie blijft positief, behalve voor grondwaterstanden gelijk of hoger dan 0.5 m onder de wortelzone.

5.2.5.1.4 Klasse IV (silty clay loam, clay, silty clay)  
(Aantal bodems: N = 9)



diepte gwt	t	EF
-0.50	2.16	-0.40
-1.00	1.70	-17.96
-1.50	1.37	-60.55
-2.00	1.18	-131.08
-2.50	1.09	-262.57
-3.00	1.01	-229.56

Tabel 5-11 Test van het functioneel model voor textuurklasse 4

Figuur 5-20 De relatie tussen de CN berekend met het functioneel model en berekend via UPFLOW voor textuurklasse 4

**Bespreking:**

In de meeste gevallen blijft binnen deze groep van bodemtexturen de CN eerder laag, hetgeen te verwachten was.

Bij een grondwatertafel die gelijk of hoger ligt dan 0.5 m onder de wortelzone, wijkt de CN volgens het functionele model significant af van de doorrekening via UPFLOW.

Bij een grondwatertafel vanaf 1 m onder de wortelzone is er geen significante afwijking meer. De EF blijft zeer negatief. Het functionele model is niet efficiënt.

### 5.2.5.2 Besluit

Significant verschil tussen de modelresultaten van CN en de waarden die aangegeven worden via UPFLOW komt voor bij hoge grondwaterstanden (0.5 m onder de wortelzone) en dit bij de vier klassen van bodemtextuur.

Anderzijds geeft de analyse van de modefficiëntie aan dat enkel het functioneel model voor bodemtypes in klasse III betrouwbare resultaten levert.

Voor de klassen I, II en VI levert het functionele model geen bevredigende resultaten.

De oorzaak van de eerder zwakke efficiëntie ligt mogelijk in een onvoldoende of onnauwkeurige beschrijving die de functie 5.8 geeft van de relatie tussen CN en grondwaterstand

$$x = \exp\left(\frac{y-b}{a}\right) \quad (5.8)$$

Men merkt immers mogelijk belangrijke afwijkingen in de fit van deze curve in de figuren 5-9, 5-11, 5-13 en 5-15.

Ook de relatie tussen de vormparameters  $a$  en  $b$  enerzijds en de Ksat anderzijds, is in het voorgaande functionele model lineair verondersteld (zie figuren 5-10, 5-12, 5-14 en 5-16) hetgeen de fout verhoogt.

## 5.3 Functioneel model met LOG-uitdrukking van de grondwaterstand (Tweede funct. model)

### 5.3.1 Modelontwikkeling

Zoals hoger aangegeven zouden belangrijke verbeteringen aangebracht kunnen worden aan het voorgaande functioneel model wanneer de relatie CN tot de grondwaterstand beter benaderd wordt. Dit kan door grafisch de CN uit te zetten tegenover de natuurlijke logaritme van de grondwaterdiepte ( $\ln(z)$ ).

De vergelijkingen van de trendlijnen worden dan van volgende vorm:

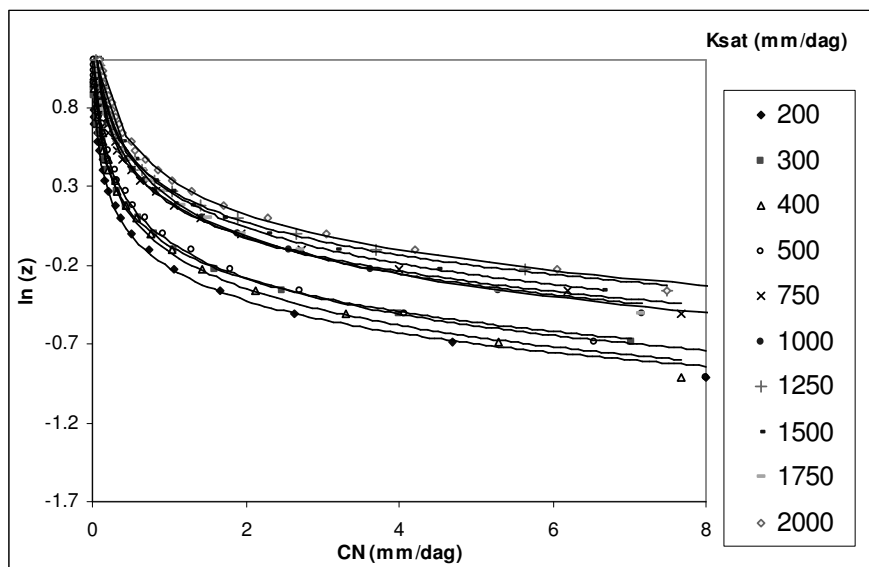
$$y = a \ln(x) + b \quad (5.7)$$

waarbij  $y$  de natuurlijke logaritme van de grondwaterdiepte  $z$  [m] is,  $x$  de CN [mm/dag] en  $a$  en  $b$  parameters die variëren met de Ksat [mm/dag]. Vergelijking (5.7) wordt omgevormd:

$$x = \exp\left(\frac{y-b}{a}\right) \text{ of } CO = \exp\left(\frac{\ln(z)-b}{a}\right) \quad (5.13)$$

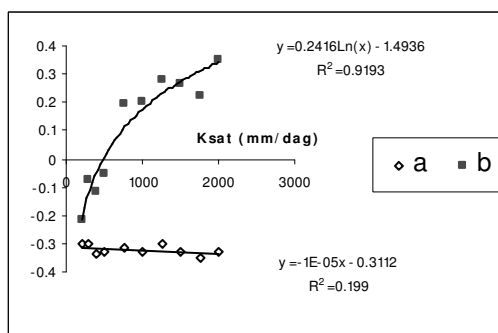
Voor elke klasse van bodems en voor verschillende Ksat-waarden worden voor de relatie tussen CN en grondwaterstand logarithmische trendlijnen gefit (zie figuur 2.9, 2.11, 2.13 en 2.15).

Door de verschillende waarden voor *a* en *b* worden respectievelijk een lineaire en een logarithmische kromme gefit voor ieder van de vier bodemklassen. (zie figuur 2.10, 2.12, 2.14 en 2.16). In tabel 2.8 worden de vergelijkingen van de verschillende fits beschreven.



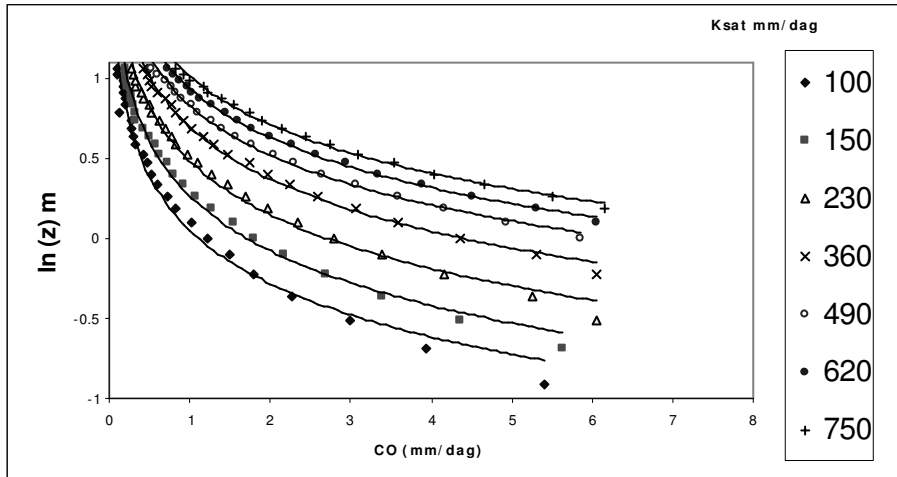
Figuur 5-21  $\ln(z)$  in functie van de capillaire opstijging (CN) voor klasse I (sand, loamy sand, sand loam)

Ksat (mm/dag)	Vergelijking fit $y=aln(x)+b$	R <sup>2</sup>
200	$y = -0,3005\ln(x) - 0,2157$	0,9920
300	$y = -0,3039\ln(x) - 0,0751$	0,9945
400	$y = -0,3363\ln(x) - 0,1151$	0,9914
500	$y = -0,3317\ln(x) - 0,0509$	0,9899
750	$y = -0,3135\ln(x) + 0,1954$	0,9929
1000	$y = -0,3286\ln(x) + 0,2016$	0,9929
1250	$y = -0,3023\ln(x) + 0,2830$	0,9924
1500	$y = -0,3308\ln(x) + 0,2689$	0,9953
1750	$y = -0,3483\ln(x) + 0,2246$	0,9946
2000	$y = -0,3258\ln(x) + 0,3505$	0,9968



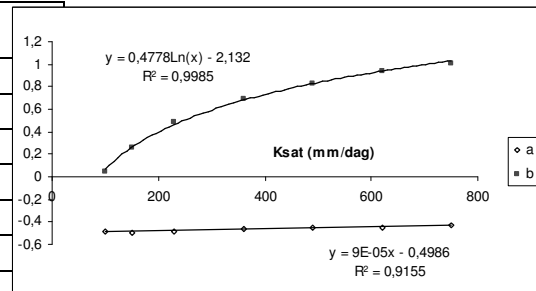
Figuur 5-22 Vergelijking fits voor verschillende Ksat voor klasse I

Tabel 5-12 a en b in functie van de Ksat voor Klasse I



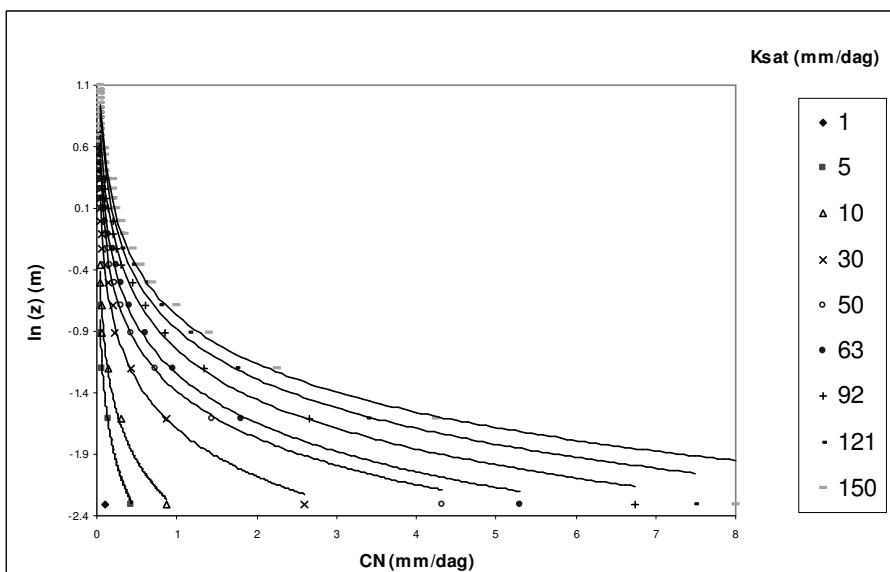
Figuur 5-23  $\ln(z)$  in functie van de capillaire opstijging (CN) voor klasse II (loam, silt loam, silt)

Ksat (mm/dag)	vergelijking fit $y=alnx+b$	R <sup>2</sup>
100	$y = -0,4816\ln(x) + 0,0509$	0,9807
150	$y = -0,4925\ln(x) + 0,2634$	0,9934
230	$y = -0,4850\ln(x) + 0,4836$	0,9925
360	$y = -0,4688\ln(x) + 0,6950$	0,9958
490	$y = -0,4477\ln(x) + 0,8300$	0,9966
620	$y = -0,4482\ln(x) + 0,9395$	0,9980
750	$y = -0,4357\ln(x) + 1,0123$	0,9968



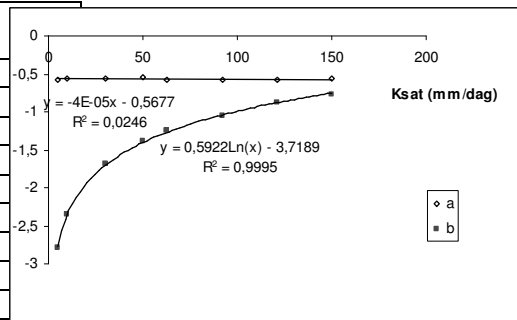
Tabel 5-13 a en b in functie van de Ksat voor Klasse 2

Figuur 5-24 Vergelijking fits voor verschillende Ksat voor klasse II (loam, silt loam, silt)



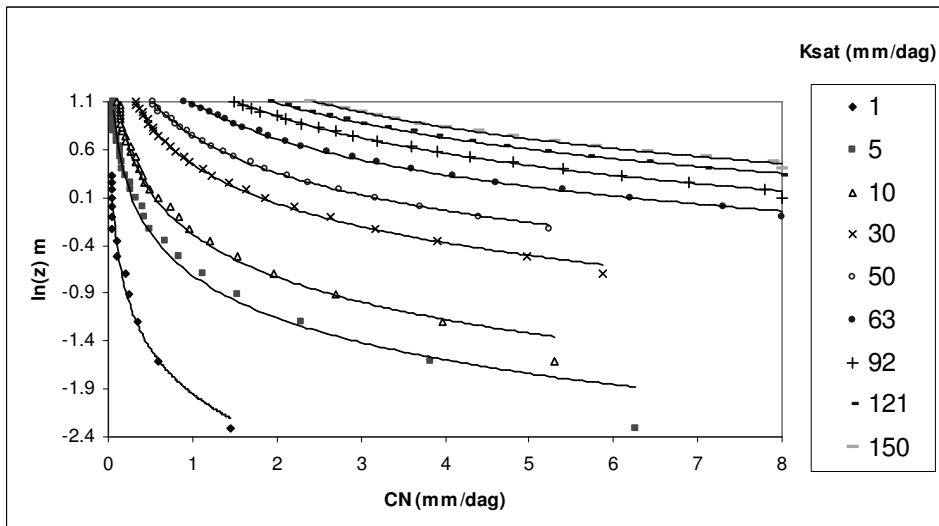
Figuur 5-25  $\ln(z)$  in functie van de capillaire opstijging (CN) voor klasse III (sandy clay, sandy clay loam, clay loam)

Ksat (mm/dag)	vergelijking fit $y=aln(x)+b$	R <sup>2</sup>
5	$y = -0,5838\ln(x) - 2,7884$	0,9846
10	$y = -0,5660\ln(x) - 2,3444$	0,9852
30	$y = -0,5582\ln(x) - 1,6925$	0,9863
50	$y = -0,5496\ln(x) - 1,3864$	0,9876
63	$y = -0,5746\ln(x) - 1,2456$	0,9771
92	$y = -0,5821\ln(x) - 1,0500$	0,9792
121	$y = -0,5802\ln(x) - 0,8849$	0,9749
150	$y = -0,5665\ln(x) - 0,7715$	0,9755



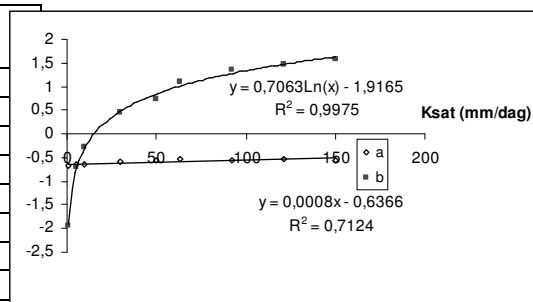
Tabel 5-14 a en b in functie van de Ksat voor Klasse 3

Figuur 5-26 Vergelijking fits voor verschillende Ksat voor klasse III (sandy clay, sandy clay loam, clay loam)



Figuur 5-27  $\ln(z)$  in functie van de capillaire opstijging (CN) voor klasse IV (silty clay loam, clay, silty clay)

Ksat (mm/dag)	vergelijking fit $y=aln(x)+b$	R <sup>2</sup>
1	$y = -0,6802\ln(x) - 1,9492$	0,9608
5	$y = -0,6364\ln(x) - 0,7140$	0,9806
10	$y = -0,6412\ln(x) - 0,2852$	0,9888
30	$y = -0,5922\ln(x) + 0,4478$	0,9973
50	$y = -0,5647\ln(x) + 0,7469$	0,9979
63	$y = -0,5442\ln(x) + 1,0896$	0,9967
92	$y = -0,5632\ln(x) + 1,3405$	0,9955
121	$y = -0,5330\ln(x) + 1,4603$	0,9985
150	$y = -0,5456\ln(x) + 1,5898$	0,9952



Tabel 5-15 a en b in functie van de Ksat voor Klasse 4

Figuur 5-28 Vergelijking fits voor verschillende Ksat voor klasse IV (silty clay loam, clay, silty clay)

Tabel 5-16 Relatie tussen de Ksat en de parameters a en b (Ksat in mm/dag) ((2de functioneel model)

Klasse I	$a = -1 \cdot 10^{-5} \cdot K_{sat} - 0,3112$	$b = 0,2416 \cdot \ln(K_{sat}) - 1,4936$
Klasse II	$a = 9 \cdot 10^{-5} \cdot K_{sat} - 0,4986$	$b = 0,4778 \cdot \ln(K_{sat}) - 2,132$
Klasse III	$a = -4 \cdot 10^{-5} \cdot K_{sat} - 0,5677$	$b = 0,5922 \cdot \ln(K_{sat}) - 3,7189$
Klasse IV	$a = 0,0008 \cdot K_{sat} - 0,6366$	$b = 0,7063 \cdot \ln(K_{sat}) - 1,9165$

Wanneer de vergelijkingen van tabel 5-16 ingevuld worden in vergelijking (5.13) worden volgende vergelijkingen bekomen (Tweede functioneel model):

$$\text{Klasse I: } CN = \exp\left(\frac{\ln(z) - 0,2416 \cdot \ln(K_{sat}) + 1,4936}{-1 \cdot 10^{-5} \cdot K_{sat} - 0,3112}\right) \quad (5.14)$$

$$\text{Klasse II: } CN = \exp\left(\frac{\ln(z) - 0,4778 \cdot \ln(K_{sat}) + 2,132}{9 \cdot 10^{-5} \cdot K_{sat} - 0,4986}\right) \quad (5.15)$$

$$\text{Klasse III: } CN = \exp\left(\frac{\ln(z) - 0,5922 \cdot \ln(K_{sat}) + 3,7189}{-4 \cdot 10^{-5} \cdot K_{sat} - 0,5677}\right) \quad (5.16)$$

$$\text{Klasse IV: } CN = \exp\left(\frac{\ln(z) - 7063 \cdot \ln(K_{sat}) + 1,9165}{0,0008 \cdot K_{sat} - 0,6366}\right) \quad (5.17)$$

Waarbij CN de capillaire opstijging [mm/dag] is, z de diepte van de grondwatertafel [m] en Ksat de verzadigde hydraulische conductiviteit [mm/dag].

### 5.3.2 Toetsing van het tweede functioneel model aan UPFLOW

#### 5.3.2.1 Klasse I (sand, loamy sand, sand loam)

Tabel 5-17 Kolmogorov-Smirnov test klasse 1

		verschil 0,5	verschil 1	verschil 1,5	verschil 2	verschil 2,5	verschil 3
N		23	23	23	23	23	23
Normal Parameters(a,b)	Mean	0,709	-0,043	-0,239	-0,126	-0,052	-0,026
	Std. Deviation	2,072	2,280	1,356	0,663	0,323	0,198
Kolmogorov-Smirnov Z		1,372	0,603	1,411	1,431	1,282	1,606
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,046	0,860	0,037	0,033	0,075	0,011

Verschil 0,5 is het verschil tussen de CN bepaald via de vergelijkingen en de CN bepaald via UPFLOW op een diepte 0,5 m. verschil 1 is hetzelfde verschil maar dan op een diepte van 1 m. N is het aantal vrijheidsgraden voor de test, in dit geval gelijk aan het aantal bodems (23).

Enkel de verschillen op een diepte van 1 m en een diepte van 2,5 m zijn normaal verdeeld (zie tabel 5-17). Voor deze gegevens is het significantieniveau groter dan 0,05 ('Asymp.Sig'). Hierop werd de gepaarde t-test uitgevoerd (zie tabel 5.18). Het gemiddeld verschil tussen UPFLOW en de vergelijkingen is 0,7 mm met een standaardafwijking van 2 mm wanneer de grondwatertafel 0,5 m diep ligt. Wanneer de grondwatertafel lager ligt, daalt het gemiddeld verschil.

Tabel 5-18 Gepaarde t test voor klasse 1

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95 % Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	vgl 1- UPFLOW 1	-0,043	2,280	0,475	-1,029	0,943	-0,091	22	0,928
Pair 2	vgl 2,5- UPFLOW 2,5	-0,052	0,323	0,067	-0,192	0,088	-0,774	22	0,447

vgl 1 is de CN berekend via de vergelijkingen, UPFLOW 1 de CN berekend via UPFLOW op een diepte van 1 m. vgl 1-UPFLOW 1 is het verschil in CN tussen de vergelijkingen en UPFLOW op een diepte van 1 m.

Er is geen significant verschil tussen de gemiddeldes van beide gegevensgroepen. Het 95 % betrouwbaarheidsinterval ('95% Confidence Interval of the Difference') voor het gemiddelde varieert van -1,029 mm tot 0,943 mm voor een diepte van 1 m. Voor een diepte van 2,5 m gaat het interval van -0,192 mm tot 0,088 mm.

Op de andere dieptes werd de Wilcoxon Signed Ranks test toegepast (zie tabel 5-19):

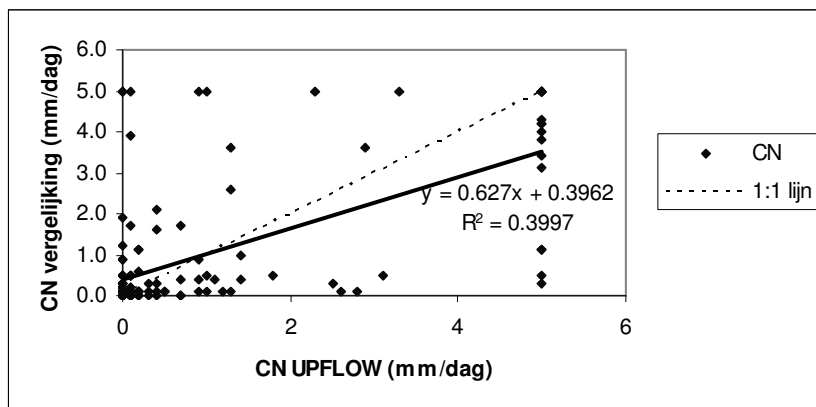
Tabel 5-19 Wilcoxon Signed Ranks test voor klasse 1

	UPFLOW 0,5 – vgl 0,5	UPFLOW 1,5 – vgl 1,5	UPFLOW 2 – vgl 2	UPFLOW 3 – vgl 3
Z	-1,216	-0,049	-0,183	-0,226
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,224	0,961	0,855	0,821

vgl 1 is de CN berekend via de vergelijkingen, UPFLOW 1 de CN berekend via UPFLOW op een diepte van 1 m. vgl 1-UPFLOW 1 is het verschil in CN tussen de vergelijkingen en UPFLOW op een diepte van 1 m.

Er is op geen enkele diepte een significant verschil tussen de gemiddeldes van beide gegevensgroepen. Het significantieniveau ('Asymp. Sig') is overal groter dan 0,05.

De correlatie tussen UPFLOW en de vergelijkingen is laag (zie figuur 5-29). Dit omdat het relatief verschil groot is wanneer de grondwatertafel diep ligt. De CN met UPFLOW berekend op 1,5 m diepte is gemiddeld 0,6 mm. Het verschil met de vergelijkingen is echter 0,23 mm.



Figuur 5-29 Capillaire opstijging (CN) berekend via de vergelijkingen in functie van de CN berekend via UPFLOW voor klasse I

**Besluit**

Het verschil tussen de vergelijking die de capillaire opstijging (CN) schat voor klasse I (sand, loamy sand, sand loam) en UPFLOW is klein. De gemiddelde CN berekend via de vergelijking en de gemiddelde CN berekend via UPFLOW verschillen op geen enkele diepte significant. Het absoluut verschil tussen de vergelijking en UPFLOW wordt kleiner naarmate de grondwatertafel dieper ligt.

De vergelijking is bijgevolg bruikbaar voor de schatting van de CN en wordt nauwkeuriger naarmate de grondwatertafel dieper ligt.

## 5.3.2.2 Klasse II (silt, loam, silt loam)

Tabel 5-20 Kolmogorov-Smirnov test voor klasse 2

		verschil 0,5	verschil 1	verschil 1,5	verschil 2	verschil 2,5	verschil 3
N		21	21	21	21	21	21
Normal Parameters(a,b)	Mean	-1,452	-1,390	-0,800	-0,557	-0,371	-0,243
	Std. Deviation	2,337	2,442	1,940	1,427	0,981	0,721
Kolmogorov-Smirnov Z		0,633	0,556	0,653	0,983	0,996	1,091
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,817	0,916	0,787	0,288	0,274	0,185

Verschil 0,5 is het verschil tussen de CN bepaald via de vergelijkingen en de CN bepaald via UPFLOW op een diepte 0,5 m. verschil 1 is hetzelfde verschil maar dan op een diepte van 1 m. N is het aantal vrijheidsgraden voor de test, in dit geval gelijk aan het aantal bodems (21).

De gegevens zijn normaal verdeeld op alle dieptes (zie tabel 5-20), het significantieniveau ('Asymp. Sig.') is overal groter dan 0,05. Het gemiddelde verschil neemt af als de grondwatertafel dieper ligt. De gepaarde t-test werd op alle dieptes uitgevoerd (zie tabel 5-21).

Tabel 5-21 Gepaarde t test voor klasse 2

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	vgl 0,5 – UPFLOW 0,5	-1,452	2,337	0,510	-2,516	-0,388	-2,848	20	0,010
Pair 2	vgl 1 – UPFLOW 1	-1,390	2,442	0,533	-2,502	-0,279	-2,610	20	0,017
Pair 3	vgl 1,5 – UPFLOW 1,5	-0,800	1,940	0,423	-1,683	0,083	-1,890	20	0,073
Pair 4	vgl 2 – UPFLOW 2	-0,557	1,427	0,311	-1,207	0,092	-1,789	20	0,089
Pair 5	vgl 2,5 – UPFLOW 2,5	-0,371	0,981	0,214	-0,818	0,075	-1,734	20	0,098
Pair 6	vgl 3 – UPFLOW 3	-0,243	0,721	0,157	-0,571	0,085	-1,544	20	0,138

vgl 1 is de CN berekend via de vergelijkingen, UPFLOW 1 de CN berekend via UPFLOW op een diepte van 1 m. vgl 1-UPFLOW 1 is het verschil in CN tussen de vergelijkingen en UPFLOW op een diepte van 1 m.

Er is een significant verschil tussen de gemiddelde CN volgens UPFLOW en de gemiddelde CN volgens de vergelijkingen op diepte 0,5 m en 1 m. Het significantieniveau ('Sig.(2-tailed)') is op beide dieptes kleiner dan 0,05. Dit verschil wordt mede verklaard door enkele gegevenssets die een Ksat-waarde hebben die buiten het bereik liggen waarmee de vergelijkingen zijn opgesteld.

Wanneer deze bodems uit de test verwijderd werden, gaf de gepaarde t-test volgend resultaat (zie tabel 5-22).

Tabel 5-22 Gepaarde t test voor klasse 2 zonder gegevens met Ksat waarde buiten bereik

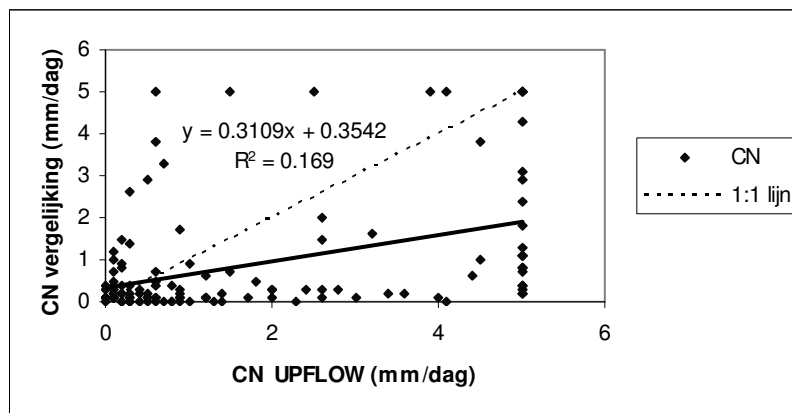
		Paired Differences			95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig.(2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1	vgl 0,5 – UPFLOW 0,5	-0,118	1,876	0,566	-1,379	1,142	-0,209	10	0,839
Pair 2	vgl 1 – UPFLOW 1	0,045	2,499	0,753	-1,633	1,724	0,060	10	0,953
Pair 3	vgl 1,5 – UPFLOW 1,5	0,064	2,185	0,659	-1,404	1,531	0,097	10	0,925
Pair 4	vgl 2 – UPFLOW 2	-0,200	1,849	0,558	-1,442	1,042	-0,359	10	0,727
Pair 5	vgl 2,5 – UPFLOW 2,5	-0,173	1,308	0,394	-1,051	0,706	-0,438	10	0,671
Pair 6	vgl 3 – UPFLOW 3	-0,109	0,965	0,291	-0,757	0,539	-0,375	10	0,715

vgl 1 is de CN berekend via de vergelijkingen, UPFLOW 1 de CN berekend via UPFLOW op een diepte van 1 m. vgl 1-UPFLOW 1 is het verschil in CN tussen de vergelijkingen en UPFLOW op een diepte van 1 m.

Nu is er geen significant verschil tussen de gemiddeldes van de twee klassen.



De CN geschat met UPFLOW is gemiddeld 1,41 mm voor een diepte van 1 m, de gemiddelde afwijking met de vergelijkingen is 0,8 mm voor dezelfde diepte. Dit resulteert in een slechte correlatie (zie figuur 5-30).



Figuur 5-30 Capillaire opstijging (CN) berekend via de vergelijkingen in functie van de CN berekend via UPFLOW voor klasse 2

**Besluit**

Er is een significant verschil tussen de gemiddelde capillaire opstijging (CN) berekend via de vergelijking van klasse II (silt, loam, silt loam) en de gemiddelde CN berekend via UPFLOW op de dieptes 0,5 m en 1 m. Dit verschil kan mede verklaard worden door het feit dat er drie textuurklassen worden samengenomen waarvan er één een lager CN heeft (silt loam) dan de twee andere (zie figuur 5.6). Wanneer echter uit de test de bodems worden weggelaten die een Ksat hebben buiten de range (100 mm/dag–750 mm/dag) waarvoor de vergelijkingen zijn opgesteld, verdween het verschil. De vergelijkingen zijn dus nauwkeuriger wanneer de Ksat zich bevindt binnen de range waarvoor de vergelijkingen zijn opgesteld. Verder wordt ook de vergelijking van klasse II nauwkeuriger naarmate de grondwatertafel dieper ligt.

Wanneer de grondwatertafel op 1,5 m of dieper ligt, is de schatting van de capillaire opstijging (CN) nauwkeurig genoeg met behulp van de vergelijkingen. Wanneer de grondwatertafel dichter tegen het bodemoppervlak ligt, kan de vergelijking voor klasse II onnauwkeurig worden wanneer de Ksat buiten de vooropgestelde range ligt (100 mm/dag – 750 mm/dag). Wanneer de Ksat binnen deze range ligt is de vergelijking nauwkeurig vanaf een grondwaterdiepte van 1 m.

5.3.2.3 Klasse III (sandy clay, sandy clay loam, clay loam)

Tabel 5-23 Kolmogorov-Smirnov test voor klasse 3

		verschil 0,5	verschil 1	verschil 1,5	verschil 2	verschil 2,5	verschil 3
N		15	15	15	15	15	15
Normal Parameters (a,b)	Mean	-1,747	-0,480	-0,220	-0,093	-0,080	-0,040
	Std. Deviation	2,110	0,699	0,343	0,198	0,126	0,106
Kolmogorov-Smirnov Z		1,058	0,990	0,918	1,089	1,045	0,959
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,213	0,281	0,369	0,186	0,225	0,316

Verschil 0,5 is het verschil tussen de CN bepaald via de vergelijkingen en de CN bepaald via UPFLOW op een diepte 0,5 m. verschil 1 is hetzelfde verschil maar dan op een diepte van 1 m. N is het aantal vrijheidsgraden voor de test, in dit geval gelijk aan het aantal bodems (15).

De Kolmogorov-Smirnov test (zie tabel 5-23) geeft aan dat voor elke diepte de verschillen normaal verdeeld zijn en dat de gepaarde t-test (zie tabel 5-24) op elke diepte mag toegepast worden. Het significantieniveau ('Asymp.Sig.') is op alle dieptes groter dan 0,05.

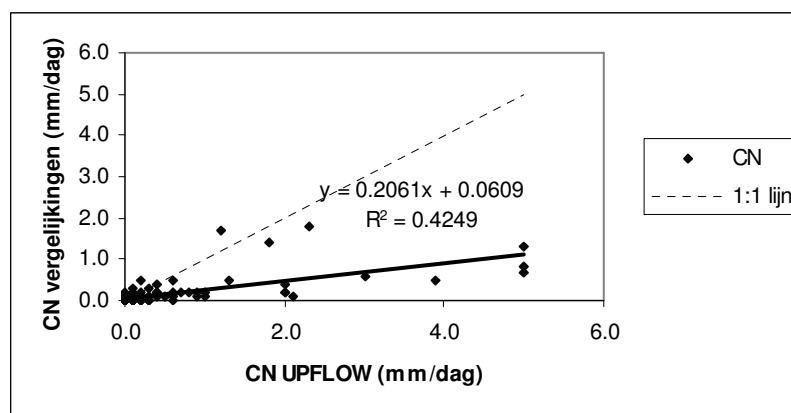
Tabel 5-24 Gepaarde t test voor klasse 3

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95 % Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	vgl 0,5 – UPFLOW 0,5	-1,747	2,110	0,545	-2,915	-0,578	-3,205	14	0,006
Pair 2	vgl 1 – UPFLOW 1	-0,480	0,699	0,181	-0,867	-0,093	-2,659	14	0,019
Pair 3	vgl 1,5 – UPFLOW 1,5	-0,220	0,343	0,088	-0,410	-0,030	-2,486	14	0,026
Pair 4	vgl 2 – UPFLOW 2	-0,093	0,198	0,051	-0,203	0,016	-1,825	14	0,089
Pair 5	vgl 2,5 – UPFLOW 2,5	-0,080	0,126	0,033	-0,150	-0,010	-2,449	14	0,028
Pair 6	vgl 3 – UPFLOW 3	-0,040	0,106	0,027	-0,098	0,018	-1,468	14	0,164

vgl 1 is de CN berekend via de vergelijkingen, UPFLOW 1 de CN berekend via UPFLOW op een diepte van 1 m. vgl 1-UPFLOW 1 is het verschil in CN tussen de vergelijkingen en UPFLOW op een diepte van 1 m.

Er is een significant verschil tussen de gemiddeldes op dieptes van 0,5 m, 1 m, 1,5 m en 2,5 m. Het gemiddeld verschil ligt met een 95 % significantie ('95 % confidence interval of the difference') tussen 0,8 mm en 0,093 mm voor een grondwaterdiepte van 1 m. Naarmate de diepte van de grondwatertafel toeneemt, wordt het verschil kleiner.

De correlatie tussen de vergelijkingen en UPFLOW is laag (zie figuur 5-13). Het gemiddelde verschil op een diepte van 1 m is 0,48 mm, de gemiddelde CN volgens UPFLOW is dan 0,7 mm. Dit betekent dat er relatief gezien een groot verschil is en dat de correlatie laag is.



Figuur 5-31 Capillaire opstijging (CN) berekend via de vergelijkingen in functie van de CN berekend via UPFLOW voor klasse 3

## Besluit

De capillaire opstijging (CN) berekend via de vergelijking van klasse III (sandy clay, sandy clay loam, clay loam) verschilt significant van de CN berekend via UPFLOW op dieptes van 0,5 m, 1 m, 1,5 m en 2,5 m. Het absoluut verschil is echter zeer klein eens de grondwatertafel op een diepte van 1 m ligt. Vanaf een grondwatertafeldiepte dieper dan 1 m is de vergelijking van klasse III bruikbaar om de CN te schatten. De vergelijking wordt nauwkeuriger naarmate de grondwatertafel dieper ligt.

5.3.2.4 Klasse IV (silty clay loam, clay, silty clay)

Tabel 5-25 Kolmogorov-Smirnov test voor klasse 4

		verschil 0,5	verschil 1	verschil 1,5	verschil 2	verschil 2,5	verschil 3
N		9	9	9	9	9	9
Normal Parameters(a,b)	Mean	1,189	0,344	0,222	0,133	0,111	0,067
	Std. Deviation	2,243	0,754	0,373	0,245	0,169	0,150
Kolmogorov-Smirnov Z		0,678	0,695	0,552	0,787	0,900	0,682
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,748	0,719	0,921	0,565	0,393	0,742

Verschil 0,5 is het verschil tussen de CN bepaald via de vergelijkingen en de CN bepaald via UPFLOW op een diepte 0,5 m. verschil 1 is hetzelfde verschil maar dan op een diepte van 1 m. N is het aantal vrijheidsgraden voor de test, in dit geval gelijk aan het aantal bodems (9).

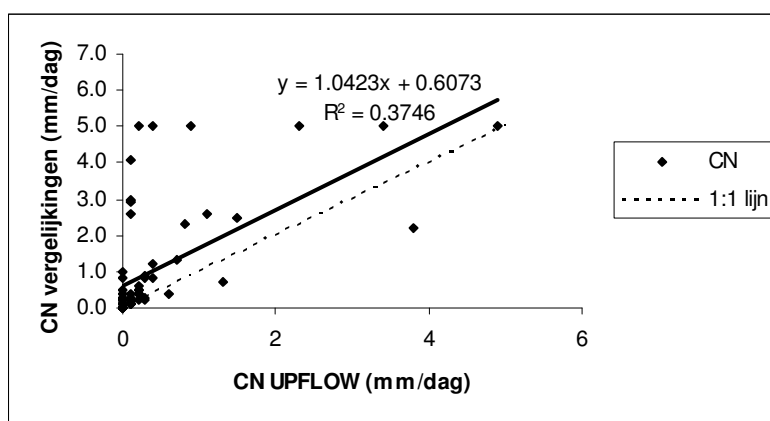
De gegevens zijn voor elke grondwaterdiepte normaal verdeeld (zie tabel 5-25), de gepaarde t-test werd toegepast (zie tabel 5-26).

Tabel 5-26 Gepaarde t test voor klasse 4

		Paired Differences					T	Df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	vgl 0,5 – UPFLOW 0,5	1,07	2,148	0,679	-0,467	2,607	1,575	9	0,150
Pair 2	vgl 1 – UPFLOW 1	0,31	0,719	0,227	-0,204	0,824	1,364	9	0,206
Pair 3	vgl 1,5 – UPFLOW 1,5	0,20	0,359	0,114	-0,057	0,457	1,762	9	0,112
Pair 4	vgl 2 – UPFLOW 2	0,12	0,235	0,074	-0,048	0,288	1,616	9	0,140
Pair 5	vgl 2,5 – UPFLOW 2,5	0,10	0,163	0,052	-0,017	0,217	1,936	9	0,085
Pair 6	vgl 3 – UPFLOW 3	0,06	0,143	0,045	-0,042	0,162	1,327	9	0,217

vgl 1 is de CN berekend via de vergelijkingen, UPFLOW 1 de CN berekend via UPFLOW op een diepte van 1 m. vgl 1-UPFLOW 1 is het verschil in CN tussen de vergelijkingen en UPFLOW op een diepte van 1 m.

Op geen enkele grondwaterdiepte is er een significant verschil tussen de gemiddeldes. Er is correlatie (zie figuur 5-32) tussen UPFLOW en de vergelijkingen. In deze klasse werden er minder bodems getest dan in de andere klassen.



Figuur 5-32 Capillaire opstijging (CN) berekend via de vergelijkingen in functie van de CN berekend via UPFLOW voor klasse 4

**Besluit**

De vergelijking van klasse IV (silty clay loam, clay, silty clay) is nauwkeurig op alle dieptes. Op geen enkele diepte is er een significant verschil tussen de gemiddelde capillaire opstijging (CN) berekend via de vergelijkingen en de gemiddelde CN berekend via UPFLOW. De vergelijking is bruikbaar op alle dieptes.

#### 5.3.2.4 Besluit

De vier afgeleide vergelijkingen geven in de toetsing aan de UPFLOW-benadering aanvaardbare modules om de capillaire opstijging (CN) te schatten enkel wanneer de grondwatertafel op een diepte van minstens 1 m of dieper ligt onder de wortelzone. Afhankelijk van het gewas betekent dit een grondwaterstand van ca 1.5 m tot 1.8 m onder maaiveld.

De rekenmethode (LOG-benadering) is succesvoller dan de voorgaande benadering.

Het logaritmisch verband tussen CN en de diepte van de grondwatertafel betekent in de praktijk dat wanneer de grondwatertafel dicht tegen het bodemoppervlak ligt, een kleine variatie in de diepte van de grondwatertafel een grote variatie in CN tot gevolg heeft. Dit maakt dat het met de vergelijkingen moeilijk is om de CN te schatten wanneer de grondwatertafel dicht tegen het bodemoppervlak ligt.

In deze benadering zijn vier vergelijkingen opgesteld voor de 12 klassen van de textuurdriehoek. Elke vergelijking is opgesteld voor drie aangrenzende textuurklassen. Een oppervlakkige textuurbepaling (handmatig) zou dan reeds volstaan zijn om te beslissen welke vergelijking moet gebruikt worden om de CN te schatten. De Ksat en de diepte van de grondwatertafel moeten echter wel nauwkeurig bepaald worden.

Deze eerste toetsing is echter enkel ten opzichte van het rekenmodel UPFLOW uitgevoerd. Er werden nog geen reële datasets, tijd-meetreeksen, betrokken.

### 5.3.3 Beperkte validatie van het tweede functionele model

Een waterbalansmodel simuleert de waterinhoud in een bodem. In de meeste waterbalansmodellen zoals bv. BUDGET (Raes, 2002) en het rekenmodel van de Bodemkundige Dienst van België dat op dezelfde algoritmes is gebaseerd, wordt tot nog toe geen rekening of onvolledig gehouden met de capillaire nalevering.

In hetgeen volgt wordt een eerste reeks validaties uitgevoerd met het doel de na te gaan in welke mate het model kan opgenomen worden in een waterbalansmodel om CN te verklaren.

De CN wordt enerzijds berekend met UPFLOW en anderzijds met de hiervoor afgeleide vergelijkingen. Deze analyse werd uitgevoerd voor een beperkte reeks van percelen die in het onderzoek werden opgevolgd.

Voor elk proefveld wordt eerst nagegaan of er sprake is van capillaire opstijging (CN). Op basis van de experimenteel bepaalde gegevens in dit onderzoek wordt met BUDGET een waterbalans opgesteld. De resultaten van deze waterbalans wordt voor elk proefveld vergeleken met de wekelijks opgemeten vochtgehalten op de proefvelden. Indien de opgemeten vochtgehalten boven de gesimuleerde waterbalans liggen, is er sprake van capillaire opstijging (CN).

Daarnaast wordt er voor elk proefveld een vereenvoudigde waterbalans opgesteld op basis van de experimenteel bepaalde gegevens. In deze waterbalans wordt de waterinhoud in de bodem gesimuleerd zonder de bijdrage van de CN en met de bijdrage van de CN. De CN wordt berekend met de vergelijkingen (functioneel model) alsook met UPFLOW. Als de waterbalans die rekening houdt met CN, berekend via de vergelijkingen, de opgemeten vochtgehalten beter benadert dan de waterbalans zonder CN, dan kunnen de vergelijkingen ingevoegd worden in een waterbalansmodel.

#### 5.3.3.1 BUDGET

Het watergehalte in de bodem op alle proefvelden werd gesimuleerd met het waterbalansmodel BUDGET (Raes, 2002). BUDGET berekent de waterbalans vertrekkende van volgende gegevens:

- klimaatgegevens: dagelijkse referentie evapotranspiratie (ET<sub>0</sub>) en regenval;
- gewasgegevens: gewasklasse, diepte van beworteling, gevoeligheid voor waterstress, bodembedekkingsgraad en lengte van de groeiperiode;
- bodemparameters: per horizont specifieke bodemfysische parameters;
- irrigatiegegevens: waterkwaliteit, tijdsinterval tussen twee irrigatiedosissen en hoeveelheid van de irrigatiedosissen;

BUDGET evenals het rekenmodel van de Bodemkundige Dienst van België zijn een robuuste waterbalansmodellen, waardoor een benadering van de bodemwaterreserve mogelijk is met een minimum aan inputdata. Nauwkeurig dient gekend te zijn de neerslag, ET<sub>0</sub>-gegevens en de K<sub>c</sub>-factoren van het gewas. Voor de bodemfysische parameters geven indicatieve waarden voldoende nauwkeurigheid (Raes *et al.*, 2006).

De bodemvochtinhoud werd gesimuleerd over de hele groeiperiode van het gewas. De simulatie start op de dag dat de wekelijkse opnames van het vochtgehalte de eerste keer plaats vonden. De waterinhoud in de bodem op die eerste dag is de startwaarde voor de simulatie.

## 5.3.3.2 Vereenvoudigde waterbalans

Om na te gaan in welke mate de verfijning van de doorrekening in een waterbalans een rol speelt in de foutenmarge, werd eveneens een vereenvoudigde waterbalans opgesteld. De waterinhoud in de bodem werd gesimuleerd door:

$$W_{r,t+1} = W_{r,t} + R + CN - K_c * K_s * ET0 \quad (5.18)$$

met

$W_{r,t}$	waterinhoud in de wortelzone op dag t. De startwaarde is de eerste wekelijkse vochtopname in het 'mid season' stadium (maximale worteldiepte).
$W_{r,t+1}$	waterinhoud in de wortelzone de dag nadien.
R	neerslag en irrigatie.
CN	capillaire nalevering
ET0:	referentie-evapotranspiratie (FAO)
$K_s$ en $K_c$	waterstresscoëfficiënt $K_s$ en de gewascoëfficiënt $K_c$

De CN werd berekend op twee manieren: enerzijds met UPFLOW waarbij voor elk proefveld de waterretentiecurve (WRC) werd ingegeven, anderzijds met de eerder opgestelde vergelijkingen. De textuurgegevens die gebruikt werden voor de CN berekening zijn deze van de pipetmethode (granulometrische analyse). De  $K_{sat}$ -waarden zijn deze van de boorgatenmethode. De CN werd telkens berekend voor de bodemlaag onder de wortelzone, in de meeste gevallen de derde bodemlaag.

Er werd geen rekening gehouden met mogelijke run-off.

De dagelijkse evapotranspiratie van het gewas is gelijk aan de referentie-evapotranspiratie (ET0) vermenigvuldigd met de waterstresscoëfficiënt en de gewascoëfficiënt. Wanneer de waterinhoud in de bodem onder een bepaalde drempelwaarde zakt (de 'threshold'), zal het gewas waterstress ondervinden. Door deze waterstress gaat de evapotranspiratie van het gewas verminderen. Deze vermindering werd in rekening gebracht met de  $K_s$ -factor. De threshold wordt bepaald door de p-factor van een gewas. Deze is een maat voor de gevoeligheid aan waterstress. De p-factor geeft aan welke fractie van TAW (Total Available soil Water = de totale beschikbare waterhoeveelheid in de bodem) kan verbruikt worden door de plant zonder deze waterstress ondervindt. Deze fractie wordt de RAW (Readily Available soil Water = de gemakkelijk beschikbare waterhoeveelheid) genoemd (Raes, 2001).

$$\begin{aligned} RAW &= p \cdot TAW = p \cdot 1000 \cdot (\theta_{FC} - \theta_{WP}) \cdot Z_r \\ \theta_{threshold} &= \theta_{FC} - p \cdot (\theta_{FC} - \theta_{WP}) \\ K_s &= \frac{TAW - 1000 \cdot (\theta_{FC} - \theta) \cdot Z_r}{TAW - RAW} \end{aligned} \quad (5.19)$$

Waarbij RAW [mm] de gemakkelijk beschikbare waterinhoud is, TAW [mm] de totale waterinhoud.  $\theta$  [ $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ],  $\theta_{FC}$  [ $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ],  $\theta_{WP}$  [ $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ] en  $\theta_{threshold}$  [ $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ] zijn respectievelijk het vochtgehalte, de veldcapaciteit, het verwelkingspunt en de threshold.  $Z_r$  [m] is de diepte van de wortelzone. De factor p is een maat voor de waterstress.

Gewascoëfficiënten, worteldiepte, p-factor en  $K_{c,mid}$ -factor werden algemeen bepaald volgens Allen *et al.* (1999).

In de vereenvoudigde waterbalans werden enkele restricties ingebouwd:

- De veldcapaciteit en het verwelkingspunt van de bodemlaag werd gelijkgesteld aan het vochtgehalte bij resp. pF 2,5 en pF 4.2 (Allen et al., 1999)
- de dagelijkse CN kan de dagelijkse evapotranspiratie van het gewas, verminderd met de eventuele regenval, niet overstijgen;

Zowel BUDGET als het rekenmodel van de Bodemkundige Dienst van België baseren zich op de waterbalansmodellering zoals hierboven is aangegeven. In beide modellen zijn echter nog verfijningen opgenomen onder meer met betrekking tot de bepaling van de veldcapaciteit, wortelontwikkeling en vochtonttrekking, en met betrekking tot de bepaling van de waterstresscoëfficiënt ( $K_s$ ).

#### 5.3.3.3 Beperkte validatie

De simulaties in BUDGET en met de vereenvoudigde waterbalans werden vergeleken met de wekelijks opgemeten vochtgehaltenes. De volgende figuren betreffen een 10-tal percelen. FC staat voor veldcapaciteit (Field Capacity), WP staat voor verwelkingspunt (Wilting Point). Treshold geeft de treshold-waarde. Als de waterinhoud lager dan de tresholdwaarde daalt, ondervindt de plant waterstress. CN vgl betekent dat de capillaire opstijging (CN) is berekend met de eerder afgeleide vergelijkingen. CN UPFLOW betekent dat de CN berekend is met UPFLOW. De opgemeten waarden komen overeen met de gemeten vochtgehaltenes op de proefvelden, doch herrekend in mm vochtreserve.

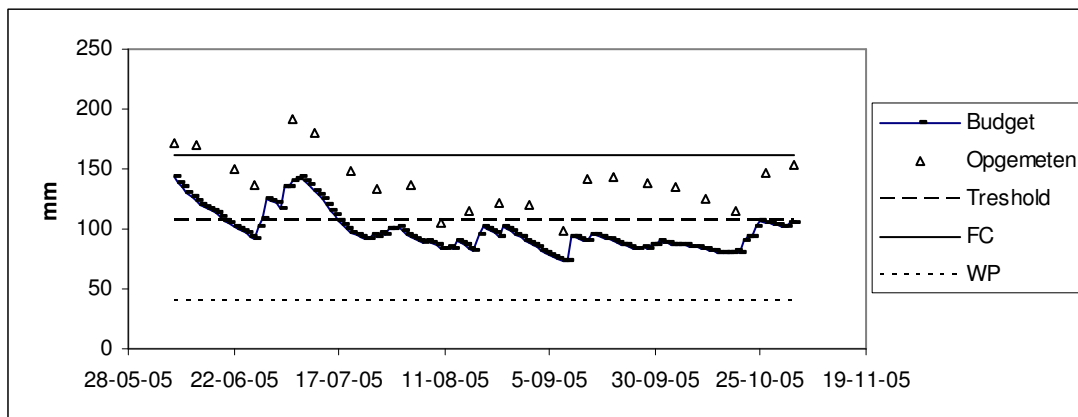
In deze benadering werd als  $K_{sat}$ -waarde enkel de waarde bekomen door de boorgatenmethode beschouwd. Deze keuze is gebaseerd op de aanname dat de rechtstreekse meting in situ de beste benadering zougeven.

**pskw 1**

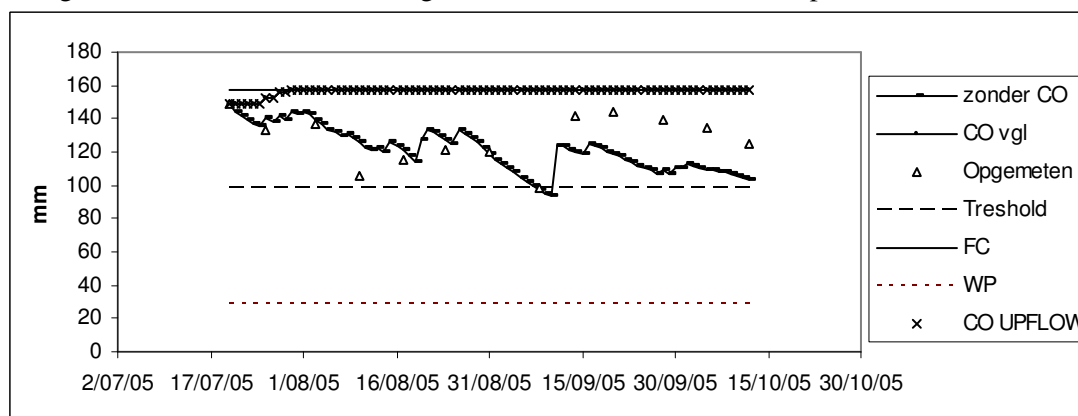
Diepte grondwatertafel onder de wortelzone: min. 0,39 m, max. 0,72 m

Textuurklasse: silt loam

Ksat: 288 mm/dag



Figuur 5-33 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 1



Figuur 5-34 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 1

Zowel de waterbalans in BUDGET als de vereenvoudigde waterbalans geven aan dat de opgemeten waarden boven de gesimuleerde waarden liggen, indien geen rekening wordt gehouden met de CN. Wanneer de CN berekend werd, zowel met UPFLOW als met de vergelijkingen, gaf dit een overschatting van de vochtinhoud.

Een mogelijke verklaring hiervoor is de ondiepe ligging van de grondwatertafel op pskw1. De grondwatertafel lag op een diepte van minder dan 1 m onder de wortelzone. Figuur 5.6 toont dat de grondwatertafeldiepte uitgezet tegenover de CN een exponentieel verloop kent. Wanneer de grondwatertafel op kleine diepte ligt, wordt de curve quasi horizontaal. Dit betekent dat een kleine variatie in grondwaterdiepte resulteert in een grote verschuiving van de CN. Dit kan de onnauwkeurige schatting verklaren van de CN op pskw 1.

Figuur 5.34 toont dat de gesimuleerde waterinhoud in de bodem, rekening houdend met de CN, over heel de simulatie de veldcapaciteit benadert. In realiteit zal de CN stilvallen wanneer de waterinhoud in de bodem de veldcapaciteit benadert. Uit figuur 5.34 blijkt dat in werkelijkheid de CN kleiner is dan berekend. Dit kan te wijten zijn aan een verdichte laag onder de wortelzone of door verstoringen in het profiel.

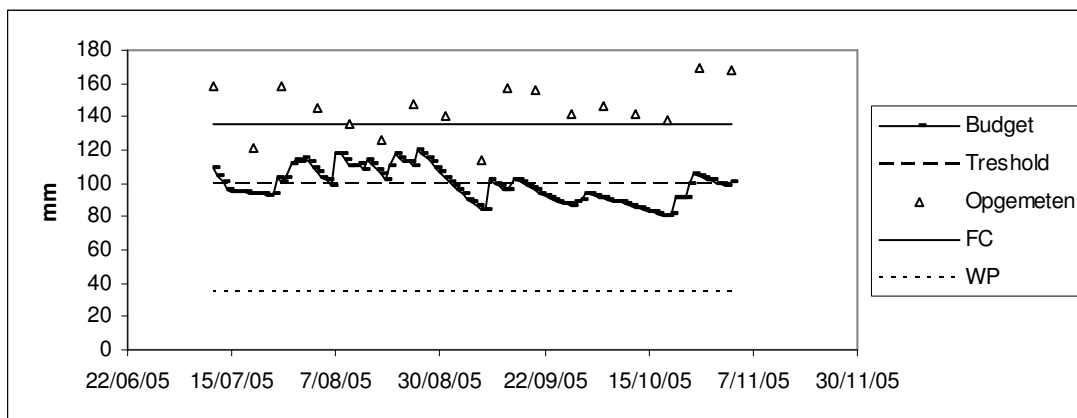


## pskw 2

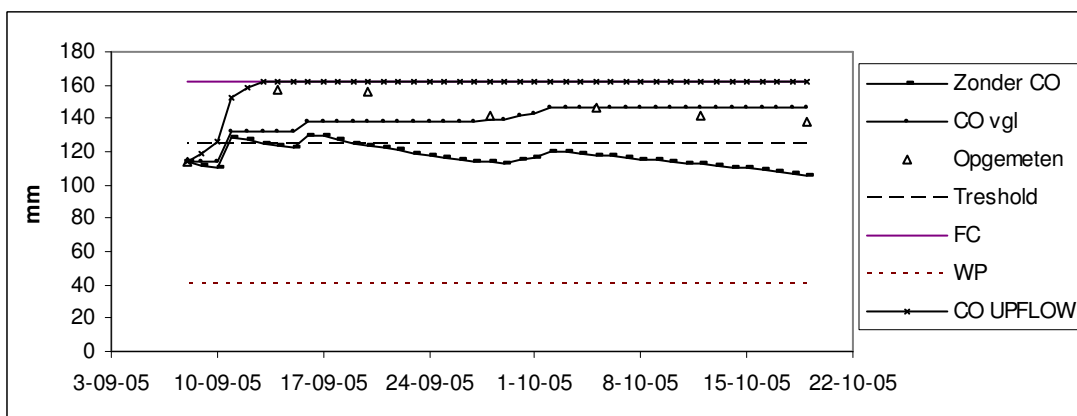
Diepte grondwatertafel onder de wortelzone: min. 0,53 m, max. 0,81 m

Textuurklasse: silt loam

Ksat: 596 mm/dag



Figuur 5-35 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 2



Figuur 5-36 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw2

De opgemeten waarden liggen boven de veldcapaciteit in de simulatie door BUDGET. In de vereenvoudigde waterbalans is de veldcapaciteit hoger omdat de vereenvoudigde waterbalans de waterinhoud bij de veldcapaciteit berekent enkel op basis van de bovenste bodemlaag. In BUDGET komen voor de berekening alle bodemlagen in het profiel in aanmerking. De opgemeten waarden liggen dan ook onder de veldcapaciteit in de vereenvoudigde waterbalans.

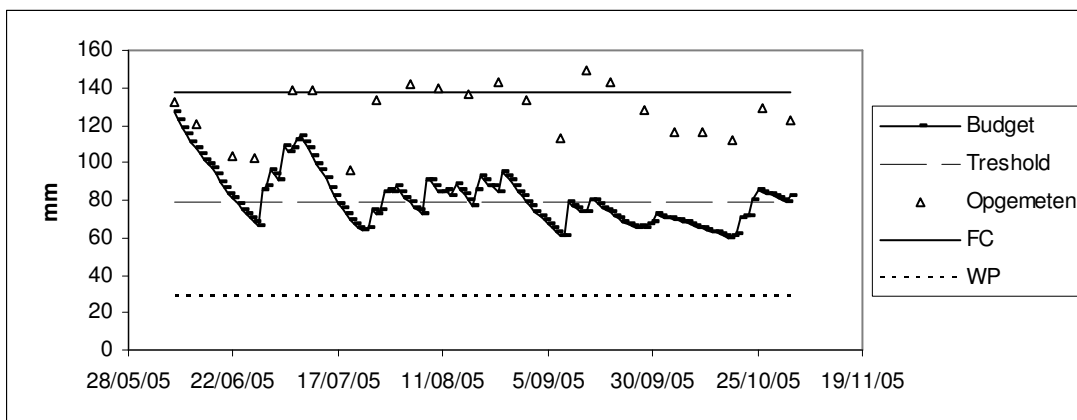
De grondwatertafel lag ongeveer 0,75 m onder de wortelzone. De waterbalans gaf een overschatting van de waterinhoud na berekenen van de CN (zie figuur 5.36). Dit wordt, net zoals bij pskw 1, verklaard door de ondiepe grondwatertafel.

Er is een verschil tussen de CN berekend volgens UPFLOW en de CN berekend volgens de vergelijkingen. Dit verschil wordt verklaard met behulp van figuur 5.6. De textuur van de ondergrond is *silt loam*. In figuur 5.6 is het verschil in CN weergegeven tussen de textuurklassen *silt loam*, *silt en loam* die samen behandeld zijn om 1 vergelijking te vormen. Omdat de vergelijking gevormd wordt door het gemiddelde van de drie textuurklassen, is de vergelijking minder nauwkeurig voor *silt loam* dan hetgeen UPFLOW berekent voor de

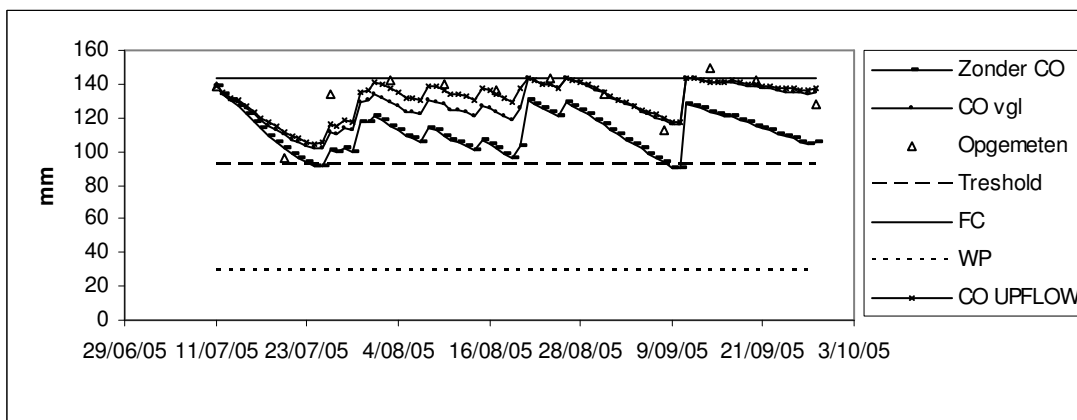
individuele klasse. De CN-berekening met de vergelijkingen benadert in dit geval beter de opgemeten waarden dan de CN-berekening volgens UPFLOW.

**pskw 3**

Diepte grondwatertafel onder de wortelzone: min. 1,36 m, max. 1,55 m  
 Textuurklasse: sandy loam  
 Ksat: 1297 mm/dag



Figuur 5-37 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 3



Figuur 5-38 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 3

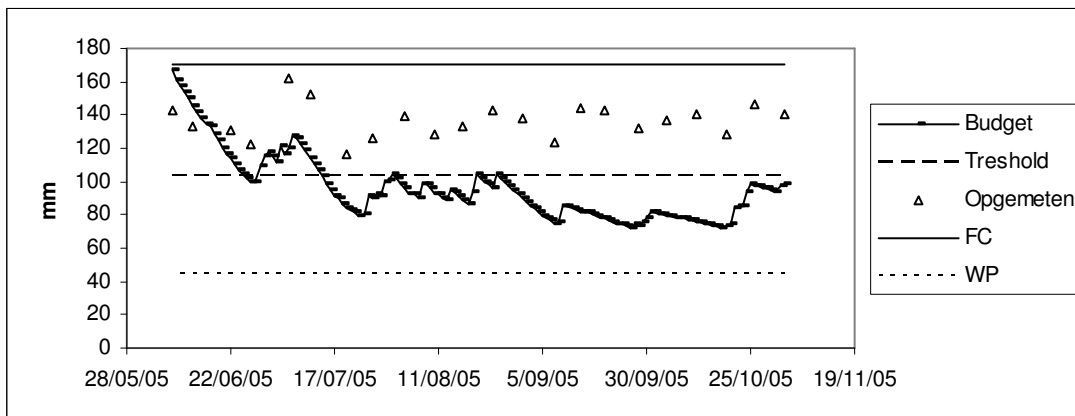
BUDGET simuleerde waarden die lager lagen dan de opgemeten waarden. Dit verschil wordt verklaard door de CN. Wanneer de CN berekend werd met de vergelijkingen of met UPFLOW, verschoof de waterbalans tot op de opgemeten waarden.

## pskw 4

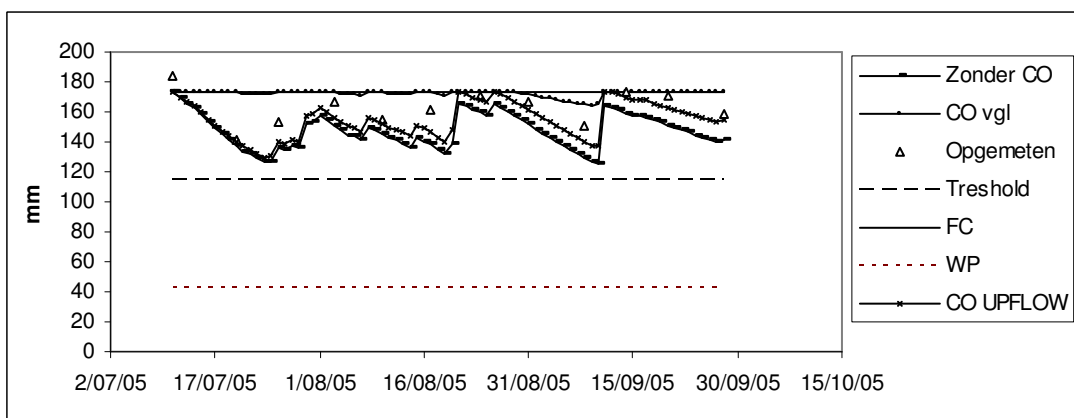
Diepte grondwatertafel onder de wortelzone: min. 1,28 m, max. 1,85 m

Textuurklasse: silt loam

Ksat: 554 mm/dag



Figuur 5-39 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 4



Figuur 5-40 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 4

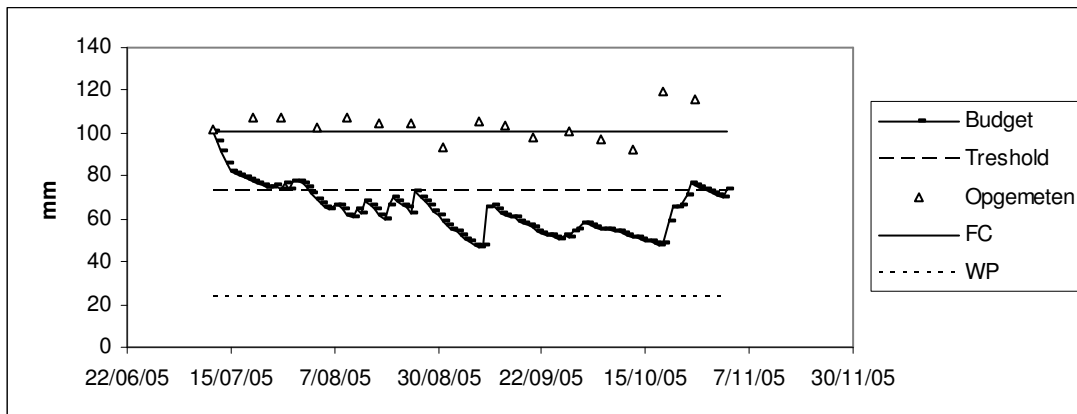
BUDGET gaf aan dat er CN aanwezig is. De schatting met UPFLOW kwam overeen met de geschatte waarden. Er is een groot verschil tussen de CN geschat via UPFLOW en de CN geschat via de vergelijkingen. Dit verschil wordt, net zoals bij pskw2, verklaard met behulp van figuur 5.6 omdat de bodem van pskw 4 eveneens een *silt loam* bodem is. De CN-berekening door UPFLOW komt in dit geval beter overeen met de opgemeten waarden dan de CN-berekening met behulp van de vergelijkingen.

**pskw 5**

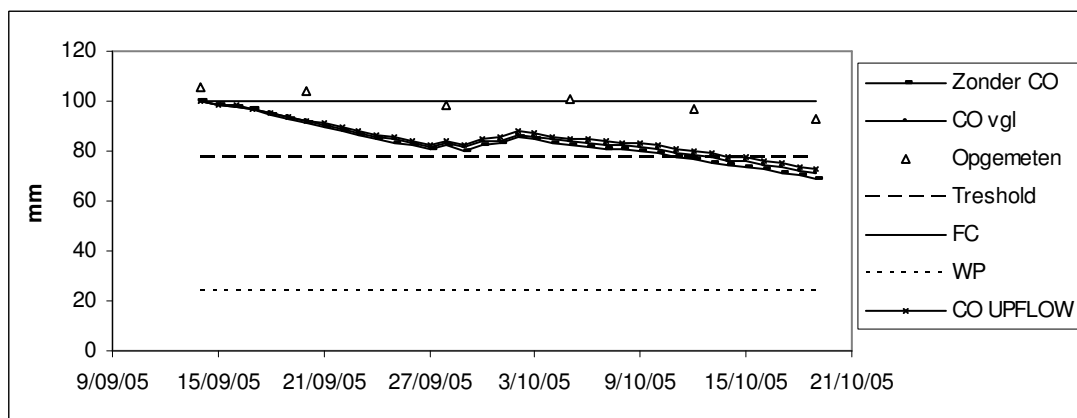
Diepte grondwatertafel onder de wortelzone: min. 2,53 m, max. 2,82 m

Textuurklasse: sandy loam

Ksat: 946 mm/dag



Figuur 5-41 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 5



Figuur 5-42 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 5

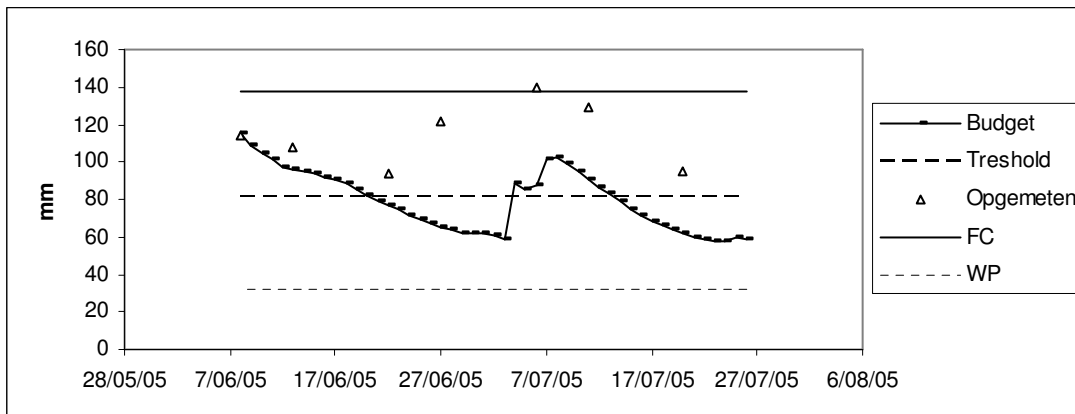
Zowel BUDGET als de vereenvoudigde waterbalans gaven aan dat er CN aanwezig was. De grondwatertafel was gelegen op een diepte van ongeveer 2,75 m onder de wortelzone. De textuur van de bodemlaag onder de wortelzone is *sandy loam*. Zowel de berekeningen van de CN met vergelijkingen, als de berekeningen met UPFLOW gaven beide, vanwege de grote grondwaterdiepte, een te lage CN om de waterbalans tot op de opgemeten waarden te verschuiven.

**pskw 6**

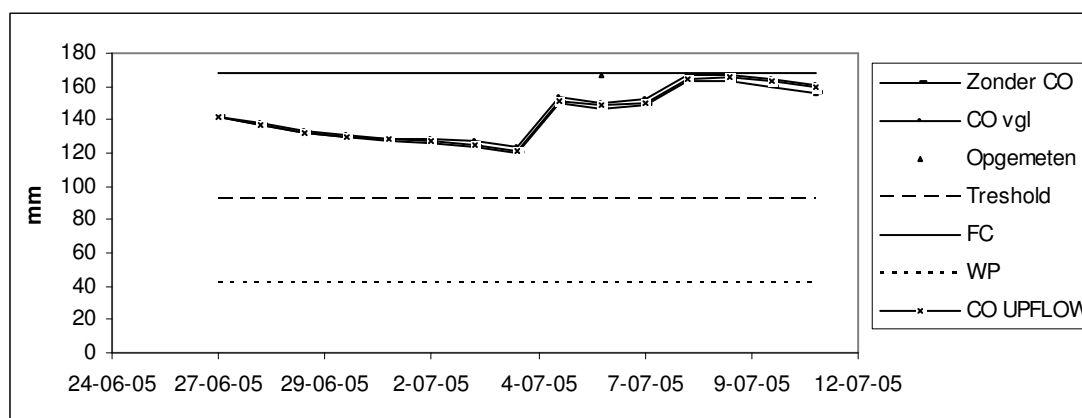
Diepte grondwatertafel onder de wortelzone: min. 1,49 m, max. 1,57 m

Textuurklasse: sandy loam

Ksat: 1146 mm/dag



Figuur 5-43 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 6



Figuur 5-44 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw6

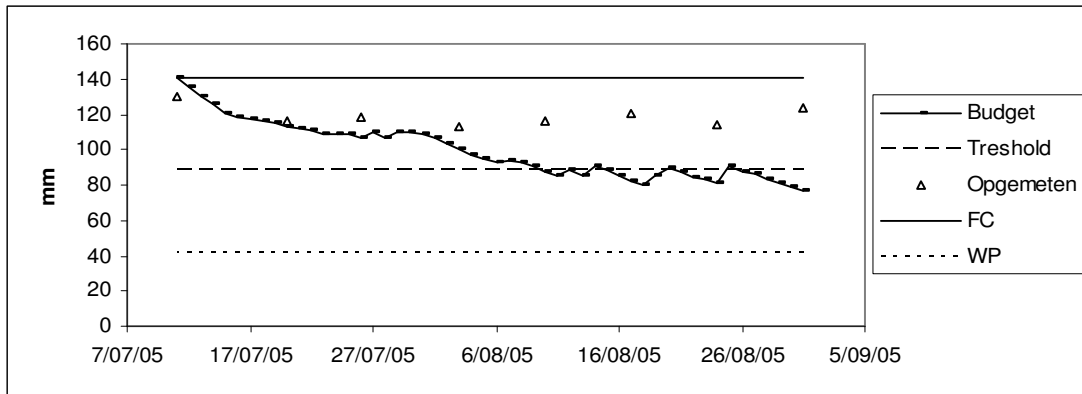
Beide waterbalansen gaven aan dat er CN aanwezig was. De grondwatertafel lag 1,5 m onder de wortelzone. Op deze diepte voorspelden zowel de vergelijkingen als UPFLOW te weinig CN om de waterbalans voldoende te doen opschuiven. Omdat het gewas, bloemkool, slechts een zevental weken op het veld stond is het 'mid season' stadium kort. De vereenvoudigde waterbalans werd daarom slechts opgesteld voor een periode van twee weken.

**pskw 7**

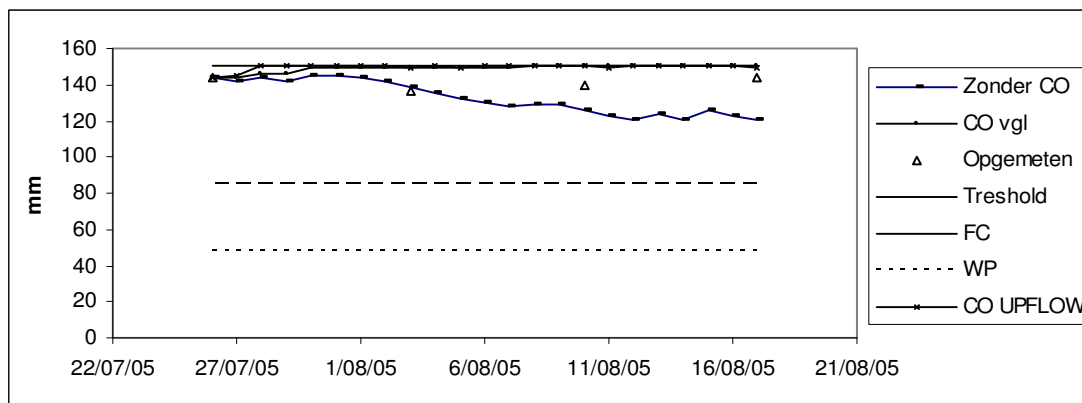
Diepte grondwatertafel onder de wortelzone: min. 1,43 m, max. 1,63 m

Textuurklasse: loam

Ksat: 1666 mm/dag (boorgatenmethode), 98 mm/dag (waterorgel)



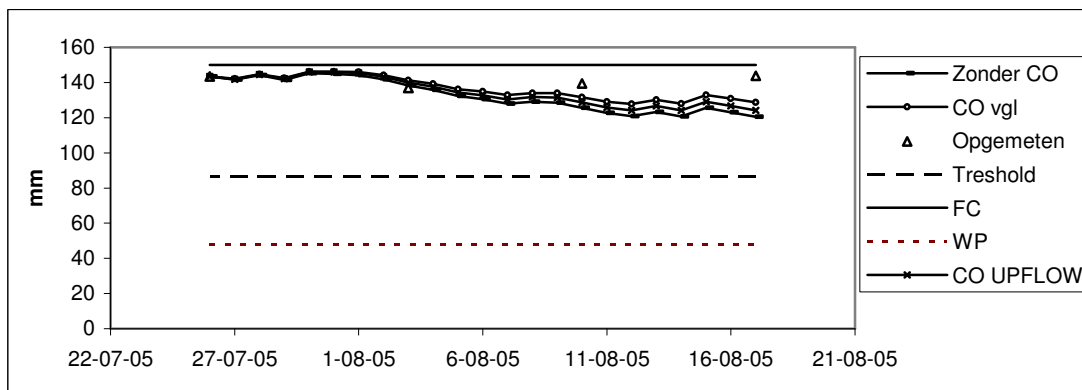
Figuur 5-45 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 7



Figuur 5-46 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 7

BUDGET en de vereenvoudigde waterbalans gaven beiden de aanwezigheid van CN aan. CN-berekeningen met UPFLOW en met de vergelijkingen gaven beide een overschatting van het vochtgehalte in de bodem.

De textuuranalyse gaf aan dat de bodemlaag onder de wortelzone uit *loam* bestaat. De  $K_{sat}$  bepaald met de boorgatenmethode is 1,6 m/dag. Dit is een hoge waarde voor een *loam* bodem. De  $K_{sat}$  bepaald op ongestoorde stalen bedraagt 0,098 m/dag. Wanneer deze  $K_{sat}$  werd ingegeven in de vergelijkingen en in UPFLOW, benaderde de vochtinhoud met CN-schatting de opgemeten waarden (zie figuur 5.47). Deze berekeningen illustreren het belang van de  $K_{sat}$  in de schatting van de CN.



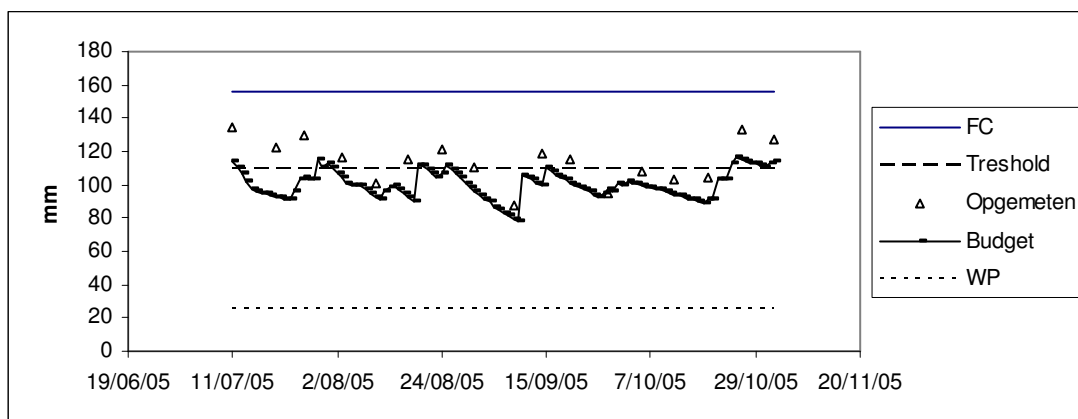
Figuur 5-47 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw7 (Ksat bepaald op ongestoorde stalen in het labo)

**pskw 8**

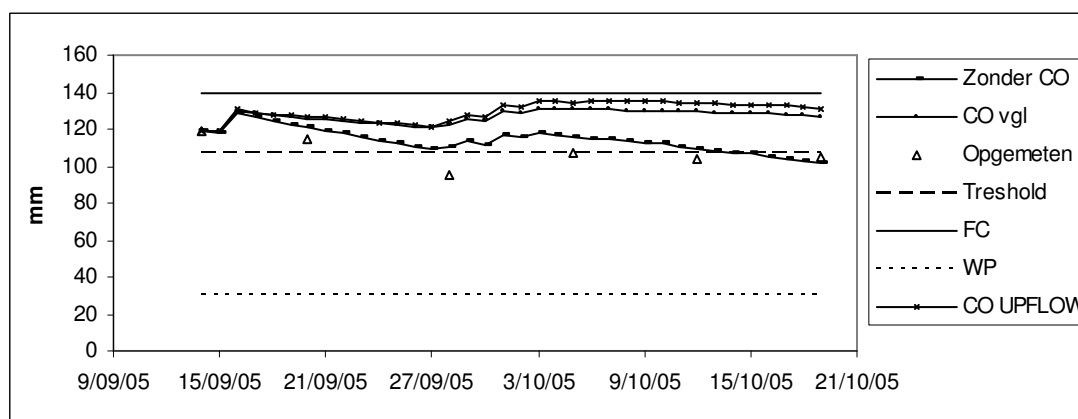
Diepte grondwatertafel onder de wortelzone: min. 0,97 m, max. 1,06 m

Textuurklasse: sandy loam

Ksat: 434,9 mm/dag



Figuur 5-48 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 8



Figuur 5-49 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 8

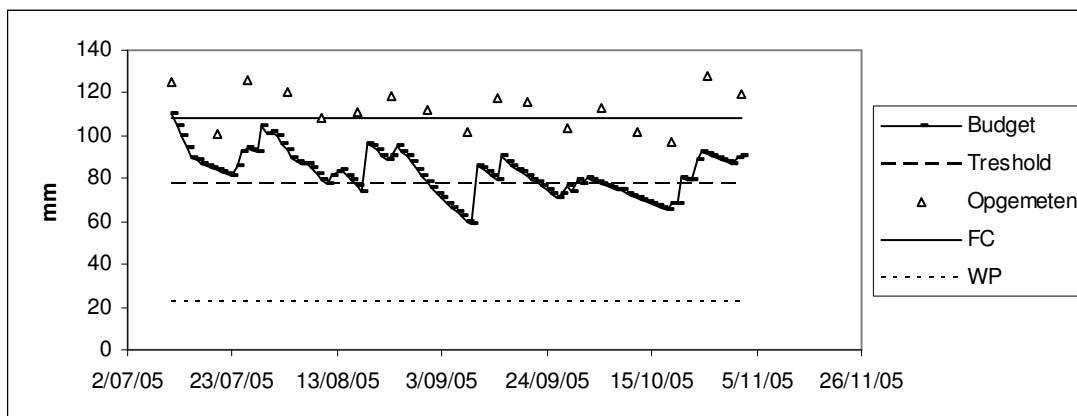
Voor pskw 8 gaven BUDGET en de vereenvoudigde waterbalans aan dat er geen CN aanwezig was. De berekende vochtinhoud met CN lag daarom boven de opgemeten waarden. De afwezigheid van CN kan verklaard worden door een verdichting van de bodem. Op de grafiek met de penetratieweerstand voor pskw 8 is een verdichting van de bodem waar te nemen op 40 cm. Ook verstoringen in het profiel kunnen de CN hebben beïnvloed.

## pskw 9

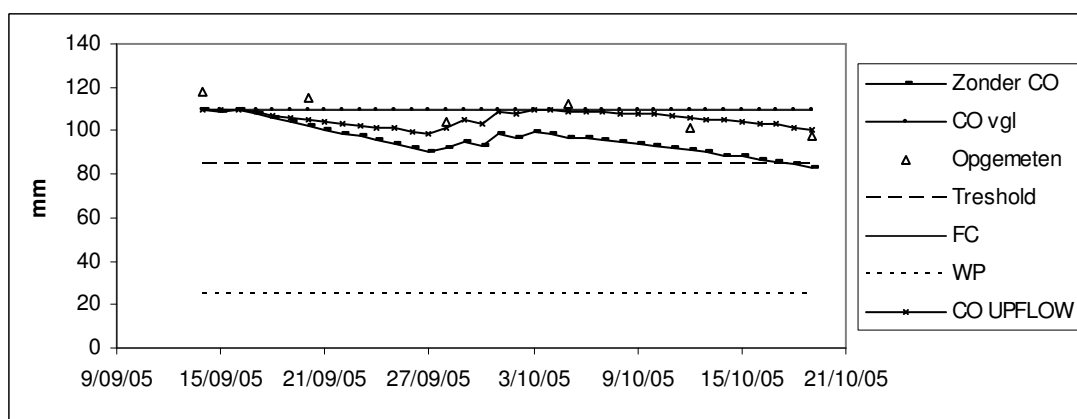
Diepte grondwater tafel onder de wortelzone: min. 0,83 m, max. 1,03 m

Textuurklasse: silt loam

Ksat: 1111 mm/dag



Figuur 5-50 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 9



Figuur 5-51 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 9

De simulatie in BUDGET gaf de aanwezigheid van CN aan. De CN-berekening met de vergelijkingen gaf te veel CN. De CN-berekening met UPFLOW benaderde wel de opgemeten waarden. Het verschil tussen de vergelijkingen en de UPFLOWbenadering wordt verklaard door figuur 5.6. De bodem onder de wortelzone van pskw 9 is *silt loam* net zoals bij pskw 4 en pskw 2.

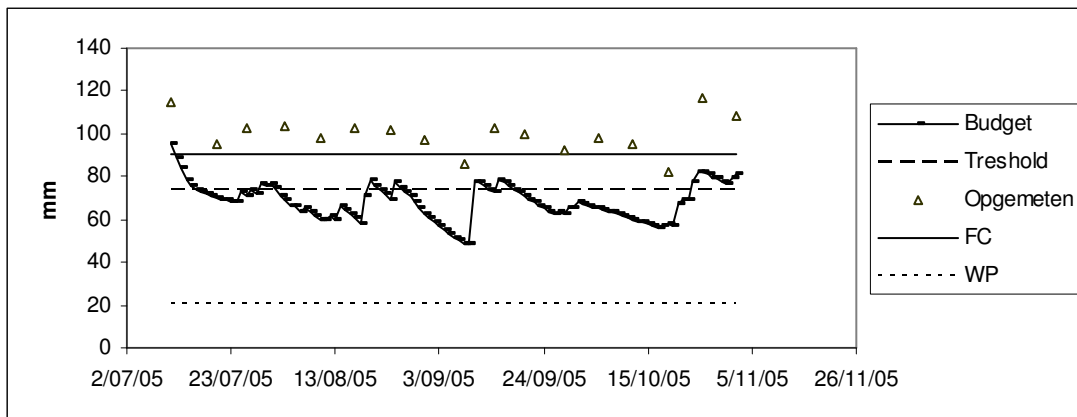


**pskw 10**

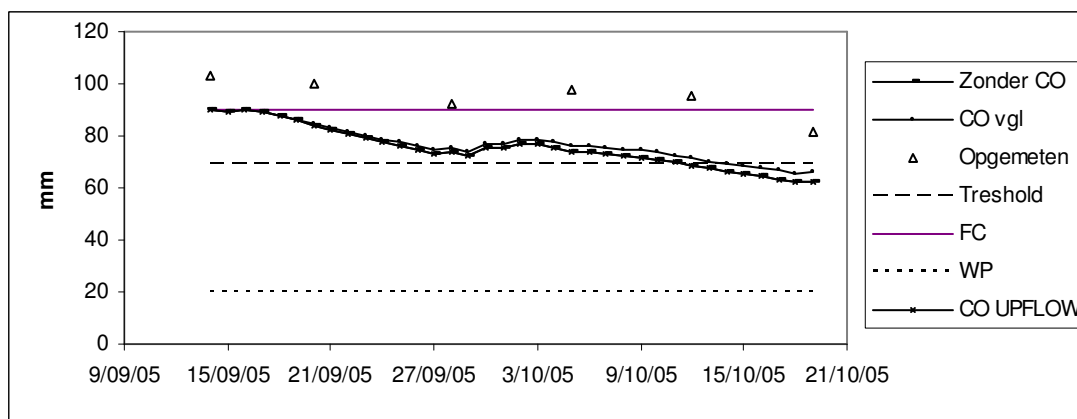
Diepte grondwatertafel onder de wortelzone: min. 2,55 m, max. 2,85 m

Textuurklasse: sandy loam

Ksat: 1761 mm/dag



Figuur 5-52 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met BUDGET voor pskw 10



Figuur 5-53 Bodemwaterinhoud gesimuleerd met een eenvoudige waterbalans voor pskw 10

Zowel BUDGET als de vereenvoudigde waterbalans gaven aan dat er CN aanwezig was. De grondwatertafel lag 2,7 m onder de wortelzone. De textuur van pskw10 onder de wortelzone is *sandy loam*. Wanneer de grondwatertafel voor een *sandy loam* bodem op deze diepte ligt, voorspelden zowel de vergelijkingen als UPFLOW bijna geen CN.

#### 5.3.3.4 Besluit

Bij een aantal percelen bleek er een duidelijke overschatting van de CN berekend via de vergelijking of via UPFLOW. Hier kunnen verdichte bodemlagen of verstoringen in het profiel een de oorzaak vormen. Op andere proefvelden was er een onderschatting van de CN. Op deze laatste lag de grondwatertafel echter te diep om het verschil tussen de opgemeten waarden en de vergelijkingen te verklaren via CN, berekend via UPFLOW of de vergelijkingen.

Voor *loam/silt loam/silt* bodems berekenden de vergelijkingen een hogere CN dan UPFLOW. Deze onnauwkeurigheid is waarschijnlijk het gevolg van het samennemen van de drie textuurklassen bij het opstellen van één vergelijking. Deze groep omvat zeer uiteenlopende bodems (lichte tot zware leem, lichte tot zware zandleem, lichte klei, klei, lemige klei). Mogelijk omwille van de beperkte validatie is er geen duidelijk beeld in welke mate een verfijndere doorrekening van de waterbalans ten opzichte van een vereenvoudigde doorrekening invloed heeft op de benadering van de CN.

De Ksat-waarde vormt een bijkomende onzekerheid. Er is arbitrair uitgegaan van de Ksat-waarde bekomen met de boorgatenmethode. De CN varieert sterk met de Ksat. Het is niet eenvoudig om de Ksat eenduidig te bepalen. Voor één proefveld was de CN-schatting op basis van de Ksat, bepaald met ICWpermeameter, duidelijk beter dan de CN-schatting op basis van de Ksat bepaald met de boorgatenmethode. Voor andere proefvelden was de CN-schatting op basis van de Ksat bepaald met de boorgatenmethode beter. In de praktijk moet ook rekening gehouden worden met mogelijke ruimtelijke variatie van de Ksat. (Om deze mogelijke variatie in het onderzoek maximaal te uit te sluiten werd de bepaling van de Ksat uitgevoerd in een straal van 10 m rond de peilbuis en de referentieplaats voor alle opmetingen en bepalingen).

Veldcapaciteit stellen op pF 2.5 is niet houdbaar gezien op een aantal percelen de vochtreserve gevoelig hoger bleef dan het vochtgehalte bij deze vochtspanning en dit zonder dat neerslag voorkwam.

## 5.4 Modelontwikkeling op basis van uit de dataset afgeleide WRCn

Uit de beperkte validatie op het voorgaande model bleek enerzijds dat een verregaande vereenvoudiging van de WRC niet alleen doch in het bijzonder voor de grote groep loam/silt loam/silt onhoudbaar is en dat ook de waarde van Ksat zeer bepalend is.

Hierom werd het model geherdefinieerd vertrekkende van een meer fijne opdeling van de types van WRC en anderzijds werd de Ksat die gemeten werd (boorgatenmethode, ICMpermeameter) of afgeleid volgens de verschillende methoden (Williams, Rosetta3, Rosetta5) op de reeksen van percelen mee in de analyse betrokken.

Bovendien werd ervoor geopteerd om te de opdeling van WRC te maken op basis van reële, gemeten WRC uit de verworven dataset en niet langer op basis van de theoretische curves geformuleerd voor gekende textuurklassen.

### 5.4.1 De WRC

Meerdere onderzoeken hebben reeds aangegeven dat de relatie tussen textuurklasse en vochtretentiecurve geheel niet altijd eenduidig is (o.m. Verreecken (1988); Elsen *et al.*, (2001)). Anderzijds is de beweging van bodemwater onder een potentiaalverschil (de K(h)-relatie) in zeer grote mate afhankelijk van de porositeit en de poriëndiameterverdeling van de bodem (Mualem (1976); Van Genuchten *et al.* (1991)). Deze karakteristieken worden vanzelfsprekend in grote mate bepaald door de textuur van de bodem, maar anderzijds in zeer belangrijke mate door de bodemstructuur. Het voorkomen van de poriën met een grotere diameter hangt in zeer belangrijke mate samen met de bodemstructuur en in mindere mate met de bodemtextuur. Een zelfde textuur kan aanleiding geven tot een zeer verschillende bodemstructuur als gevolg van een verschillende bodemgenese, de compactatiegraad, het organische stofgehalte, enz... .

De vochtretentiecurve geeft rechtstreeks een aantal karakteristieken van de poriëngrootteverdeling weer. Water wordt immers met een bepaalde vochtspanning vastgehouden in een porië met een bepaalde diameter. Waterstromen en ook de CN grijpen vooral plaats in de grotere poriën.

Dit is dan ook de aanleiding geweest om de indeling van de bestudeerde bodems uit te voeren op basis van vergelijkbare vochtretentiekarakteristiek, eerder dan op basis van de textuur. De analyse betreft vanzelfsprekend de onderliggende bodemlagen gezien daar de CN plaatsgrijpt.

Het grote aantal onderzocht bodems, met verschillende karakteristieken, bodemprofielen en bodemtexturen levert hiervoor een zeer goede en uitgebreide databank (Werkpakketten 1, 2 en 3).

In de loop van het onderzoek (dec 2005) bleken voor 76 bodemprofielen reeds de nodige parameters en voorwaarden voor verdere analyse beschikbaar: naast de WRC eveneens Ksat-waarden (volgens de boorgatenmethode en op de ICWpermeameter in het laboratorium) en GWstanden waarbij verwacht kon worden dat voldoende CN zou kunnen optreden)

### 5.4.2 Benadering op basis van het parametrisch model van Van Genuchten (1980) (Derde functioneel model)

Op basis van de meetwaarden van de uitdrogingskarakteristiek werd de vochtretentiecurve voor alle betrokken percelen en bijhorende bodemlagen afgeleid volgens het parametrisch model van Van Genuchten (1980) teneinde een vergelijkbare parameterstructuur voor modellering te realiseren. Dit werd uitgevoerd met het computerfitting programma SHYPFIT

(Wolfgang Durner, 2001, Dep. of Hydrology, University of Bayreuth, D-95440), die o.m. de Van Genuchten-parameters schat via niet-lineaire optimalisatietechnieken. De experimenteel opgemeten punten in de uitdrogingscurve (waarden voor waterretentiecapaciteit) dienen als inputwaarden.

In de bepaling van de Van Genuchten-parameters gaf de benadering  $m, n$  variabel de beste fit. Slechts in een zeer beperkt aantal gevallen leverde de benadering  $m = 1-1/n$  een betere fit.

In de optimalisatieprocedure werd overwegend de waarde voor het verzadigde bodemvochtgehalte (bij  $pF=0$ ) geoptimaliseerd.

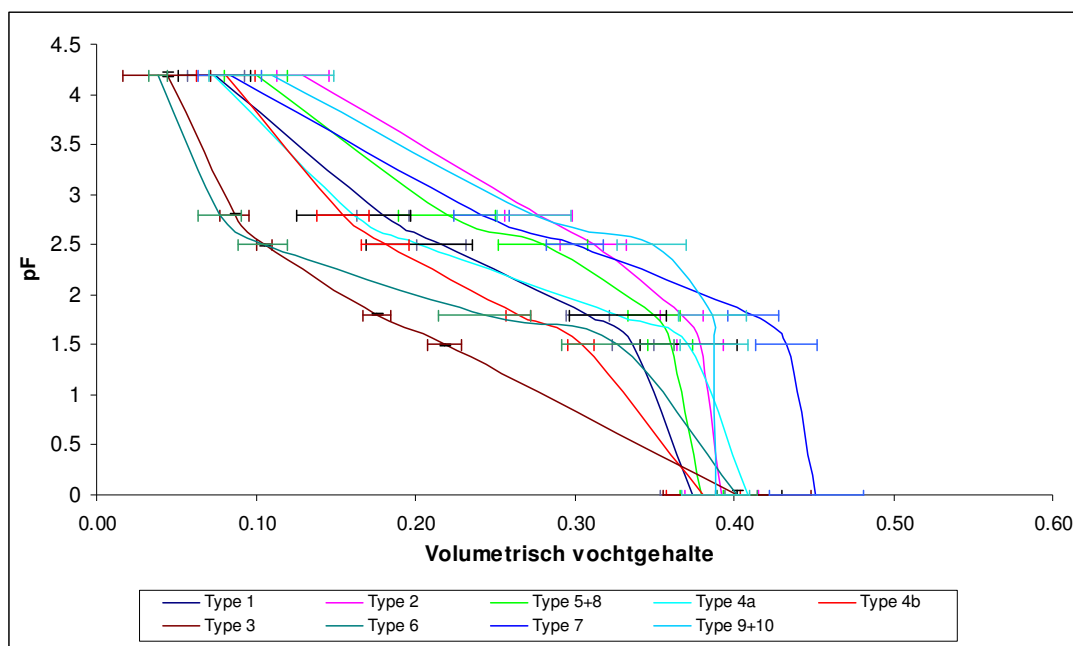
De resultaten van de optimalisatie en parameterberekening voor alle onderzochte en betrokken percelen en bodemlagen is weergegeven in Bijlage 40.

#### 5.4.2.1 Statistisch groeperen van de karakteristieken

De groepering van de curven gebeurde in eerste instantie visueel op basis van de curvevorm. Via statistische analyse (software SAS) werd nagegaan in welke mate de groepen significant verschillend waren op basis van de vochtgehaltenes bij  $pF$  1.5, 2, 2.5, 3. Dit komt overeen met de porositeiten waarbinnen de belangrijkste waterbeweging plaatsgrijpen. Waar geen significantie voorkwam werden groepen en bodems herhaaldelijk gehegroepeerd of verder opgesplitst tot wanneer de groepen significant verschillend bleken.

Hierdoor werden 9 types van vochtretentiekarakteristieken gevonden die significant verschillend zijn.

De volgende figuur geeft voor elk type de gemiddelde WRC met de standaarddeviatie van het vochtgehalte bij een aantal bodemvochtspanningen.



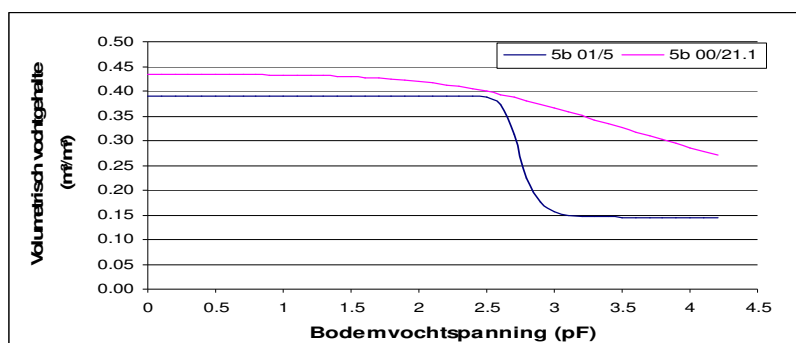
Figuur 5-54 Types van vochtretentiekarakteristieken met significante verschillen in het bereik van  $pF$  1.5 tot  $pF$  3. Voor enkele discrete waarden is + of - de standaardafwijking aangegeven

De textuur (handmatig bepaald) van de bodems werd opgezocht. De volgende tabel geeft de voorkomende textuur weer binnen de curvetypes.

Tabel 5-27 *Aantal betrokken percelen en voorkomende textuur van de bodemlaag onder de bouwlaag, per curvetype (3<sup>de</sup> functioneel model).*

curve type	# percelen	voorkomende textuur
1	15	lemig zand, zandleem, zwaar zandleem
2	8	leem (enkele lemig zand, licht en zwaar zandleem)
5+8	22	leem (enkele zandleem en zwaar zandleem)
4a	6	lemig zand, licht tot zwaar zandleem, zandige klei
4b	7	zand, lemig zand tot zandige klei
3	4	zand
6	5	zand, lemig zand, kleiïg zand
7	3	zand, lemig zand, zandleem
9+10	6	leem

Een aantal zeer afwijkende WRC werden niet betrokken. Ter illustratie hiervan wordt de WRC van 2 ondergronden uit de polderstreek gegeven.



Figuur 5-55 WRC van 2 poldergronden (ondergrond). 5b 01/5: lichte polderklei; 5b 00/21.1: zware polderklei.

#### 5.4.2.2 Afleiding van de modellen en toetsing aan UPFLOW

De doorrekeningen (modelafleidingen) gebeurden op basis van de types van WRC op basis van de reële datasets.

In de volgende doorrekeningen werd in de opbouw van het functionele model een aantal mogelijkheden verder onderzocht: voor  $b$  en/of voor  $a$  werd de relatie met  $K_{sat}$  als de natuurlijke logaritme volgens vergelijking (5.13), of als een kwadratische vergelijking of lineair uitgedrukt. Waar dit niet tot zinnige resultaten leidde, werd de kwadratische benadering weggelaten.

De afleiding gebeurde aanloos aan deze van de voorgaande functionele modellen.

Vervolgens werd voor deze types van WRC de CN berekend met het bekomen functionele model, evenals met UPFLOW voor het bereik van de  $K_{sat}$ -waarden die gemeten zijn bij de bodems die deel uitmaken van de datasets, en dit onder de voorwaarde van een maximale CN van 5 mm/dag.

Tabel 5-28 CN in mm/dag berekend volgens 2 rekenmodules en volgens UPFLOW voor curvetype 1

In functie  $CO = \exp((z - (-0.8969 \cdot \ln(K_{sat}) - 3.5117)) / (0.1693 \cdot \ln(K_{sat}) + 1.1461))$   
 kwad functie  $CO = \exp((z - (0.8084 \cdot (K_{sat})^2 - 3.2052 \cdot K_{sat} - 1.1791)) / (-0.1466 \cdot (K_{sat})^2 + 0.5957 \cdot K_{sat} + 0.7069))$

Test:

Grondwaterstand (m-wortel)	Ksat (m/dag) 0.05			0.3			0.5			0.75			2		
	ln	kwadr	upflow	ln	kwadr	upflow	ln	kwadr	upflow	ln	kwadr	upflow	ln	kwadr	upflow
0.1	3.11	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1	0.76	1.58	1	4.57	3.4	4.1	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1.5	0.35	0.8	0.5	2.69	1.92	2.2	3.86	3.05	3.4	4.94	4.57	4.6	5	5	5
2	0.16	0.41	0.3	1.58	1.08	1.3	2.38	1.82	2	3.13	2.87	2.8	5	5	5
2.5	0.07	0.21	0.2	0.93	0.61	0.8	1.46	1.09	1.3	1.99	1.8	1.8	3.64	4.12	4.3

Tabel 5-29 CN in mm/dag berekend volgens 2 rekenmodules en volgens UPFLOW voor curvetype 2

In + rechte  $CO = \exp((z - (-1.2903 \cdot \ln(K_{sat}) - 6.8818)) / (4.8682 \cdot K_{sat} + 0.8837))$   
 kwad+rechte  $CO = \exp((z - (56.0930 \cdot (K_{sat})^2 - 31.8947 \cdot K_{sat} - 1.1034)) / (4.8682 \cdot K_{sat} + 0.8837))$

Test:

Grondwaterstand (m-wortel)	Ksat (m/dag) 0.01			0.05			0.1			0.2		
	ln	kwadr	upflow	ln	kwadr	upflow	ln	kwadr	upflow	ln	kwadr	upflow
0.1	2.46	4.1	4.4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1	0.94	1.56	1.2	5	3.98	4.6	5	5	5	5	5	5
1.5	0.55	0.91	0.7	3.84	2.56	2.8	5	5	5	5	5	5
2	0.32	0.53	0.4	2.46	1.64	1.9	4.03	3.54	3.5	4.53	5	5
2.5	0.19	0.31	0.3	1.58	1.05	1.3	2.8	2.46	2.4	3.46	4.37	4.5

Tabel 5-30 CN in mm/dag berekend volgens 2 rekenmodules en volgens UPFLOW voor curvetype 3

ln  $CO = \exp((z - (-0.2598 \cdot \ln(K_{sat}) - 0.3367)) / (0.0927 \cdot \ln(K_{sat}) + 0.3619))$   
 kwad  $CO = \exp((z - (0.0099 \cdot (K_{sat})^2 - 0.1737 \cdot K_{sat} - 0.1563)) / (-0.0051 \cdot (K_{sat})^2 + 0.0738 \cdot K_{sat} + 0.2846))$

Test:

Grondwaterstand (m-wortel)	Ksat (m/dag) 0.5			1.5			3			6			8		
	ln	kwadr	upflow	ln	kwadr	upflow	ln	kwadr	upflow	ln	kwadr	upflow	ln	kwadr	upflow
0.1	1.21	1.55	1.6	2.35	2.15	2.6	3.08	2.89	3.8	3.78	3.9	5	4.06	4.36	5
1	0.06	0.09	0.1	0.25	0.21	0.2	0.44	0.41	0.3	0.69	0.75	0.6	0.8	0.85	0.8
1.5	0.01	0.02	0	0.07	0.06	0.1	0.15	0.14	0.1	0.27	0.3	0.2	0.33	0.34	0.3
2	0	0	0	0.02	0.02	0	0.05	0.05	0.1	0.1	0.12	0.1	0.13	0.14	0.1
2.5	0	0	0	0.01	0	0	0.02	0.02	0	0.04	0.05	0.1	0.05	0.06	0.1

Tabel 5-31 CN in mm/dag berekend volgens 1 rekenmodule en volgens UPFLOW voor curvetype 4a

ln  $CO = \exp((z - (-0.7031 \cdot \ln(K_{sat}) - 2.9265)) / (0.1198 \cdot \ln(K_{sat}) + 0.9244))$

Test:

Grondwaterstand (m-wortel)	Ksat (m/dag) 0.1		0.3		0.5		0.7		1	
	ln	upflow	ln	upflow	ln	upflow	ln	upflow	ln	upflow
0.1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1	1.61	1.7	3.99	3.9	5	5	5	5	5	5
1.5	0.74	0.8	2.1	1.9	3.05	2.9	3.79	3.8	4.68	5
2	0.34	0.4	1.1	1	1.69	1.6	2.15	2.1	2.72	2.9
2.5	0.16	0.2	0.58	0.6	0.93	0.9	1.22	1.3	1.59	1.7

Tabel 5-32 CN in mm/dag berekend volgens 2 rekenmodules en volgens UPFLOW voor curvetype 4b

In	$CO = \exp((z - (-0.4084 \cdot \ln(Ksat) - 1.1936)) / (0.0894 \cdot \ln(Ksat) + 0.6523))$														
kwad	$CO = \exp((z - (0.3358 \cdot (Ksat)^2 - 1.3069 \cdot Ksat - 0.2714)) / (0.0894 \cdot \ln(Ksat) + 0.6523))$														
Test:															
Grondwaterstand (m-wortel)	Ksat (m/dag)														
	0.1			0.3			0.5			1			2		
	In	kwad	upflow	In	kwad	upflow	In	kwad	upflow	In	kwad	upflow	In	kwad	upflow
<b>0.1</b>	1.4	1.95	2	3.02	2.66	3.7	3.95	3.51	4.9	5	5	5	5	5	5
<b>1</b>	0.19	0.26	0.2	0.58	0.51	0.5	0.86	0.76	0.7	1.35	1.45	1.2	1.95	2.14	2.1
<b>1.5</b>	0.06	0.08	0.1	0.23	0.2	0.2	0.37	0.33	0.3	0.63	0.67	0.6	0.97	1.06	1
<b>2</b>	0.02	0.02	0	0.09	0.08	0.1	0.16	0.14	0.1	0.29	0.31	0.3	0.48	0.53	0.5
<b>2.5</b>	0.01	0.01	0	0.04	0.03	0	0.07	0.06	0.1	0.13	0.15	0.2	0.24	0.26	0.3

Tabel 5-33 CN in mm/dag berekend volgens 2 rekenmodules en volgens UPFLOW voor curvetype 5+8

In	$CO = \exp((z - (-0.8194 \cdot \ln(Ksat) - 4.956)) / (0.1314 \cdot \ln(Ksat) + 1.4540))$														
kwad	$CO = \exp((z - (-0.8194 \cdot \ln(Ksat) - 4.956)) / (-19.1507 \cdot (Ksat)^2 + 6.5030 \cdot Ksat + 0.7131))$														
Test:															
Grondwaterstand (m-wortel)	Ksat (m/dag)														
	0.01			0.05			0.1			0.2					
	In	kwad	upflow	In	kwad	upflow	In	kwad	upflow	In	kwad	upflow			
<b>0.1</b>	1.42	1.99	2.4	5	5	5	5	5	5	5	5	5			
<b>1</b>	0.77	0.6	0.5	2.79	4.55	3.5	4.1	5	5	5	5	5			
<b>1.5</b>	0.54	0.3	0.3	1.98	2.75	2.1	2.91	3.82	3.8	4.24	5	5			
<b>2</b>	0.39	0.16	0.2	1.41	1.66	1.3	2.07	2.49	2.4	3.02	3.71	4.3			
<b>2.5</b>	0.27	0.08	0.1	1	1	0.9	1.47	1.63	1.6	2.16	2.49	2.9			

Tabel 5-34 CN in mm/dag berekend volgens 1 rekenmodule en volgens UPFLOW voor curvetype 6

In	$CO = \exp((z - (-0.5009 \cdot \ln(Ksat) - 1.5133)) / (0.0846 \cdot \ln(Ksat) + 0.5554))$														
Test:															
Grondwaterstand (m-wortel)	Ksat (m/dag)														
	0.5		1.5		3		6		8						
	In	upflow	In	upflow	In	upflow	In	upflow	In	upflow					
<b>0.1</b>	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5					
<b>1</b>	1.4	1.5	3.37	3.3	5	5	5	5	5	5					
<b>1.5</b>	0.51	0.5	1.44	1.3	2.39	2.2	3.63	3.8	4.23	4.6					
<b>2</b>	0.19	0.2	0.62	0.6	1.1	1	1.79	1.8	2.14	2.3					
<b>2.5</b>	0.07	0.1	0.26	0.3	0.51	0.5	0.88	0.9	1.08	1.2					

Tabel 5-35 CN in mm/dag berekend volgens 2 rekenmodules en volgens UPFLOW voor curve type 7

In	$CO = \exp((z - (-0.9043 \cdot \ln(Ksat) - 5.226)) / (0.1528 \cdot \ln(Ksat) + 1.4453))$														
kwad	$CO = \exp((z - (68.2207 \cdot (Ksat)^2 - 28.0507 \cdot Ksat - 0.9642)) / (0.1528 \cdot \ln(Ksat) + 1.4453))$														
Test:															
Grondwaterstand (m-wortel)	Ksat (m/dag)														
	0.01			0.1			0.15			0.2			0.5		
	In	kwad	upflow	In	kwad	upflow	In	kwad	upflow	In	kwad	upflow	In	kwad	upflow
<b>0.1</b>	3.66	4.64	4.8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0.2	5
<b>1</b>	1.09	1.38	1.1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0.1	5
<b>1.5</b>	0.55	0.7	0.6	4.5	4.27	4.3	5	5	5	5	5	5	5	0.07	5
<b>2</b>	0.28	0.36	0.3	2.85	2.7	2.6	3.7	4.12	3.8	4.38	4.66	4.8	5	0.05	5
<b>2.5</b>	0.14	0.18	0.2	1.8	1.71	1.7	2.4	2.68	2.5	2.88	3.07	3.1	4.79	0.03	5

Tabel 5-36 CN in mm/dag berekend volgens 2 rekenmodules en volgens UPFLOW voor curvetype 9+10

ln	$CO = \exp((z - (-1.5393 \cdot \ln(Ksat) - 12.1281)) / (0.2816 \cdot \ln(Ksat) + 3.0475))$												
kwad	$CO = \exp((z - (29364 \cdot (Ksat)^2 - 701.3 \cdot Ksat - 1.07031)) / (-2736 \cdot (Ksat)^2 + 101.2 \cdot Ksat + 1.0674))$												
Test:													
Grondwater-stand (m-wortel)	Ksat (m/dag)												
	0.001			0.004			0.008			0.010			
	ln	kwad	upflow	ln	kwad	upflow	ln	kwad	upflow	ln	kwad	upflow	
<b>0.1</b>	3.55	4.09	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
<b>1</b>	1.57	1.89	1.7	3.33	2.94	5	5	5	5	5	5	5	
<b>1.5</b>	1	1.23	1.1	2.27	1.97	3.9	5	5	5	5	5	5	
<b>2</b>	0.63	0.8	0.8	1.54	1.35	2.8	4.94	5	5	5	5	5	
<b>2.5</b>	0.4	0.52	0.5	1.05	0.89	2	3.67	3.87	3.8	4.27	4.33	4.4	

#### 5.4.2.3 Besluit

Voor een aantal curve types is enkel een logaritmische benadering zinvol (4a, 6). Voor andere curve types lijkt een kwadratische benadering succesvoller, doch soms enkel bij lagere ofwel bij hogere Ksat-waarden (7, 5+8, 3, 9+10).

Gezien er voor enkele curvetypes enkel een logaritmische benadering mogelijk is, wordt deze voor alle curvetypes verder als rekenmodel aangehouden. De figuren 5-22, 5-24, 5-26 en 5-28 geven anderzijds aan dat voor de  $a$ -coëfficiënt een lineaire benadering kan volstaan.

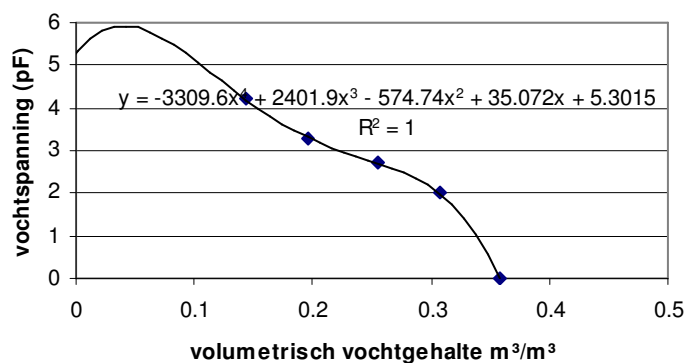
De capillaire nalevering die in deze benadering wordt berekend, zowel door de functionele modellen als door UPFLOW, geeft echter onrealistisch hoge waarden aan. Sterk vereenvoudigd, zouden de rekenresultaten aangeven dat bij hogere Ksat-waarden en bij een grondwatertafel op 2 à 3 m onder maaiveld (1.5 à 2.5 m onder de wortelzone) de CN nagenoeg 5 mm/dag kan bedragen op vrijwel alle bodems, met uitzondering van curve type 3 (zand-textuur). Dit zou betekenen dat bij deze en hogere grondwaterstanden vrijwel geen vochttekort voor gewassen kan optreden. Dit strookt niet met de realiteit. Deze methode werd dan ook niet verder aangehouden.

Deze modelfouten hebben waarschijnlijk als oorzaak een onnauwkeurige fitting die SHYPPFIT doorvoert teneinde de Van Genuchtenparameters af te leiden. Van Genuchten-benadering verband tussen vochtgehalte en vochtspanning met een dubbel asymptotische functie. Dit levert mogelijk een incorrect verloop van de functie tussen het saturatiepunt en pF 2 à pF 2.5. In de modellering resulteert dit in een overschatting van de grondwaterflux wanneer het vochtgehalte van de bodem het saturatiepunt benadert.



### 5.4.3 Fitting a.h.v. een 4de graadsvergelijking (Vierde functioneel model)

Voor de reeds beschikbare data met betrekking tot de bodemlagen van 76 percelen, werd de WRC door de opgemeten punten gefit a.h.v. een 4<sup>de</sup> graadsvergelijking. Deze benadering levert een zeer excellente fit in het bereik van de gemeten punten op de WRC. De fit is per definitie zeer goed omdat deze slechts 5 tot 7 meetpunten omvat. Figuur 5.56 geeft hiervan een illustratie. Deze WRC is echter voor een deel van de karakteristiek niet meer zinvol, m.n. buiten het bereik van de gemeten waarden. Gezien de hoogst aangelegde vochtspanning in het laboratorium pF 4.2 (verwelkingspunt) bedraagt, is met betrekking tot de hogere vochtspanningen, en dus lagere vochtinhouden zoals bv. het residuele vochtgehalte, de WRC niet meer zeker.



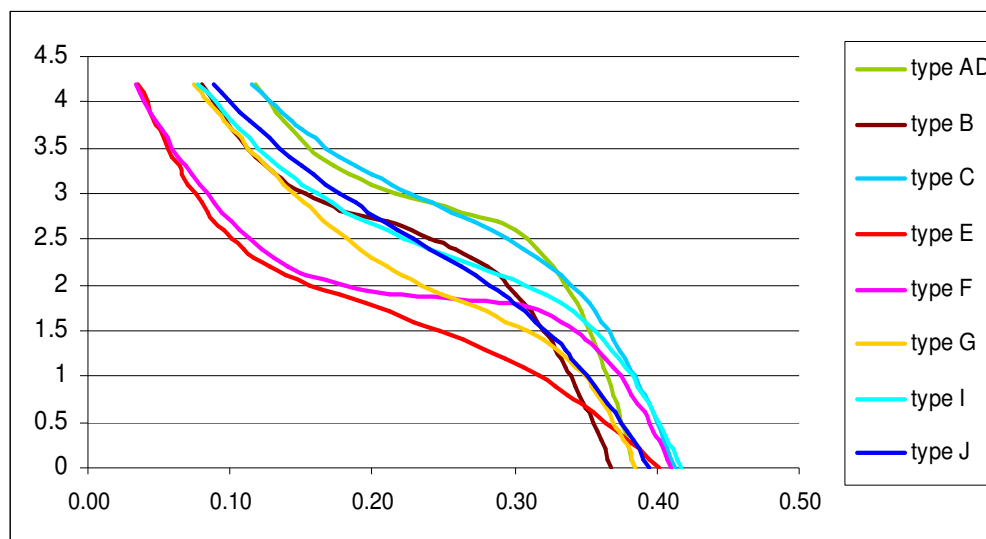
Figuur 5-56 De vochtretentiekarakteristiek op 45 cm –mv op het perceel 5b 00/9.3 berekend met een 4de graadsvergelijking op basis van opgemeten punten

Anderzijds kan gesteld worden dat met betrekking tot het onderzoek deze lagere vochtgehalten niet relevant zijn. Zij komen haast nooit voor: de bodemlaag onder de bouwlaag droogt nooit of zelden dermate in. Bovendien is bij deze lage vochtgehalten de waterbeweging in de bodem nog enkel hygroscopisch hetgeen hoegenaamd geen aanwijsbare rol meer speelt in de capillaire nalevering.

#### 5.4.3.1 Afbakening van curvetypes

De WRC werden gegroepeerd tot de groepen onderling significante verschillen vertoonden in het uitdrogingstraject tussen pF 0 en pF 3. Uiteindelijk werden 8 curvetypes afgebakend. Een aantal WRC werden weggelaten gezien ze onder geen enkel type konden worden geplaatst zonder aan de significantie op 95% niveau te raken, onder meer enkele poldergronden. Het aantal bodems dat aan de basis ligt van elk type is weergegeven in tabel 5-38.

Tabel 5-37 geeft het gemiddelde vochtgehalte voor een aantal karakteristieke vochtspanningen van de curvetypes, evenals de standaardafwijking bij deze punten. Figuur geeft de curvetypes weer.



Figuur 5-57 Curvetypes van vochtretentiekarakteristieken afgeleid uit de datasets en aan de basis van het 4<sup>de</sup> functionele model.

Tabel 5-37 Bodemvochtgehalte en standaardafwijking bij verschillende punten op de WRC voor de afgebakende curvetypes aan de basis van het 4<sup>de</sup> functionele model

Vochtspanning (pF)	type AD (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	type B (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	type C (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	type E (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	type F (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	type G (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	type I (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	type J (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
0	0.38	0.37	0.41	0.40	0.41	0.39	0.42	0.39
st.afw.:	0.01	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02	0.02	0.02
1.5	0.35	0.32	0.37	0.25	0.34	0.31	0.36	0.32
st.afw.:	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01
2	0.34	0.30	0.34	0.16	0.18	0.23	0.31	0.28
st.afw.:	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01
2.5	0.31	0.24	0.30	0.10	0.11	0.18	0.22	0.23
st.afw.:	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02
3	0.22	0.15	0.23	0.08	0.08	0.15	0.16	0.18
st.afw.:	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04
4.2	0.12	0.08	0.12	0.04	0.03	0.07	0.08	0.09
st.afw.:	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.03

Nadien werd nagegaan welke textuur de bodemlaag heeft waarvan de WRC is betrokken. De voorkomende texturen zijn opgelijst in tabel 5-38.

Tabel 5-38 Aantal bodems waarvan de WRC betrokken is in de afbakening van de curvetypes, en voorkomende texturen binnen de curvetypes binnen het 4<sup>de</sup> functionele model.

curve type	# bodems	texturen
AD	18	leem (zwaar zandleem tot klei)
B	8	zandleem, lemig zand
C	6	leem (zwaar zandleem)
E	5	zand (grof)
F	4	zand en lemig zand
G	5	lemig tot kleiig zand
I	7	zandleem, lemig tot kleiig zand en lichte klei
J	7	lemig zand, zandleem, leem

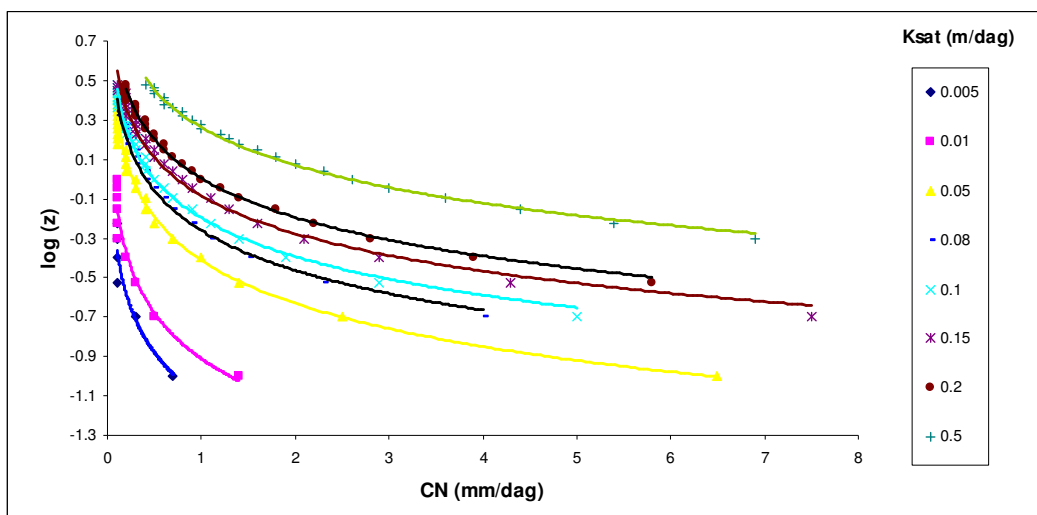
In de regel treft men binnen eenzelfde groep aangrenzende textuurklassen aan. Men merkt dat leem en kortbij liggende texturen zowel in type AD als in type C voorkomen. De WRC in type C vertoont echter een grotere vochtinhoud tussen pF 0 en pF 2. Type E onderscheidt zich duidelijk van type F - beide zijn zandige bodems – doordat F een gevoelig ander verloop heeft in het traject tussen pF 0 en pF 2. In de bodems F komt veelal een grotere fractie leem en/of klei voor. In G is de fractie klei en/of leem doorgaans relatief nog hoger.

5.4.3.2 Modelontwikkeling voor de CN op basis van de curvetypes

Op basis van de reeds eerder ontwikkelde methodiek werden voor elk curvetype weerom functionele modellen afgeleid. In hetgeen volgt worden telkens aangegeven:

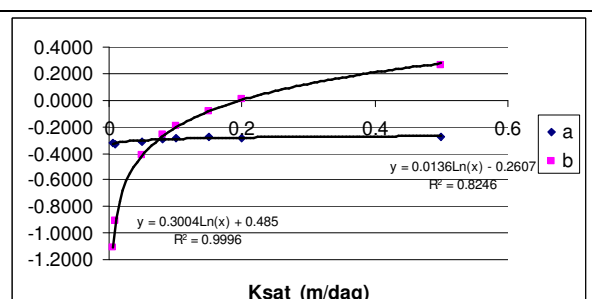
- de CN berekend met UPFLOW op basis van het curvetype en uitgezet t.o.v. de LOG van de grondwaterdiepte;
- de afleiding van de coëfficiënten *a* en *b* voor opbouw van het functionele model.

Curvetype AD



Figuur 5-58 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype AD bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.

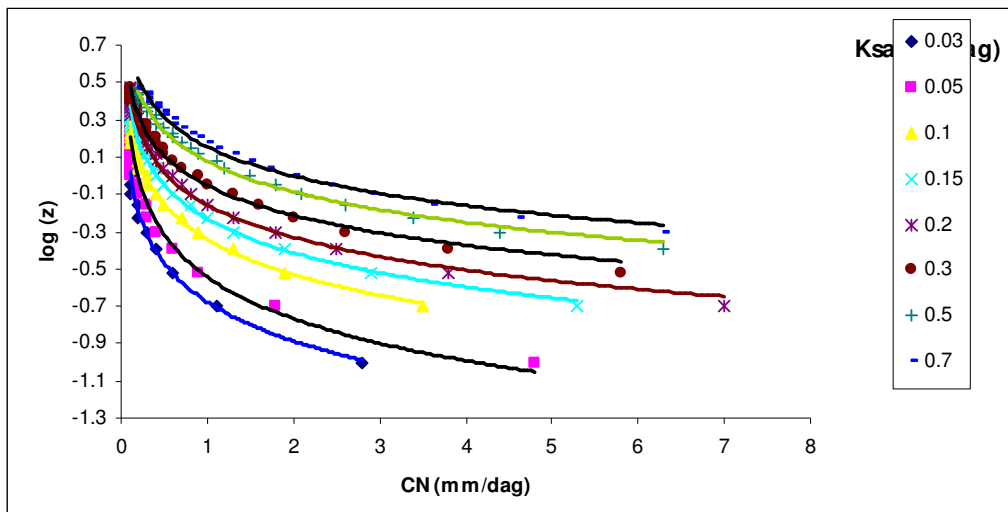
Ksat (m/dag)	a	b	R <sup>2</sup>
0.005	-0.3245	-1.1063	0.8771
0.01	-0.3340	-0.9113	0.9287
0.05	-0.3156	-0.4121	0.9736
0.08	-0.2912	-0.2611	0.9807
0.1	-0.2825	-0.1971	0.9834
0.15	-0.2758	-0.0845	0.9817
0.2	-0.2837	0.0026	0.9931
0.5	-0.2772	0.2618	0.9952



Tabel 5-39 De coëfficiënten *a* en *b* in het model {log(z) = *a* (ln(CN)) + *b*} in functie van de Ksat-waarde voor curvetype AD

Figuur 5-59 Ln-relatie tussen de coëfficiënten *a* en *b*, en Ksat voor curvetype AD

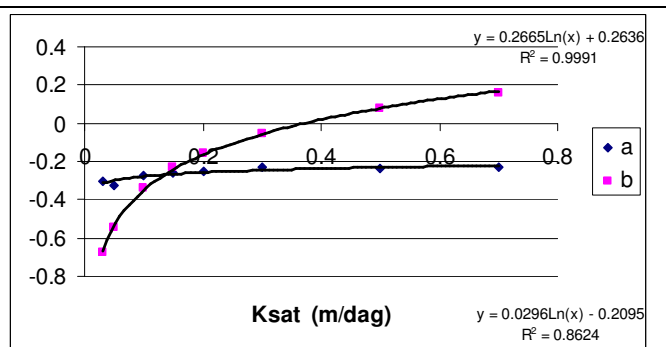
**Curvetype B**



Figuur 5-60 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype B bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.

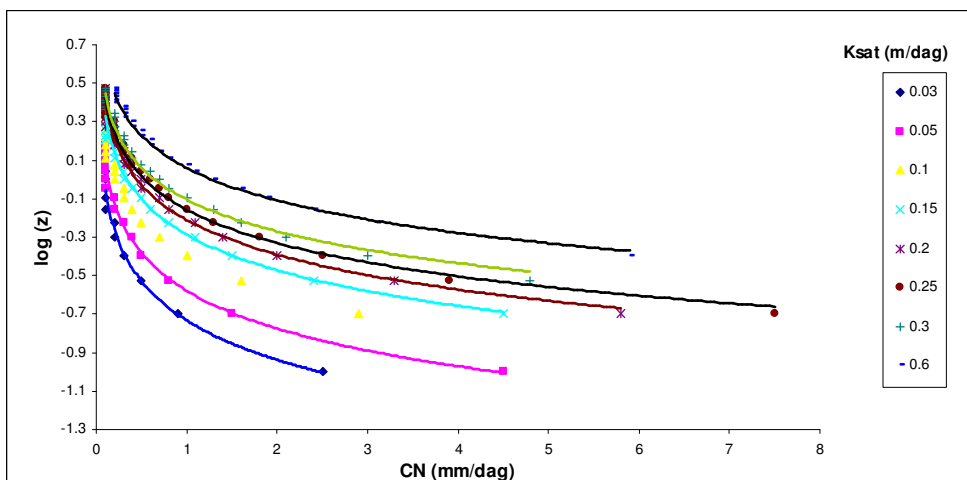
Ksat (m/dag)	a	b	R <sup>2</sup>
0.03	-0.302015	-0.677327	0.9746
0.05	-0.32405	-0.54356	0.9258
0.10	-0.272176	-0.341682	0.9742
0.15	-0.262092	-0.232675	0.9777
0.20	-0.251887	-0.156799	0.9842
0.30	-0.231157	-0.052487	0.9824
0.50	-0.236047	0.076735	0.9912
0.70	-0.227869	0.15554	0.9883

Tabel 5-40 De coëfficiënten a en b in het model  $\{\log(z) = a(\ln(CN)) + b\}$  in functie van de Ksat-waarde voor curvetype B



Figuur 5-61 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor curvetype B

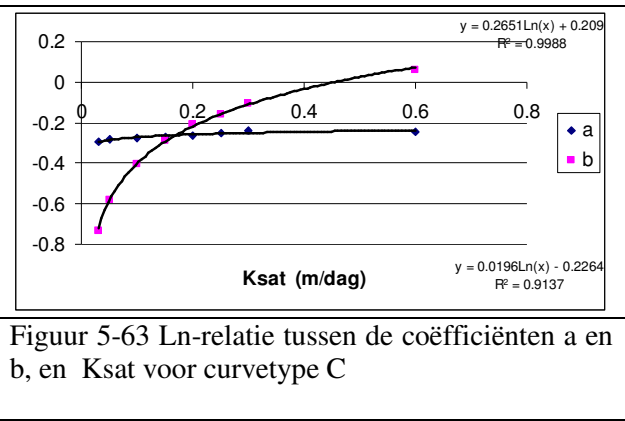
**Curvetype C**



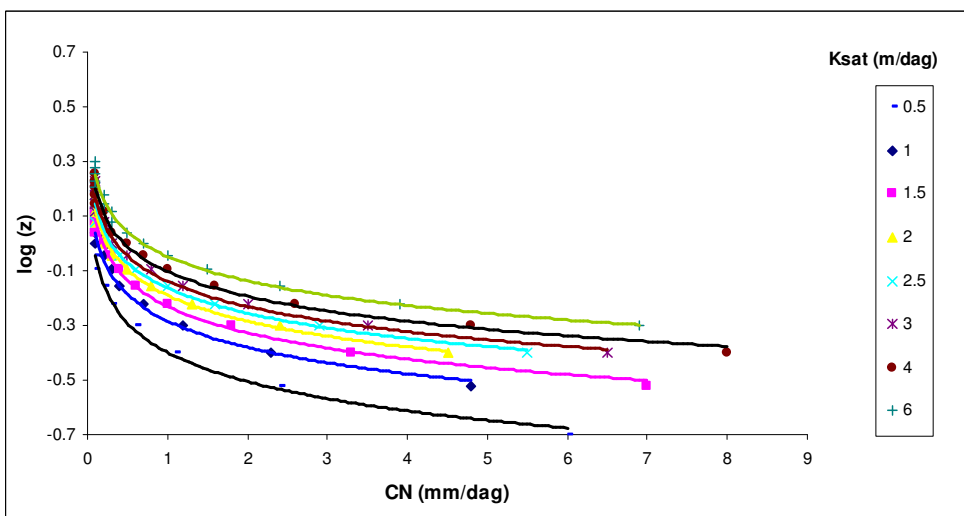
Figuur 5-62 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype C bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.

Ksat (m/dag)	a	b	R <sup>2</sup>
0.03	-0.294872	-0.733012	0.9735
0.05	-0.283219	-0.578619	0.9748
0.1	-0.277083	-0.402565	0.9665
0.15	-0.267158	-0.286781	0.9719
0.2	-0.26098	-0.210295	0.9798
0.25	-0.249713	-0.157101	0.9855
0.3	-0.238414	-0.104414	0.9848
0.6	-0.242619	0.058988	0.9937

Tabel 5-41 De coëfficiënten a en b in het model  $\{\log(z) = a (\ln(CN)) + b\}$  in functie van de Ksat-waarde voor curvetype C

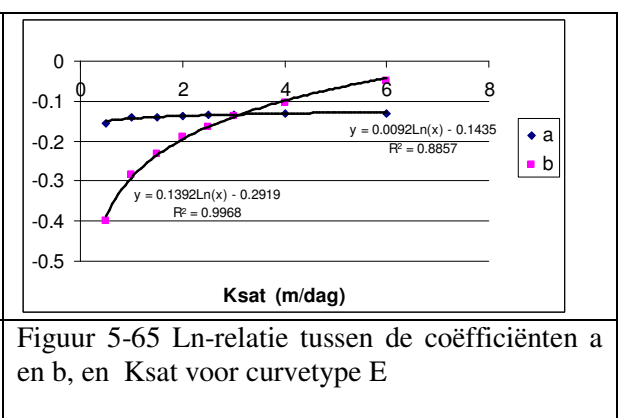


**Curvetype E**

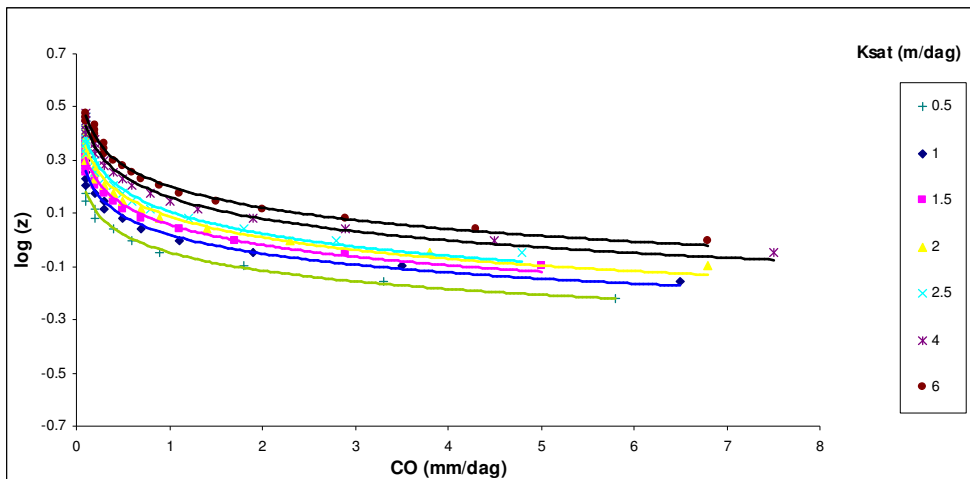


Ksat (m/dag)	a	b	R <sup>2</sup>
0.5	-0.154205	-0.399118	0.9859
1	-0.139496	-0.283541	0.9910
1.5	-0.139042	-0.230776	0.9902
2	-0.136046	-0.190135	0.9816
2.5	-0.133061	-0.163281	0.9768
3	-0.133224	-0.13852	0.9784
4	-0.131552	-0.102591	0.9832
6	-0.129649	-0.047463	0.9857

Tabel 5-42 De coëfficiënten a en b in het model  $\{\log(z) = a (\ln(CN)) + b\}$  in functie van de Ksat-waarde voor curvetype E



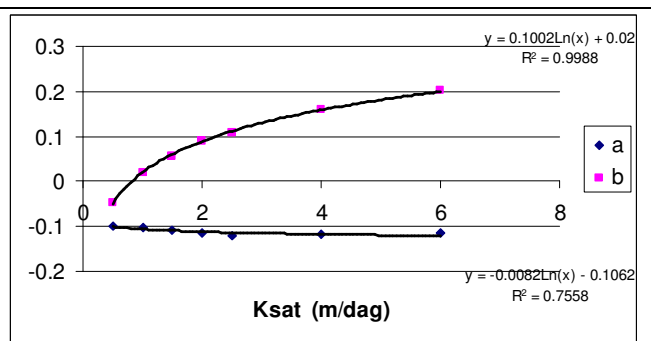
**Curvetype F**



Figuur 5-66 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype F bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.

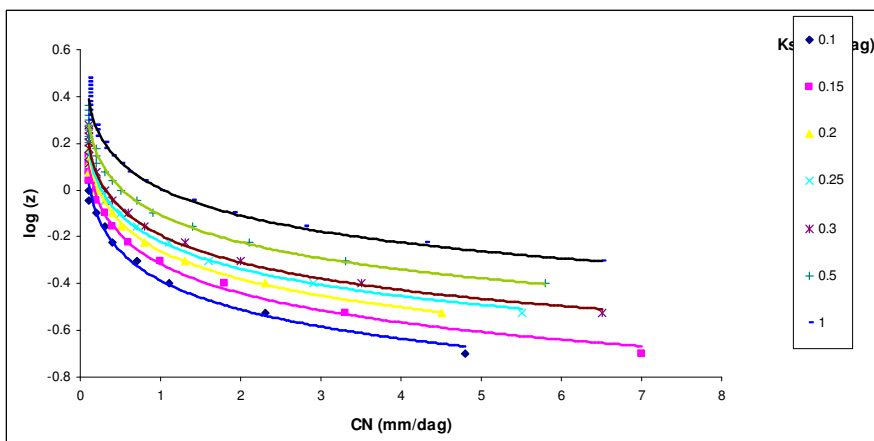
Ksat (m/dag)	a	b	R <sup>2</sup>
0.5	-0.09904	-0.046694	0.9761
1.0	-0.102912	0.020344	0.9612
1.5	-0.109922	0.057589	0.9555
2.0	-0.115295	0.089308	0.9539
2.5	-0.120151	0.107117	0.9460
4.0	-0.116893	0.160763	0.9817
6.0	-0.11602	0.202409	0.9875

Tabel 5-43 De coëfficiënten a en b in het model  $\{\log(z) = a(\ln(CN)) + b\}$  in functie van de Ksat-waarde voor curvetype F



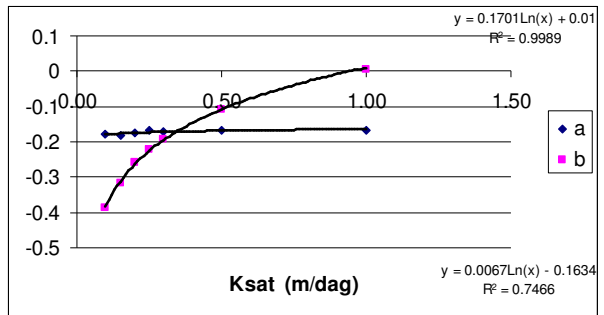
Figuur 5-67 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor curvetype F

**Curvetype G**



Figuur 5-68 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype G bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.

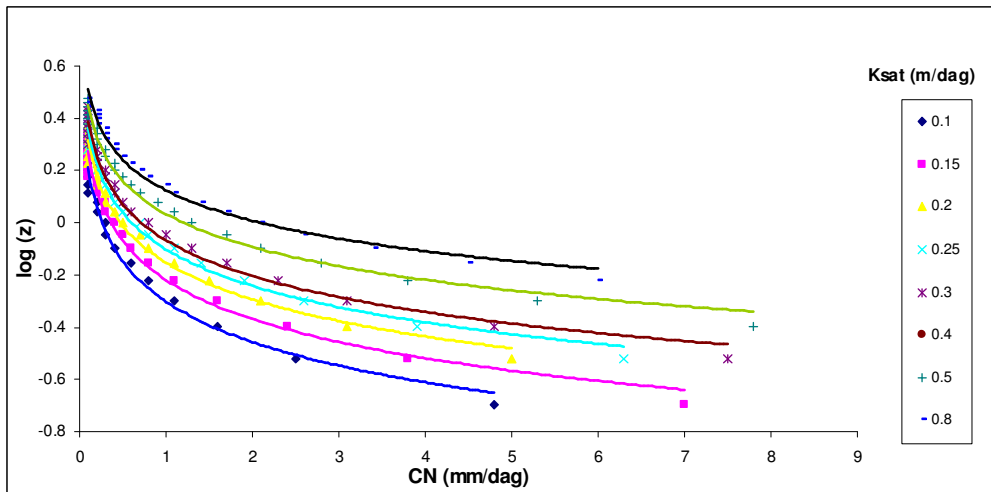
Ksat (m/dag)	a	b	R <sup>2</sup>
0.10	-0.179314	-0.38693	0.9824
0.15	-0.180555	-0.315828	0.9887
0.20	-0.174496	-0.259096	0.9832
0.25	-0.167939	-0.220601	0.9889
0.30	-0.169013	-0.192762	0.9744
0.50	-0.167798	-0.107008	0.9736
1.00	-0.165779	0.005438	0.9696



Tabel 5-44 De coëfficiënten a en b in het model  $\{\log(z) = a (\ln(CN)) + b\}$  in functie van de Ksat-waarde voor curvetype G

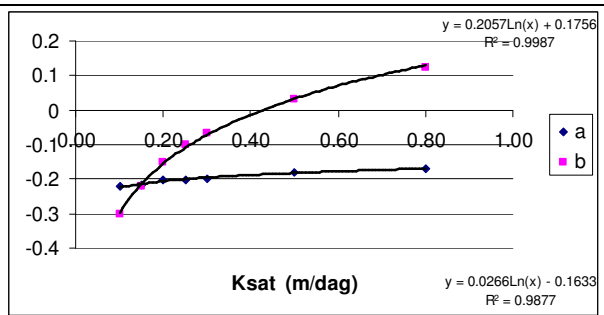
Figuur 5-69 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor curvetype G

**Curvetype I**



Figuur 5-70 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype I bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.

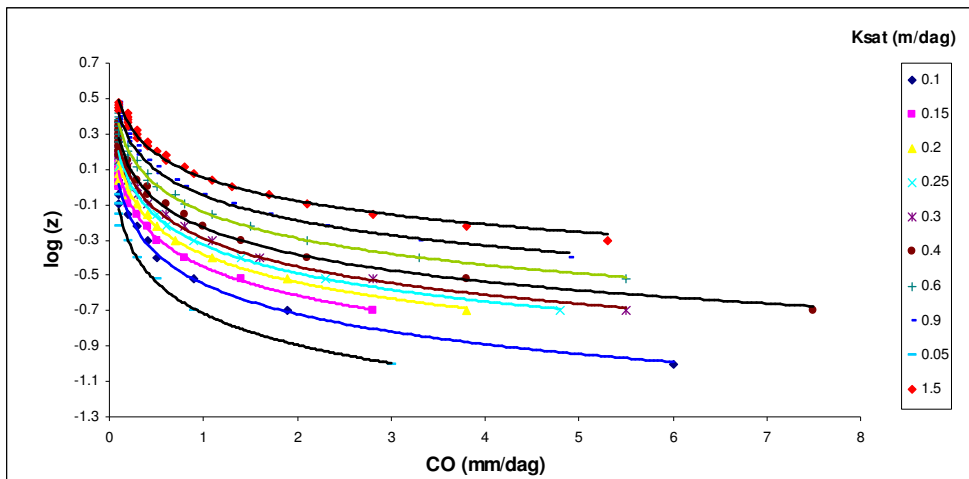
Ksat (m/dag)	a	b	R <sup>2</sup>
0.10	-0.222541	-0.30236	0.9787
0.15	-0.215354	-0.219799	0.9807
0.20	-0.203453	-0.152875	0.9816
0.25	-0.201734	-0.101774	0.9840
0.30	-0.19814	-0.067166	0.9835
0.50	-0.181266	0.032779	0.9863
0.80	-0.167776	0.123889	0.9834



Tabel 5-45 De coëfficiënten a en b in het model  $\{\log(z) = a (\ln(CN)) + b\}$  in functie van de Ksat-waarde voor curvetype I

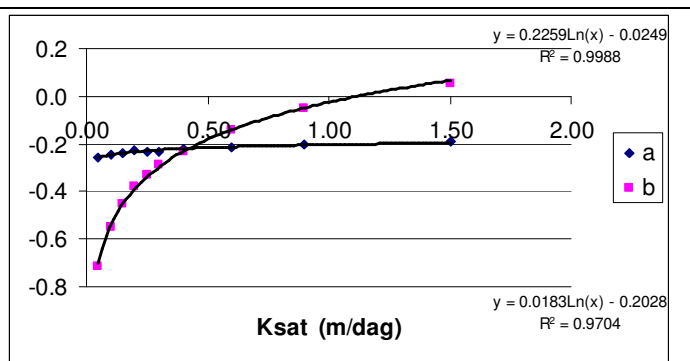
Figuur 5-71 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor curvetype I

Curvetype J



Figuur 5-72 De relatie tussen de CN en de grondwaterstand (z) voor curvetype J bij binnen de groep voorkomende Ksat-waarden.

Ksat (m/dag)	a	b	R <sup>2</sup>
0.05	-0.2556	-0.7152	0.9773
0.10	-0.2462	-0.5479	0.9751
0.15	-0.2362	-0.4501	0.9743
0.20	-0.2276	-0.3812	0.9739
0.25	-0.2302	-0.3276	0.9815
0.30	-0.2299	-0.2905	0.9802
0.40	-0.2200	-0.2302	0.9795
0.60	-0.2165	-0.1401	0.9760
0.90	-0.2038	-0.0487	0.9850
1.50	-0.1912	0.0536	0.9856



Tabel 5-46 De coëfficiënten a en b in het model  $\{\log(z) = a(\ln(CN)) + b\}$  in functie van de Ksat-waarde voor curvetype J

Figuur 5-73 Ln-relatie tussen de coëfficiënten a en b, en Ksat voor curvetype J



## Samenvatting

De volgende tabel vat de functionele modellen samen zoals ze hiervoor werden afgeleid, en geeft voor elk curvetype het bereik aan waarbinnen de waarde van gemeten of berekende hydraulische conductiviteit voorkomt

Tabel 5-47 Overzicht van het vierde functionele model en het bereik van voorkomende Ksat-waarden per curvetype

Curvetype	Rekenmodule en bereik van Ksatwaarden
<b>Type AD</b>	$CN = \exp((\log(z) - (0.3004 \ln(K_{sat}) + 0.485)) / (0.0136 \ln(K_{sat}) - 0,2607))$
Ksat m/dag:	0.005 - 0.5
<b>Type B</b>	$CN = \exp((\log(z) - (0.2665 \ln(K_{sat}) + 0.2636)) / (0.0248 \ln(K_{sat}) - 0,2141))$
Ksat m/dag:	0.03 - 0.7
<b>Type C</b>	$CN = \exp((\log(z) - (0.2651 \ln(K_{sat}) + 0.209)) / (0.0196 \ln(K_{sat}) - 0,2264))$
Ksat m/dag:	0.03 - 0.6
<b>Type E</b>	$CN = \exp((\log(z) - (0,1392 \ln(K_{sat}) - 0.2919)) / (0.0092 \ln(K_{sat}) - 0,1435))$
Ksat m/dag:	0.5 - 6
<b>Type F</b>	$CN = \exp((\log(z) - (0,1002 \ln(K_{sat}) + 0.02)) / (-0.0082 \ln(K_{sat}) - 0,1062))$
Ksat m/dag:	0.5 - 6
<b>Type G</b>	$CN = \exp((\log(z) - (0,1701 \ln(K_{sat}) + 0.01)) / (0.0067 \ln(K_{sat}) - 0,1634))$
Ksat m/dag:	0.1 - 1
<b>Type I</b>	$CN = \exp((\log(z) - (0.2057 \ln(K_{sat}) + 0.1756)) / (0.0266 \ln(K_{sat}) - 0,1633))$
Ksat m/dag:	0.1 - 0.8
<b>Type J</b>	$CN = \exp((\log(z) - (0.2259 \ln(K_{sat}) - 0.0249)) / (0.0183 \ln(K_{sat}) - 0,2028))$
Ksat m/dag:	0.1 - 1.5

### 5.4.3.3 Validatie van het functionele model

#### 5.4.3.3.1 Inleiding

De validatie van de functionele modellen houdt in algemene termen de statistische toetsing in van modelresultaten aan meetgegevens. Rechtstreekse meting van de CN in termen van mm/dag is technologisch echter niet haalbaar. De fout die bij metingen zou voorkomen overtreft in ruime mate de absolute waarden van de CN die in de grootte-orde ligt van 0.1 tot meer dan 2 mm/dag.

De methode die hierna gevolgd werd heeft het volgende principe.

De huidige gebruikte bodemwaterbalansen BUDGET, Bodemkundige Dienst van België verrekenen de CN respectievelijk niet of onnauwkeurig. Bijgevolg zal de berekende waterreserve in een bodem die onderhevig is aan capillaire nalevering in een tijdmeetreeks in toenemende mate afwijken van de gemeten bodemvochtreserve. De bodemwaterbalans geeft dan vanzelfsprekend een foute waarde aan.

Bij verrekening van de CN in de bodemwaterbalans zal deze fout echter lager zijn, en dit in de mate dat het functionele model efficiënt is.

In hetgeen volgt wordt de bijdrage van de capillaire nalevering in de waterbalans die aangegeven wordt door de functionele modellen, berekend voor een zeer groot aantal percelen waarvoor in het kader van dit onderzoek de nodige parameters gemeten en opnames werden uitgevoerd. Dit laat toe om de verklarende waarde van de functionele modellen te beoordelen op basis van een uitgebreide dataset.

Het waterbalansmodel dat hier aangewend wordt is het model dat door de Bodemkundige Dienst van België gebruikt wordt en dat dezelfde rekenprincipes en algoritmes toepast als deze die aan de basis liggen van BUDGET.

De neerslagefficiëntie werd algemeen op 90% gesteld, de berekeningsefficiëntie op 85%. De worteldiepte werd beperkt tot de bouwlaag indien grondwater op minder dan 80 cm-mv voorkomt. Deze keuze is redelijk gezien de wortelontwikkeling oppervlakkig blijft wanneer in de bodemlaag net boven de grondwatertafel geregeld waterlogging en asphyxie optreedt.

Zoals reeds aangegeven vormt de Ksat-waarde een zeer belangrijke parameter. Deze werd op alle percelen van de dataset op 2 wijzen gemeten (in situ en in het labo) en op 3 wijzen berekend (Williams, Rosetta3 en Rosetta5) op basis van verklarende gemeten parameters (WRC en textuur). Deze benaderingswijzen werd reeds eerder uitgebreid besproken in het tussentijdse verslag met betrekking tot het eerste onderzoeksjaar (Hoofdstuk 5.3.3).

#### 5.4.3.3.2 Datasets

De datasets die verzameld werden in de werkpakketten WP1, WP2 en WP3 werden betrokken. Niet alle datasets konden gebruikt worden. Er zijn een aantal redenen waarom een enkele datareeksen dienden weggelaten te worden:

- te diepe grondwatertafel waardoor geen CN kon verwacht worden;
- ontbrekende WRC-metingen, bv. door technisch onmogelijke staalname omwille van een extreem hoge grondwatertafel;
- enkele kleibodems waarvan de WRC niet kon herkend worden in de curvetypes;
- in aantal te beperkte (bv. 2) vochtcontroles op het veld.

Na doorlichting van de data en controle op volledigheid en voldoende informatie werden in het totaal 104 percelen en seizoenen betrokken, gespreid over de periode 1999 – 2006. Het betreft in hoofdzaak groentegewassen, doch ook gras en maïs. De ligging van de percelen is zeer verspreid over Vlaanderen en de bodemprofielen zijn dan ook zeer divers.

Volgende tabel geeft kort de identificatie van de datareeksen, de percelen, en het curvetype dat aansluit bij de WRC van de bodemlaag onder de bouwlaag.

Tabel 5-48 In de validatie gebruikte dataset: perceelsidentificatie en bijhorend curvetype

nr.	Perceel identificatie	Curvetype	nr.	Perceel identificatie	Curvetype
1	BVA1	C	53	5b00-23.2	AD
2	BVA3	B	54	5b00-23.3	B
3	BVA5	J	55	5b01-2	AD
4	BVA6	I	56	5b01-3	B
5	BVA7	B	57	5b01-4	C
6	BVA8	H	58	5b01-5	C
7	BVA9	B	59	5b01-8	B
8	BVA10	H	60	323	C
9	BVA11	G	61	324	F
10	POVLT2	G	62	327-1	AD
11	POVLT3	G	63	327-2	F
12	POVLT5	H	64	327-3	J
13	POVLT6	C	65	327-4	I
14	POVLT8	C	66	327-5	J
15	POVLT9	J	67	327-6	G
16	POVLT11	C	68	327-7	G
17	POVLT13	AD	69	327-8	I
18	POVLT14	AD	70	327-9a	F
19	POVLT15	C	71	327-9v	I
20	5b-99-1	C	72	218/99	G
21	5b-99-3	I	73	218/00	G
22	5b-99-4	J	74	219/99	J
23	5b-99-5	J	75	219/00	J
24	5b-99-6	B	76	220	AD
25	5b-99-7	G	77	221	C
26	5b-00-1.1	B	78	242	E
27	5b-00-1.2	B	79	245	AD
28	5b-00-1.3	AD	80	270	G
29	5b-00-1.4	AD	81	274	E
30	5b-00-2.1	E	82	275	E
31	5b-00-2.2	E	83	278	C
32	5b00-3.1	J	84	280	AD
33	5b00-3.2	B	85	281	C
34	5b00-3.3	B	86	POVLT1	AD
35	5b00-4	AD	87	POVLT4	AD
36	5b00-6.1	AD	88	POVLT6	C
37	5b00-6.2	AD	89	POVLT7	H
38	5b00-7.1	AD	90	POVLT10	AD
39	5b00-7.2	AD	91	POVLT12	AD
40	5b00-8	F	92	POVLT13	I
41	5b00-9.1	I	93	POVLT14	AD
42	5b00-9.2	I	94	POVLT16	AD
43	5b00-9.3	I	95	PSKW1	C
44	5b00-10.2	I	96	PSKW2	I
45	5b00-11	B	97	PSKW3	I
46	5b00-17.2	H	98	PSKW4	C
47	5b00-19	AD	99	PSKW5	G
48	5b00-20.1	AD	100	PSKW6	G
49	5b00-20.2	AD	101	PSKW7	B
50	5b00-22.1	AD	102	PSKW8	I
51	5b00-22.2	AD	103	PSKW9	G
52	5b00-23.1	AD	104	PSKW10	F

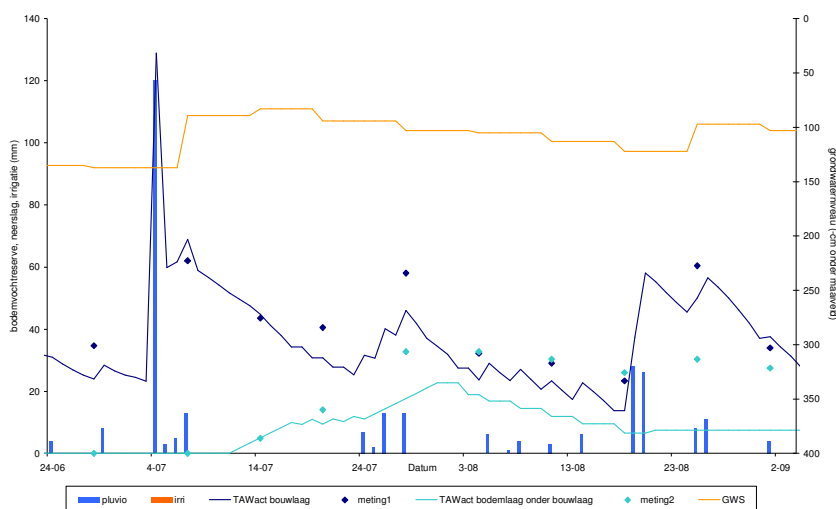
## 5.4.3.3.2 Validatie

Voor de 104 datasets werd de bodemwaterbalans opgesteld waarbij de CN volgens het bijhorende functionele model werd berekend op basis van de 5 Ksat-waarden overeenkomend met de verschillende bepalingwijzen (metingen of berekeningen).

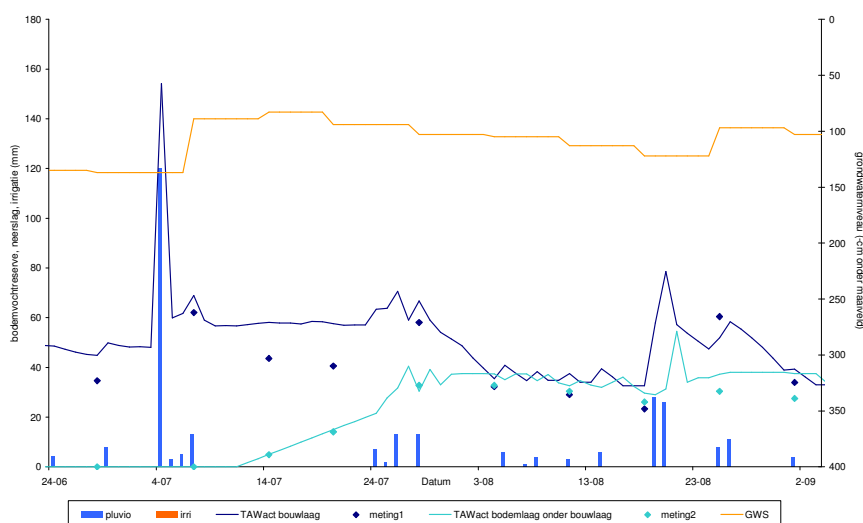
De bodemvochtreserve werd gemeten op een aantal dagen binnen de groeicyclus van de gewassen op de 104 percelen. Deze gemeten vochtreserve werd vergeleken met de bodemvochtreserve die werd berekend door het model

- in een eerste doorrekening zonder dat de CN werd betrokken,
- daarna onder de voorwaarde dat de CN werd berekend volgens het bijhorende functionele model en dit met de 5 Ksat waarden.

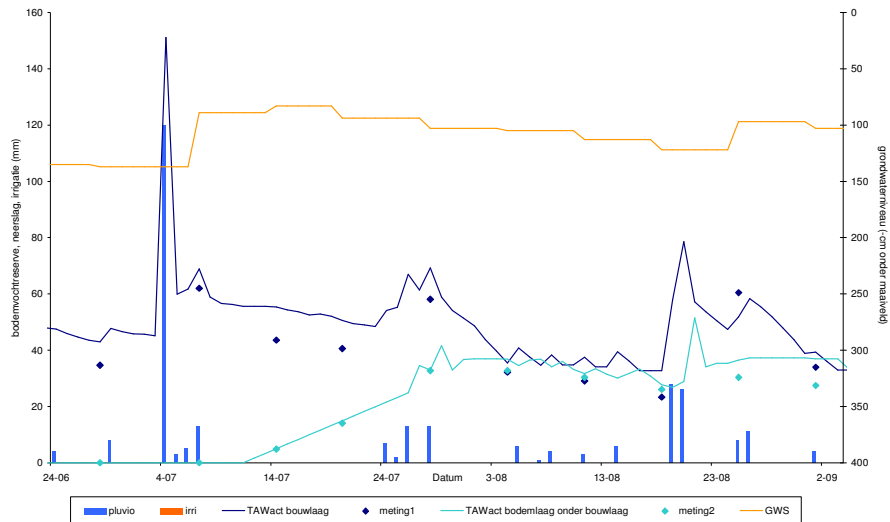
Ter illustratie geeft figuur 5-74 voor het perceel POVLT14-05 de doorrekening aan van de voorwaarde zonder CN en de figuren 5-75 tot 5-79 de doorrekeningen met het functionele model (voor dit perceel op basis van de module voor curvetype AD) volgens de respectievelijke Ksat-bepalingen.



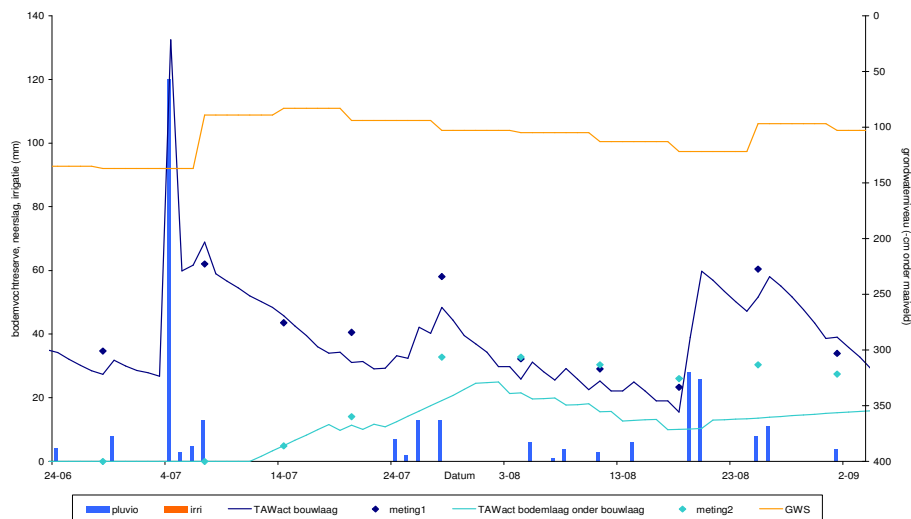
Figuur 5-74 Berekende bodemvochtreserve zonder verrekening van de CN, voor het perceel POVLT14-05.



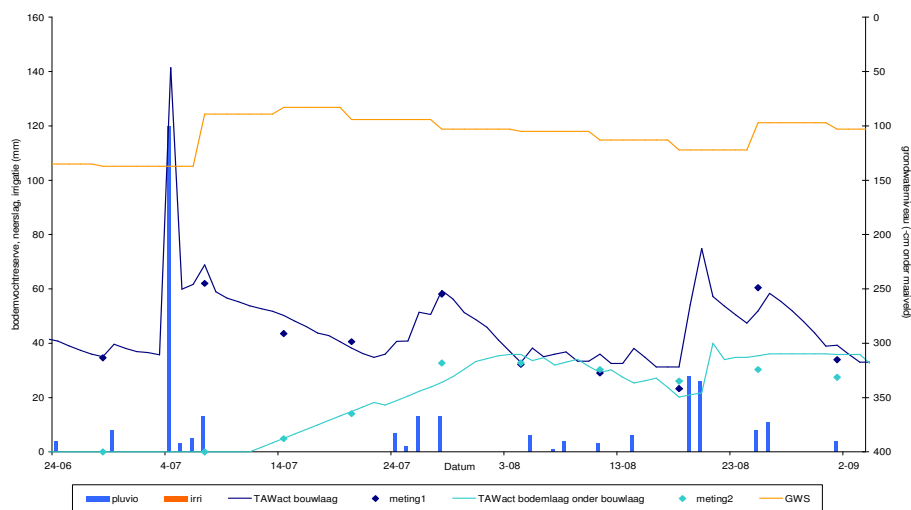
Figuur 5-75 Berekende bodemvochtreserve met het functionele model curvetype AD met Ksat-waarde 0.22 m/dag (meting met boorgatenmethode) voor het perceel POVLT14-05.



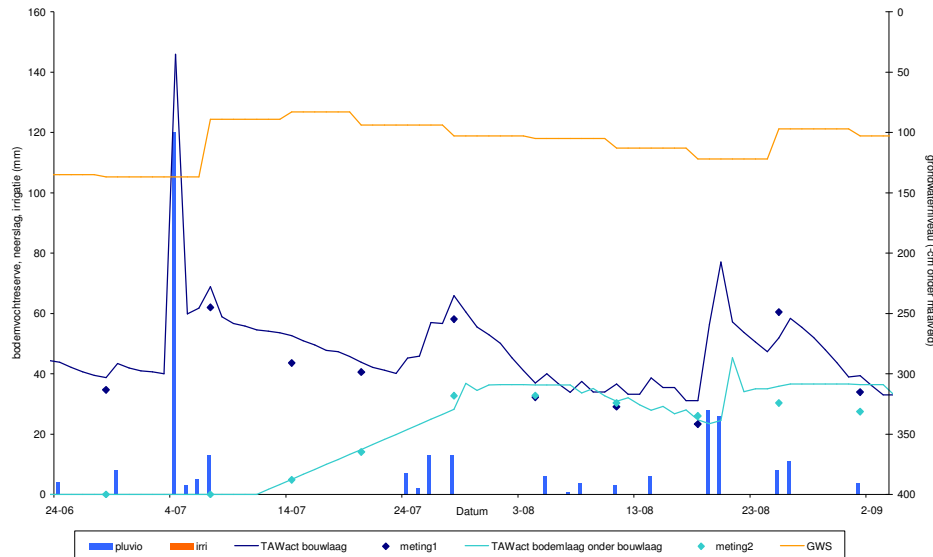
Figuur 5-76 Berekende bodemvochtreserve met het functionele model curvetype AD met Ksat-waarde 0.18 m/dag (meting op ongestoorde stalen in het laboratorium) voor het perceel POVLT14-05.



Figuur 5-77 Berekende bodemvochtreserve met het functionele model curvetype AD met Ksat-waarde 0.02 m/dag (berekend volgens Williams) voor het perceel POVLT14-05.



Figuur 5-78 Berekende bodemvochtreserve met het functionele model curvetype AD met Ksat-waarde 0.10 m/dag (berekend volgens Rosetta3) voor het perceel POVLT14-05.

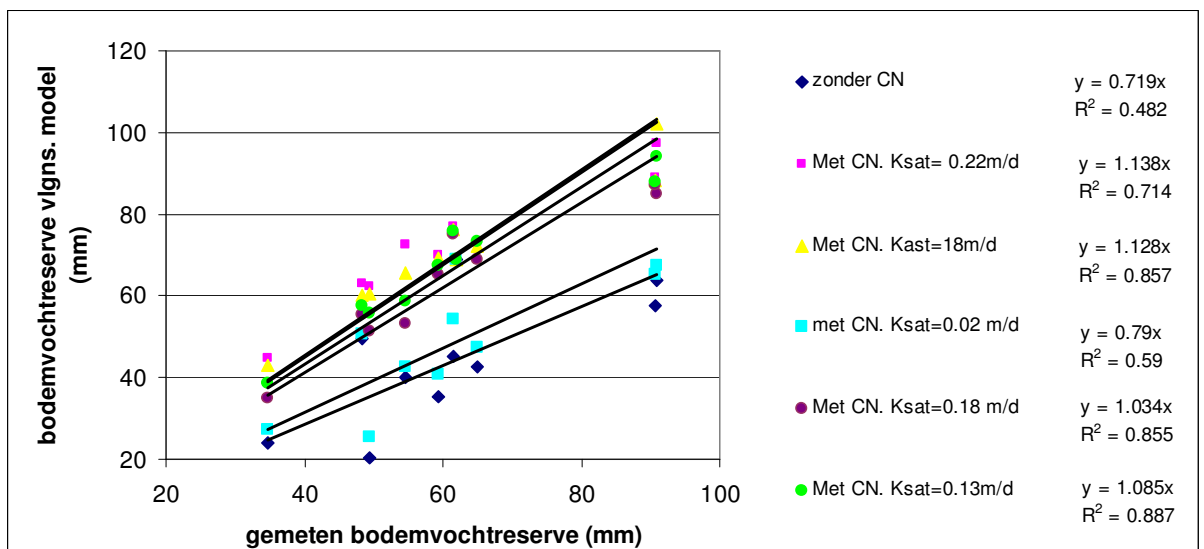


Figuur 5-79 Berekende bodemvochtreserve met het functionele model curvetype AD met Ksat-waarde 0.13 m/dag (berekend volgens Rosetta5) voor het perceel POVLT14-05.

Men merkt dat de fout in de berekende bodemwaterbalans t.o.v. de meetwaarden, gevoelig afneemt door toepassing van het functionele model. Teneinde de doeltreffendheid van het functionele model mathematisch uit te drukken, werden de gesimuleerde waarden van bodemvochtreserve (als som van de vochtinhoud in de bouwlaag en de onderliggende laag) uitgezet ten opzichte van de gemeten waarden in figuur 5-80.

De bissectrice geeft vanzelfsprekend de maximale fit weer. De helling van een gefitte rechte is dan 1. De helling van de gefitte rechte geeft eveneens de afwijking weer.

De correlatie geeft weer hoe nauwkeurig de overeenkomst of afwijking tussen gesimuleerde waarden en gemeten waarden is.



Figuur 5-80 Gesimuleerde waarde van de bodemvochtreserve berekend met de bodemwaterbalans en het functionele model met de verschillende Ksat-benaderingen t.o.v. de gemeten bodemvochtinhoud van perceel POVLT14-05.

Men merkt dat de doorrekening met de Ksat-waarde berekend volgens Rosetta3 (0.18 m/dag,) voor dit geval meest succesvol is en een gemiddelde afwijking geeft van 3.4 % (helling = 1.034) en een correlatie van 0.855. Rekening houdend met de gemiddelde meetwaarde geeft dit in absolute termen een afwijking van gemiddeld minder dan 3 mm.

Deze doorrekening werd gemaakt voor de 104 betrokken datasets (percelen).

De resultaten van deze doorrekeningen werden gegroepeerd per curvetype en samengevat in de volgende tabellen.

In de bespreking werd aandacht geschonken aan de afwijking in de gemeten waarden ten opzichte van deze aangegeven door de bodemwaterbalansen dit in functie van de methode van Ksat-bepaling. Voor de enkele percelen, gevallen, waar de correlatie laag lag, werd dit ook aangegeven, ondanks het feit dat de hellingsgraad eventueel zeer goed kan zijn (d.i. 1 benaderen). Om deze reden werd ook systematisch de absolute afwijking (+ of -) berekend en in de evaluatie betrokken.

De afwijking en correlatie voor elk perceel, per datareeks, en per module (curvetype) zijn opgenomen in bijlage 41.

De afwijking is gegeven als de afwijking van de bissectrice in de vergelijking van de gesimuleerde waarde met de gemeten waarden, alsook de gemiddeld absolute (+ of -) afwijking van de gesimuleerde waarde t.o.v. de gemeten waarde.

Een samenvattende tabel is per curvetype hieronder opgenomen.

### Curvetype AD (leem)

Tabel 5-49 Percelen onder curvetype AD: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden.

	Helling						Absoluut verschil					
	Geen CN	Boorgaten	Kopecky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5	Geen CN	Boorgaten	Kopecky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5
Gemiddelde	0.86	1.12	1.03	0.89	1.04	1.03	11.15	9.70	7.87	9.67	7.43	7.72
Aantal R <sup>2</sup> >0.4	14	6	13	16	16	17	14	6	13	16	16	17
stdev	0.14	0.07	0.10	0.12	0.06	0.09	8.35	5.71	3.60	7.31	3.12	3.32
95% Betrouwbaarheidsinterval												
-	0.78	1.07	0.98	0.83	1.01	0.99	6.77	5.13	5.92	6.09	5.90	6.14
+	0.93	1.18	1.09	0.95	1.07	1.07	15.52	14.27	9.83	13.26	8.96	9.30

Het aantal metingen varieerde tussen 4 en 15 per perceel.

Gemiddeld liep de simulatie over 68 dagen.

Tabel 5-49 geeft aan dat de opgemeten vochtgehalten significant beter benaderd werden door de simulaties met capillaire nalevering.

De helling van de trendlijn benaderde de waarde één wanneer Ksat geschat werd met Rosetta3, Rosetta5, en gemeten op de Kopeckyringen.

Van de vierentwintig percelen gegroepeerd onder klasse AD waren er voor Rosetta5 bovendien zeventien percelen waarvan de correlatie van de trendlijn met de simulaties groter was dan 0.4.

De schatting van de Ksat op basis van de boorgatenmethode en op basis van Williams gaf minder goede resultaten.

Ook in absolute waarden gaven Rosetta3, Rosetta5 en de meting via Kopeckyringen de beste resultaten. Er was echter geen significant verschil tussen deze drie methodes.

Het absoluut verschil bleef lager dan 10mm totale beschikbare bodemwaterreserve voor de Williams en de boorgatenmethode, en lager dan 8 mm bij de methode Rosetta3, Rosetta5 en via Kopeckyringen.

Rekening houdend met het gemiddeld aantal dagen waarover de simulaties liepen, kan men stellen dat met deze laatste methodes een afwijking van 5 mm is bereikt na 46 dagen.

### Vergelijking B (zandleem, lemig zand)

Tabel 5-50 Percelen onder curvetype B: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden.

	Helling						Absoluut verschil					
	Geen CN	Boorgaten	Kopeccky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5	Geen CN	Boorgaten	Kopeccky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5
gemiddelde	0.78	0.96	0.92	0.89	0.92	0.93	20.34	8.81	9.50	8.86	9.93	7.69
aantal $R^2 > 0.4$	9	5	9	9	9	10	9	5	9	9	9	10
stdev	0.07	0.05	0.09	0.05	0.06	0.05	15.58	3.00	5.18	2.64	5.10	2.34
95% Betrouwbaarheidsinterval												
-	0.74	0.92	0.86	0.85	0.88	0.90	10.16	6.18	6.11	7.14	6.60	6.24
+	0.82	1.00	0.98	0.92	0.96	0.96	30.52	11.44	12.88	10.58	13.26	9.14

Het aantal metingen varieerde tussen 5 en 19 per perceel.

Gemiddeld liep de simulatie over 65 dagen.

De simulaties met capillaire nalevering gaven een significant betere schatting dan de simulaties zonder capillaire nalevering. De helling van de trendlijn door de simulaties zonder capillaire nalevering was gelijk aan 0.78. Dit is significant lager dan de helling van de trendlijn door de simulaties met capillaire nalevering. De trendlijn doorheen de simulaties met capillaire nalevering benaderde telkens de waarde één (zie tabel 5-50).

De schattingen van de Ksat met de Boorgatenmethode, de Kopeccky ringen, Rosetta3 en Rosetta5 gaven de beste resultaten. De trendlijn doorheen de simulaties van de vochtinhoud met de Ksat afgeleid via de Boorgatenmethode, correleerde echter minder goed dan de trendlijn doorheen de waarden van de andere simulatiemethodes.

Rosetta5 gaf de beste resultaten rekening houdend met de correlatie van de trendlijn doorheen de simulaties. Voor de simulatie met Rosetta5 waren er op een totaal van zeventien bodems tien bodems waarvan de correlatie hoger lag dan 0.4.

Het absoluut verschil voor alle methodes bleef lager dan 10mm en bij de methode Rosetta5 lager dan 8 mm.

Rekening houdend met het gemiddeld aantal dagen waarover de simulaties liepen, kan men stellen dat met deze laatste methodes een afwijking van 5 mm is bereikt na 42 dagen.

### Vergelijking C (leem)

Tabel 5-51 Percelen onder curvetype C: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden.

	Helling						Absoluut verschil					
	Geen CN	Boorgaten	Kopeccky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5	Geen CN	Boorgaten	Kopeccky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5
Gemiddelde	0.85	1.04	0.97	0.92	1.00	0.99	13.67	8.65	8.53	13.03	9.51	9.08
Aantal $R^2 > 0.4$	8	5	9	8	7	8	8	5	9	8	7	8
Stdev	0.12	0.09	0.10	0.16	0.12	0.11	9.39	4.75	3.31	8.15	5.69	4.92
95% Betrouwbaarheidsinterval												
-	0.76	0.95	0.91	0.80	0.91	0.91	7.16	4.49	6.37	7.38	5.30	5.67
+	0.93	1.12	1.04	1.03	1.09	1.06	20.17	12.81	10.70	18.67	13.72	12.49

Het aantal metingen varieerde tussen 3 en 22 per perceel.

Gemiddeld liep de simulatie over 64 dagen.

Bij het curvetype C scoorden alle simulaties met capillaire nalevering beter dan de simulaties zonder capillaire nalevering. De helling van de trendlijn benaderde voor alle simulaties met capillaire nalevering de waarde één (zite tabel 5-51).



De correlatie tussen de simulaties en de opgemeten waarden was het beste voor de Ksat bepaald met de Kopecky ringen. Voor deze methode waren er negen bodems die een correlatie hadden hoger dan 0.4.

Voor de schatting op basis van Williams en Rosetta5 waren er acht bodems die een correlatie hadden hoger dan 0.4.

Rekening houdend met de correlatie gaf de schatting op basis van Rosetta5 de beste resultaten.

Het absoluut verschil voor alle methodes bleef lager dan 9 à 10 mm behalve voor de methode Williams.

Rekening houdend met het gemiddeld aantal dagen waarover de simulaties liepen, kan men stellen dat met deze laatste methodes een afwijking van 5 mm is bereikt na 38 dagen.

### Vergelijking E (grof zand)

Tabel 5-52 Percelen onder curvetype E: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden.

	Helling						Absoluut verschil					
	Geen CN	Boorgaten	Kopecky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5	Geen CN	Boorgaten	Kopecky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5
gemiddelde	0.84	0.97	0.92	0.92	0.96	0.92	9.97	9.56	9.81	9.84	9.60	9.28
aantal $R^2 > 0.4$	1	2	2	2	2	3	1	2	2	2	2	3
stdev	-	0.12	0.05	0.04	0.11	0.04	-	1.49	1.61	1.57	1.90	1.46
95% Betrouwbaarheidsinterval												
-	-	0.80	0.86	0.86	0.81	0.87	-	7.50	7.58	7.67	6.96	7.63
+	-	1.13	0.98	0.98	1.11	0.97	-	11.62	12.04	12.01	12.24	10.94

Het aantal metingen varieerde tussen 5 en 15 per perceel.

Gemiddeld liep de simulatie over 140 dagen.

Voor de zes geteste bodems werden ook de beste resultaten bekomen bij de simulaties met capillaire nalevering. Er waren echter slechts twee tot drie bodems waarvan de correlatie tussen de simulatie en de opgemeten waarde groter was dan 0.4.

Rosetta5 gaf rekening houdend met de correlatie de beste resultaten. Ook de andere simulaties waarbij rekening werd gehouden met de capillaire nalevering scoorden vrij goed. Het absoluut verschil voor alle methodes bleef lager dan 10 mm.

Rekening houdend met het gemiddeld aantal dagen waarover de simulaties liepen, kan men stellen dat met deze laatste methodes een afwijking van 5 mm is bereikt na 100 dagen.

**Vergelijking F (zand en lemig zand)**

Tabel 5-53 Percelen onder curvetype F: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden.

	Helling						Absoluut verschil					
	Geen CN	Boorgaten	Kopecky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5	Geen CN	Boorgaten	Kopecky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5
gemiddelde	0.71	0.77	0.73	0.88	0.65	0.83	14.80	14.27	15.41	10.70	20.27	11.90
Aantal $R^2 > 0.4$	4	3	3	4	2	4	4	3	3	4	2	4
stdev	0.22	0.31	0.29	0.24	0.35	0.28	13.34	15.36	16.24	10.51	19.83	13.63
95% betrouwbaarheidsinterval												
-	0.50	0.43	0.39	0.65	0.17	0.56	1.73	-3.12	-2.97	0.40	-7.21	-1.46
+	0.92	1.12	1.06	1.11	1.13	1.10	27.87	31.65	33.79	20.99	47.75	25.26

Het aantal metingen varieerde tussen 8 en 16 per perceel.

Gemiddeld liep de simulatie over 64 dagen.

De correlatie tussen de opgemeten waarden en de gesimuleerde waarden lag voor de simulaties zonder capillaire nalevering, Rosetta3 en Rosetta5 boven 0.4 voor alle bodems. Met de methode Rosetta5 en Williams werd het beste de waarde 1 benaderd.

Er vielen slechts vier bodems onder curvetype F (zie bijlage 41), doch ondanks de eerder intensieve bemonstering per perceel, werden geen significante verschillen gevonden. In het beste geval was de absolute afwijking bij benadering 11 mm (Williams en Rosetta5).

Rekening houdend met het gemiddeld aantal dagen waarover de simulaties liepen, kan men stellen dat met deze laatste methodes een afwijking van 5 mm is bereikt na 31 dagen.

**Vergelijking G (lemig zand)**

Tabel 5-54 Percelen onder curvetype G: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden.

	Helling						Absoluut verschil					
	Geen CN	Boorgaten	Kopecky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5	Geen CN	Boorgaten	Kopecky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5
gemiddelde	0.79	1.00	0.88	1.00	0.97	0.97	12.48	7.23	8.83	7.06	5.84	7.07
aantal $R^2 > 0.4$	8	7	8	11	8	9	8	7	8	11	8	9
stdev	0.18	0.11	0.10	0.11	0.07	0.09	8.28	3.41	4.76	2.78	2.26	2.88
95% Betrouwbaarheidsinterval												
-	0.66	0.91	0.81	0.94	0.92	0.91	6.74	4.71	5.53	5.41	4.27	5.19
+	0.91	1.08	0.95	1.07	1.02	1.02	18.22	9.76	12.12	8.71	7.40	8.95

Het aantal metingen varieerde tussen 3 en 17 per perceel.

Gemiddeld liep de simulatie over 92 dagen.

De simulatie zonder capillaire nalevering was significant minder goed dan de schatting met capillaire nalevering. Dit geldt voor alle methodes die gebruikt werden om de Ksat te bepalen, uitgezonderd de methode met Kopecky ringen. De Ksat bepaling met Kopecky ringen leidde tot de slechtste schatting.

De trendlijn door de gesimuleerde waarden met de Ksat bepaald via Williams benaderde het beste de bissectrice. De simulatie van de vochtinhoud benaderde het beste de metingen bij de Ksat-berekening via Williams. Ook de correlatie was bij de Williams-methode het beste.

In absolute waarden was er minimaal een afwijking van zeven mm (via Williams en Rosetta5).

Rekening houdend met het gemiddeld aantal dagen waarover de simulaties liepen, kan men stellen dat met deze laatste methodes een afwijking van 5 mm is bereikt na 79 dagen.

**Vergelijking I (zandleem, lemig zand, lichte klei)**

Tabel 5-55 Percelen onder curvetype I: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden.

	Helling						Absoluut verschil					
	Geen CN	Boorgaten	Kopecky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5	Geen CN	Boorgaten	Kopecky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5
gemiddelde	0.82	1.23	0.97	1.08	1.11	0.99	14.6	14.5	11.0	9.7	18.5	9.1
aantal $R^2 > 0.4$	10	7	10	9	8	11	10	7	10	9	8	11
stdev	0.11	0.20	0.16	0.12	0.27	0.13	8.5	8.0	5.3	3.1	6.0	2.7
95% Betrouwbaarheidsinterval												
-	0.75	1.08	0.87	1.00	0.92	0.91	9.4	8.6	7.7	7.6	14.4	7.5
+	0.89	1.38	1.07	1.16	1.30	1.06	19.9	20.4	14.3	11.7	22.7	10.7

Het aantal metingen varieerde tussen 5 en 22 per perceel.

Gemiddeld liep de simulatie over 62 dagen.

De Boorgatenmethode en Rosetta3 gaven een overschatting, de Kopecky ringen een onderschatting. De simulaties met behulp van Rosetta5 en Williams gaven de beste resultaten. Vooral de simulatie met Rosetta 5 was opmerkelijk beter dan de andere simulaties. Voor elf van de twaalf geteste bodems was de correlatie tussen de opgemeten en de gesimuleerde bodems hoger dan 0.4. De helling van de trendlijn was gelijk aan 0.99.

In absolute waarden was het verschil met de gesimuleerde waarde gemiddeld 9 mm voor de methodes Rosetta5 en Williams.

Rekening houdend met het gemiddeld aantal dagen waarover de simulaties liepen, kan men stellen dat met deze laatste methodes een afwijking van 5 mm is bereikt na 34 dagen.

**Vergelijking J (lemig zand, zandleem, leem)**

Tabel 5-56 Percelen onder curvetype J: Afwijking in percentage en absolute gemiddelde afwijking van de gesimuleerde waarden van vochtinhoud t.o.v. de gemeten waarden.

	Helling						Absoluut verschil					
	Geen CN	Boorgaten	Kopecky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5	Geen CN	Boorgaten	Kopecky	Williams	Rosetta 3	Rosetta 5
gemiddelde	0.85	0.92	0.90	0.94	0.95	0.99	10.09	8.70	8.47	6.77	7.28	6.54
aantal $R^2 > 0.4$	8	7	7	7	8	8	8	7	7	7	8	8
stdev	0.13	0.09	0.15	0.06	0.08	0.09	6.02	4.57	6.23	2.08	3.67	2.28
95% Betrouwbaarheidsinterval												
-	0.76	0.86	0.79	0.89	0.89	0.92	5.92	5.31	3.85	5.22	4.74	4.96
+	0.94	0.98	1.02	0.98	1.01	1.05	14.26	12.09	13.09	8.31	9.82	8.12

Het aantal metingen varieerde tussen 5 en 17 per perceel.

Gemiddeld liep de simulatie over 78 dagen.

De helling van de trendlijn lag voor de simulaties met capillaire nalevering telkens hoger dan voor de simulatie zonder capillaire nalevering. Vanwege de hoge standaarddeviatie bij de simulatie zonder capillaire nalevering was er echter geen significant verschil tussen de simulaties met en de simulaties zonder capillaire nalevering.

Rosetta5 gaf de beste resultaten, de helling van de trendlijn was 0.99 en er waren acht bodems waarbij de correlatie tussen opgemeten waarden en de simulaties hoger was dan 0.4. Ook bij andere methodes was de helling van de gefitte trendlijn hoger dan 0.9.

In absolute waarden was het verschil met de gesimuleerde waarde minder dan 7 mm voor de methodes Rosetta5 en Williams.

Rekening houdend met het gemiddeld aantal dagen waarover de simulaties liepen, kan men stellen dat met deze laatste methodes een afwijking van 5 mm is bereikt na 68 dagen.

## 5.4.3.3.2 Besluit

Vrijwel in alle gevallen lag de helling van de trendlijn dichter tegen de bissectrice wanneer de capillaire nalevering in de simulatie werd ingebouwd. Indien er voldoende bodems getest konden worden was het verschil telkens significant. Dit was het geval voor curvetypes AD, B, C, G en I. De opgemeten waarden werden dan ook beter benaderd wanneer de capillaire nalevering werd ingebracht via de vergelijkingen.

Tussen de verschillende modellen ter bepaling van de capillaire nalevering onderling was er minder verschil: het verschil tussen rekenwijzen met de verschillende methodes blijkt zelden significant.

Toepassing van de methodes Rosetta3 en Williams leidden tot eerder wisselend succes.

De Ksat-bepalingen via de Kopecky ringen en via de Boorgatenmethode scoorden slechts zelden goed.

Rosetta5 scoorde in alle gevallen vrij goed tot zeer goed met absolute afwijkingen systematisch lager dan 10 mm TAW, m.u.v. onder het curvetype F. De rekenmodules die de Ksat-waarden aangegeven door de Rosetta5-methode in rekening brengen scoren m.a.w. het beste.

### 5.4.3.3 Operationele mogelijkheden: afweging van kosten en nauwkeurigheid bij toepassing van het functionele model.

#### 1. Kosten

De methode van Williams steunt enkel op de effectieve porositeit, gedefinieerd als het verschil tussen het vochtgehalte bij verzadiging en bij veldcapaciteit. Beide parameters zijn reeds beschikbaar bij een modelmatig opvolging van de bodemwaterbalans. Toepassing van deze methode vergt geen bijkomende kosten. De nauwkeurigheid bij toepassing in het functionele model is niet altijd even succesvol als de toepassing van Rosetta5, in het bijzonder voor curvetypes AD, B en C.

De Ksat wordt onder de methode Rosetta5 berekend op basis van

- de textuur
- schijnbare dichtheid
- het vochtgehalte bij pF 2.5 en bij pF 4.2 (punten op de WRC).

De schijnbare dichtheid en de WRC worden standaard reeds bepaald bij modelmatige opvolging van de bodemvochttoestand. Deze parameters zijn dus reeds beschikbaar en betekenen geen bijkomende kost.

De gehalten aan zand, leem en klei kunnen standaard in het laboratorium gebeuren. De kosten van deze granulometrische analyse bedragen € 25. De staalnamekost is meestal verwaarloosbaar.

De kosten verbonden aan Rosetta3 (pF 4.2 is niet vereist) zijn in de praktijk dezelfde als deze voor Rosetta5, doch de methode is minder succesvol.

De kosten verbonden aan de bepaling van de Ksat-waarde op ongestoorde stalen (Kopeckyringen) liggen in dezelfde grootteorde als deze van een granulometrische analyse. De nauwkeurigheid die het functionele model levert op basis van deze bepaling is echter zeer wisselend, en meestal lager dan na toepassing van Rosetta5.

Het uitvoeren van de boorgatenmethode in situ vereist ca 0.5 mandag. De kosten die hieraan verbonden zijn liggen gevoelig hoger dan voor de andere methoden. De benadering van de Ksat-waarde via deze methode levert binnen het functionele model echter een aanzienlijk lagere nauwkeurigheid.

Samenvattend is de toepassing van de methode Rosetta5 of van de methode Williams aangewezen, deze laatste weliswaar met enige reserve bij de curvetypes AD, B en C.

## 2. Nauwkeurigheid

Samenvattend uit de gegevens van de validatie kan men de volgende nauwkeurigheid aangeven bij toepassing van Rosetta5. Een afwijking van 5 mm TAW (totaal beschikbare bodemwaterreserve) wordt bereikt na de simulatie van 31 tot 46 dagen (curvetypes AD, B, C, F en I) of na 68 tot 100 dagen (voor curvetypes E, G of J). Indien men in de praktijk de vochtreserve wenst op te volgen met een waterbalanssimulatie en indien men deze afwijking stelt als maximale tolerantie, dan betekent dit dat na deze periode een vochtcontrole vereist is op het terrein om zondig de modelmatige opvolging te corrigeren.

Naar de toepassing van dergelijke functionele modellen, in de praktijk, dienen enkele belangrijke elementen vermeld te worden:

- Bij hogere grondwaterstanden dan in deze analyse betrokken, blijft de modelmatige benadering waarschijnlijk zeer moeilijk. Een kleine variatie in grondwaterstand kan een grote verandering in nalevering betekenen. Anderzijds wordt een grondwatertafel op minder dan 0.5 m onder de wortelzone in de praktijk door de landbouw in veel gevallen vermeden. Vooral in bodems met een niet zandige textuur zal bij dergelijke hoge grondwatertafels geregeld zuurstoftekort voorkomen. Dergelijke bodems worden meestal gedraineerd vooraleer er intensieve teelten op worden verbouwd.
- Enkele bodems kunnen niet onder de curvetypes worden gerangschikt. Hieronder vallen enkel kleibodems waarvan men kan aannemen dat de structuurontwikkeling zeer verschillend kan zijn en bijgevolg de Ksat waarden behoorlijk gespreid kunnen liggen. Voor deze bodems kunnen dan ook geen uitspraken worden gedaan over de capillaire nalevering met de afgeleide rekenmodules.

## 5.5 Wetenschappelijk publicatie

In een uitloper van het onderzoek worden 2 bijkomende realisaties voorzien:

Prof. Dirk Raes LWB, KULeuven, maakt deel uit van de FAO Working Group die het nieuwe FAO Model AquaCrop ontwikkelt. Dit model zal recente benaderingen integreren in de bodemwaterbalans, de bodemnutrientenbalans en in de plantproductie met het doel de waterbehoefte te bepalen en irrigatiesturing toe te laten.

Gezien de aansluiting bij USDA-textuur indeling van het 1ste en 2de functionele model (zie hoofdstuk 5) die in het huidige onderzoek werden ontwikkeld, zal Prof. Raes de benadering op basis van de USDA-WRC-groepering voorstellen binnen de modelopbouw (Augustus 2006). De nota hierover zal aan de Bodemkundige Dienst van België worden toegestuurd.

Op basis van deze nota zal de Bodemkundige Dienst van België i.s.m. prof. Raes de in dit onderzoek gevolgde methode eveneens formuleren in een artikel voor publicatie in een internationaal tijdschrift, in ontwerp voor Agricultural Water Management, Elsevier.

## 6. Algemeen besluit

Het algemeen besluit van het onderzoek herneemt de doelstellingen die het onderzoek voorop heeft gesteld en bevestigt de realisaties onder vorm van de vooropgestelde leverbaarheden. Gezien de complexiteit en veelheid van informatie gebeurt dit hier echter enkel kernachtig. Het spreekt vanzelf dat voor het detail van de leverbaarheden moet verwezen worden naar de hoofdstukken in dit rapport die de verschillende werkpakketen behandelen.

### Werkpakket I

#### Doelstelling

Opvolging van 2 proefvelden met verschillende beregeningsbehandelingen waardoor verschillende vochtprofielen worden bekomen met het doel datasets te leveren voor de modelontwikkeling en met het doel de beregeningsstrategie voor bloemkool en voor spruitkool te bevestigen of te preciseren.

#### Leverbaarheden

- De meetreeksen voor bodem, gewas en klimaat op een zelfde bodemprofiel in verschillende vochtprofielen voor 2004 zijn beschikbaar.
- De meetreeksen voor bodem, gewas en klimaat op een zelfde bodemprofiel in verschillende vochtprofielen voor 2005 zijn beschikbaar.
- Begroting van de capillaire nalevering in de bodemwaterbalansen. De bodemwaterbalansen werden opgenomen onder de dataset voor modelontwikkeling
- Bevestiging/precisering van de optimale beregeningsstrategie voor bloemkool en spruitkool. Deze beregeningsstrategie is uitgewerkt.
- Effecten van de beregeningsstrategie op de stikstofhuishouding: Deze werden niet of nauwelijks gevonden binnen het – beperkte – bereik van de aangelegde bodemvochtspanningen.

### Werkpakket II

#### Doelstelling

Monitoring van de parameters van bodem, gewas en klimaat op 20 percelen jaarlijks teneinde de bodemwaterbalans te begroten in functie van de modelontwikkeling.

#### Leverbaarheden

- Opname van de voorziene parameters, bodemprofielbeschrijvingen en meetreeksen van bodem, klimaat en gewasontwikkeling zijn beschikbaar voor 20 percelen in 2004
- Opname van de voorziene parameters, bodemprofielbeschrijvingen en meetreeksen van bodem, klimaat en gewasontwikkeling zijn beschikbaar voor 20 percelen in 2005

**Werkpakket III**Doelstelling

Gestructureerd verzamelen, evalueren en aanvullen van historische datasets, in functie van de modelontwikkeling.

Leverbaarheden

- De voorziene parameters, bodemprofielbeschrijvingen en meetreeksen van bodem, klimaat en gewasontwikkeling werden opgezocht en geëvalueerd. Na plaatsbezoeken werden voor niet-tijdsafhankelijke parameters bijkomende bemonsteringen en een groot aantal bijkomende metingen uitgevoerd in situ en in het laboratorium. Uiteindelijk werden 119 datareeksen ontwikkeld die vrijwel volledig zijn met betrekking tot de gewenste parametersets.

**Werkpakket VI**Doelstelling

De ontwikkeling van een berekeningsmodule bruikbaar onder praktijkomstandigheden, op perceelsniveau en geschikt voor onderbouwing van een programma voor irrigatiesturing met betrekking tot de capillaire nalevering.

Hierbij dient bepaald te worden welke de minimaal vereiste parameters zijn, en op welke wijze deze dienen bepaald te worden.

Het globale model (waterbalansmodel en capillaire naleveringsmodule) dient getest en gevalideerd te worden.

De kosten verbonden aan de bepalingmethoden moeten afgewogen worden ten opzichte van de precisie en de financiële waarde van de modeloutput.

Leverbaarheden

- Geïntegreerde modellen Upflow-Budget en Upflo-beregeningssturing BDB met bepaalde modelnauwkeurigheid: Het geïntegreerde model Upflow-Budget werd gevalideerd op een 10-talpercelen met wisselend succes: Het functionele model dat aan de basis lag van de berekeningsmodules steunde echter nog op een grove benadering van de waterretentiecurve. Een meer verfijnde benadering van de WRC en koppeling aan de beregeningssturing maakten voorwerp uit van een uitgebreide validatie op 104 percelen. Deze benadering laat toe om, ten opzichte van de meetwaarden, de vereiste afwijking van maximaal 5 mm TAW (totale beschikbare waterreserve) op 50 % van de percelen te halen over een simulatieperiode van 32 tot 100 dagen afhankelijk van het bodemtype (het type van WRC).
- De kosten verbonden aan de verwerving van de meetwaarden nodig om voldoende operationele precisie te bereiken: De meerkosten die nodig zijn in functie van de gekozen benadering en nauwkeurigheid werden geformuleerd.
- Wetenschappelijk publicatie: In samenwerking met Prof. Raes (KULeuven) zal de methodologie die ontwikkeld is in het huidige onderzoek opgenomen worden in een nota die voorgesteld wordt binnen de ontwikkeling van AQUACROP (FAO) (Augustus 2005). Daarnaast wordt een artikel voorbereid voor internationale publicatie.

-----



## Literatuur

Ahuja, L.R., J.W. Naney, R.E. Green and D.R. Nielsen (1984). Macroporosity to characterize spatial variability of hydraulic conductivity and effects of land management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:699-702.

Ahuja, L.R., J.W. Naney and R.D. Williams (1985). Estimating Soil Water Characteristics from Simpler Properties or Limited Data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1100-1105.

Ahuja, L.R., D.K. Cassel, R.R. Bruce and B.B. Barnes (1989). Evaluation of spatial distribution of hydraulic conductivity using effective porosity data. *Soil Science* 148(6): 404-411.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1999). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper n°56, FAO, Rome.

Bailey, R.J. and Spackman, E. (1996). Irriguide: an irrigation scheduling system to take account of variable rainfall, soil texture and cropping pattern. In: *Irrigation Scheduling, From Theory to Practice*, Proceedings ICID, FAO Workshop, Sept. 1995, Rome. Water Report n°8, FAO, Rome.

Bannink M.H., Wösten J.H.M. (1988). Vochttransport tussen wortelzone en grondwaterspiegel. Schematisering van ondergrond-informatie voor simulatieberekeningen. *Landinrichting* 1988/28 1: 23-28.

Bloemen G.W. (1980a). Calculation of steady state capillary rise from the groundwater table in multi-layered soil profiles. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 143: 701-719.

Bloemen G. W. (1980b). Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content. *Z.Pflanzenernär. Bodenk.* 43: 581-605.

Bloemen G.W. (1983) Calculation of hydraulic conductivities and steady state capillary rise in peat soils from bulk density and solid matter volume. *Technical bulletins ICW. Wageningen.* 460-473.

Bouthier, A., Gaillardn, B., Deumier, J.M., Bonnifet, J.P. (2001). Irrinov Pois-Céréales, premier baptême du feu Perspectives agricoles 277, 2002, 66-73.

Brandyk T., Wesseling J.G. (1985). Steady state capillary rise in some soil profiles. *Technical bulletins ICW. Wageningen.* 54-65.

Brooks, R.H. and A.T. Corey (1964). Hydraulic properties of poreus media. *Hydrology paper N°3. Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado.* 27p.

Burdine, N.T. (1953). Relative permeability calculations from pore-size distribution data. *Petrol. Trans., Am. Inst. Min. Eng.* 198:71-77.

Cornelis, W.M., J. Ronsyn, M. Van Meirvenne and R. Hartmann (2001). Evaluation of pedotransfer functions for predicting the Soil Moisture Retention Curve. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:638-648.

- Darcy, H. (1856). Les fontaines publiques de la Ville de Dijon. In : Model for unsaturated flow above a shallow water-table, applied to a regional sub-surface flow problem. P.J.M. De Laat (ed.). PUDOC, Doctoraal proefschrift, Wageningen, Nederland. 126p.
- Deckers J. (1996). Bodemgeografie. Instituut van Land en Waterbeheer, K.U.Leuven
- De Laat, P.J.M. (1980). Model for unsaturated flow above a shallow water-table, applied to a regional sub-surface flow problem. PUDOC, Doctoraal proefschrift, Wageningen, Nederland. 126p.
- De Laat, P.J.M. (1995). Design and operation of a subsurface irrigation scheme with MUST. In: Crop-Water-Simulation Models in Practice. L.S. Pereira, B.J. van den Broeck, P. Kabat and R.G. Allen (eds.), 2nd Workshop on Crop-Water-Models, 15th Congress of ICID, 1993, The Hague:123-140.
- De Leeuw, M. (2003). Het begroten van de capillaire opstijding bij percelen met ondiepe grondwatertafel. Eindwerk Bioingenieur in de Milieutechnologie. LTBW, Katholieke Universiteit Leuven.112 p.
- Deproost, P., Elsen, F., Ceustermans, N. en Callens, D. (2001). Irrigatie in de intensieve groenteteelt (prei en bloemkool) in het kader van de ecologische en economische prerogatieven. BDB, BVA, POVLT. MML Bestuur voor Onderzoek en Ontwikkeling. Jaarverslag van het eerste jaar van de eerste biënnale (2000-2002).
- Deproost, P., Elsen, F., Ceustermans, N. en Callens, D. (2002). Irrigatie in de intensieve groenteteelt (prei en bloemkool) in het kader van de ecologische en economische prerogatieven. BDB, BVA, POVLT. MML Bestuur voor Onderzoek en Ontwikkeling. Jaarverslag van het tweede jaar van de eerste biënnale (2000-2002).
- Deproost, P., Elsen, F., Ceustermans, N. en Callens, D. (2003). Irrigatie in de intensieve groenteteelt (prei en bloemkool) in het kader van de ecologische en economische prerogatieven. BDB, BVA, POVLT. IWT Vlaanderen. Jaarverslag van het eerste jaar van de tweede biënnale (2002-2004).
- Dirksen, C. (1999). Soil Physics Measurements. GeoEcology Paperback, Catena Verlag, Reiskirchen, Germany. 154 p.
- Doorenbos J., Pruitt W.O. (1977). Crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper. Rome 144 p.
- Efron, B. and R.J. Tibshirani (1993). An introduction to the Bootstrap. Monographs on statistics and applied probability. In: Neural netwerk analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. M.G. Schaap, F.J. Leij and M.Th. van Genuchten (eds.). Soil Sci. Soc. Am. J. 62:847-855.
- Elsen, F., Mertens, J, Witvrouw, G. (2001). Overeenkomsten tussen de grondsoortindeling in Nederland en in België en toetsing van vochtretentiekarakteristieken op basis van pedotransferfuncties aan meetwaarden voor beregende gronden. Onderzoekresultaten medegedeeld aan de projectleiding 'Interreg Watermanagement in Benelux-Middengebied', Prov. Noord-Brabant, NI, 1998-2001. 10p.
- FAO (1990). Guidelines for soil description. Rome, Italy. 69p.
- Gardner, W. (1958). Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a watertable. Soil Sci. 85:228-232.

- Gilham, R.W., A. Klute and D.F. Herrmann (1976). Hydraulic properties of a porous medium. Measurements and empirical representations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:203-207.
- Giesel, W., Renger, M. und Strebel, O. (1971). Berechnung des kapillaren Aufstiegs aus dem Grundwasser in den Wurzelraum unter stationären Bedingungen. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.* 132(1): 17-30.
- Gowing, J.W. and Ejieji, C.J. (2001). Real-time scheduling of supplemental irrigation for potatoes using a decision model and short-term weather forecasts. *Agricultural Water Management* 47: 137-153.
- Hack-ten Broeke, M.J.D. and J.H.B.M. Hegmans (1996). Use of soil physical characteristics from laboratory measurements or standard series for modelling unsaturated water flow. *Agric. Water Manage.* 29:201-213.
- Jackson, R.D. (1972). On the calculation of hydraulic conductivity. In: UPFLOW- water movement in a soil profile from a shallow watertable to the topsoil (capillary rise). Reference Manual. D. Raes (ed.). Department of Land Management, K.U.Leuven, Belgium. 18 p.
- Jones, M.J. and K.K. Watson (1987). Effect of soil water hysteresis on solute movement during intermittent leaching. In: WAVE, a mathematical model for simulating water and agrochemicals in soil and vadose environment. Reference & user's manual (release 2.0). M. Vanclooster, P. Viane, J. Diels and K. Christiaens (eds.). Institute for land and water management, K.U. Leuven, Belgium.
- Kunze, R.J., G. Uchara and K. Graham (1986). Factors important in the calculation of hydraulic conductivity. In: UPFLOW- water movement in a soil profile from a shallow watertable to the topsoil (capillary rise). Reference Manual. D. Raes (ed.). Department Land Management, K.U.Leuven, Belgium. 18 p.
- Kunze R.J., Vehara G., Graham K. (1968). Factors important in the calculation of hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32,6: 760-765 In Brandyk T., Wesseling J.G. (1985) Steady state capillary rise in some soil profiles. Technical bulletins ICW. Wageningen. p54-65.
- Luckner, L., M.Th. van Genuchten, D.R. Nielsen (1989). A consistent set of parametric models for the two-phase flow of immiscible fluids in the subsurface. *Water Resour. Res.* 25:2187-2193.
- Maraux, F. and Lafolie, F. (1998). Modeling soil water balance of a maize-sorghum sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 75-82.
- McBratney, A.B., B. Minasny, S.R. Catlle and R.W. Vervoort (2002). From pedotransfer-functions to soil inference systems. *Geoderma* 109:41-73.
- Mertens, J. (1998). Analyse van de functionele gedragseigenschappen van fysische bodemparameters aan de hand van veldmetingen, proefresultaten en modellering. Eindverhandeling bij het behalen van de graad van bio-Ingenieur. Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, 1998, K.U.Leuven.
- Meyer P.D., Rockhold M.L., Gee G.W. (1997). Uncertainty analysis of Infiltration and Subsurface Flow and Transport for SDMP Sites. Pacific Northwest National Laboratory. USA. 38 p.
- Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Res. Res.* 12(3):512-522.

- Muñoz Carpena, R., Vanclooster, M., Villacé-Reyes, E. (2001). Evaluation of the WAVE model. In Parsons, J.E., Thomas, D.L. Huffman R.L. (Eds, Agricultural Non-Point Source Water Quality Models: Their Use and application, So.Coop.Series Bull.No.398.
- Raes D., Geerts S., Kipkorir E., Wellens J., Sahli A. (2006). Simulation of yield decline as a result of water stress with a robust soil water balance model. *Agric. Water Manage.* 81: 335-357.
- Raes, D. (2002). UPFLOW- water movement in a soil profile from a shallow watertable to the topsoil (capillary rise). Reference Manual. Department of Land Management, K.U. Leuven, Belgium. 18 p.
- Raes, D., Deproost, P. (2003). Model to asses water movement from a shallow water table to the root zone. *Agricultural water management* 62 (2003) 79-91, Elsevier.
- Raes, D. (1996). BUDGET – a soilwater and salt balance model. Reference manual. K.U.Leuven, Department Land Management, Leuven, Belgium.
- Raes D., Deckers J. (1993). Les sols du Delta du fleuve Sénégal. *Bulletin Technique n°8*. Juillet 1993. SAED-centre de NDiaye BP. 74, Saint-Louis, Sénégal.84 p.
- Richards L.A. (1931). Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics* 1: 318-333. In De Laat P.J.M. (1980). Model for unsaturated flow above a shallow water-table applied to a regional sub surface flow problem. PUDOC, doctoraal proefschrift, Wageningen. 126 p.
- Rijtema P.E. (1969). Soil moisture forecasting. *Nota ICW*. Wageningen. 28 p.
- Russo, D., W.A. Jury and G.L. Butters (1989). Numerical analysis of solute transport during transient irrigation. 1. The effect of hysteresis and profile heterogeneity. In: WAVE, a mathematical model for simulating water and agrochemicals in soil and vadose environment. Reference & user's manual (release 2.0). M. Vanclooster, P. Viane, J. Diels en K. Christiaens (eds.). Institute for land and water management, K.U. Leuven, Belgium.
- Schaap, M.G., F.J. Leij and M.Th. van Genuchten (1998). Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:847-855.
- Schaap, M.G., F.J. Leij and M.Th. van Genuchten (2001). Rosetta - A program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology* 251:163-176.
- Smith, M. (1996). Summary report, conclusions and recommendations. In: Irrigation Scheduling, From Theory to Practice, Proceedings ICID, FAO Workshop, Sept. 1995, Rome. Water Report n°8, FAO, Rome.
- Specty, R. and Isbérie, C. (1996). How farmers use information obtained from irrigation advisory services in France. In: Irrigation Scheduling, From Theory to Practice, Proceedings ICID, FAO Workshop, Sept. 1995, Rome. Water Report n°8, FAO, Rome.
- USDA (1991). Soil-Plant-Water Relationships. Chapter 1 of Section 15 (Irrigation) of the National Engineering handbook. USDA, Soil Conservation Service. 56 p.

- Van der Molen W.H. (1972). Stroming in de onverzadigde zone. Lecture notes. Agricultural University. Wageningen 126 p. In: De Laat P.J.M. (1980). Model for unsaturated flow above a shallow water-table applied to a regional sub surface flow problem. PUDOC, doctoraal proefschrift, Wageningen. 126 p.
- Van Genuchten, M.Th. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:892-898.
- Van Genuchten, M.Th. and D.R. Nielsen (1985). On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. In: *The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils*. M.Th. van Genuchten, F.J. Leij and S.R. Yates (eds.). US Salinity Laboratory, Riverside, California, USA. 85p.
- Van Genuchten, M.Th., F.J. Leij and L.J. Lund (1991). Proc. Int. Workshop, Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. In: *The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils*. M.Th. van Genuchten, F.J. Leij and S.R. Yates (eds.). US Salinity Laboratory, Riverside, California, USA. 85p.
- WILLIAMS, R.D. and L.R. Ahuja (1993). Using available water content with the one-parameter model to estimate soil water retention. *Soil Sci.* 165(6):380-388.
- Vereecken, H. (1988). Pedotransfer functions for the generation of hydraulic properties for belgian soils. Doctoraatsproefschrift nr. 171. K.U.Leuven, 1988. 254p.
- Wesseling, J.G., (1981). Een computerprogramma voor het bepalen van de optimale ligging van drie lijnstukken door een serie getallenparen. *Nota ICW 1313*. 34 p In: Brandyk T., Wesseling J.G. (1985) Steady state capillary rise in some soil profiles. *Technical bulletins ICW*. Wageningen. 54-65
- Williams, R.D. and Ahuja, L.R. (1993). Using available water content with the one parameter model to estimate soil water retention. *Soil Sci.* 165(6):380-388.
- Wind G.P. (1961). Capillary rise and some applications of the theory of moisture movement in unsaturated soils. *Technical bulletin 22 ICW*. Wageningen. 15 p.
- Wösten, J.H.M., Veerman G.J., Stolte, J. (1994). Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. DLO-Staring Cantrum, Wageningen. Technisch document 18. 24p.
- Wösten, J.-H.M., Y.A. Pachepsky and W.J. Rawls (2001a). Pedotransferfunctions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology* 251:123-150.
- Wösten, J.H.M., Veerman, G.J., De Groot, W.J.M. & Stolte, J. (2001b). Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. *Alterra-rapport No. 153*, Vernieuwde uitgave. Wageningen, The Netherlands, Alterra Research Instituut voor de Groene Ruimte.
- Zavattaro, L. and Grignani, C. (2001). Deriving hydrological parameters for modeling water flow under field conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 655-667.