



# Sturing kwaliteit en houdbaarheid potplant door toevoeging van klei aan substraten

G. Wever (PPO), R. Postma (NMI), E.J.W. Wattel-Koekkoek (NMI), C. de Kreij  
(PPO), A. Bulle (PPO), A.M.M. van der Burg (PPO) en J.B.G.M. Verhagen (RHP)

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.  
Sector Glastuinbouw  
November 2004

PPO

© 2004 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.



Dit onderzoek is gefinancierd door Productschap Tuinbouw

Projectnummer: 41616045

**Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.**

Sector Glastuinbouw

Adres : Kruisbroekweg 5. Naaldwijk  
: Postbus 8. 2670 AA Naaldwijk  
Tel. : 0174 – 636 700  
Fax : 0174 – 636 835  
E-mail : [info.ppo@wur.nl](mailto:info.ppo@wur.nl)  
Internet : [www.ppo.dlo.nl](http://www.ppo.dlo.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
SAMENVATTING.....	6
1 INLEIDING .....	7
2 FYSISCHE ANALYSES.....	8
2.1 Materialen en Methoden .....	8
2.1.1 Beschrijving van de substraten.....	8
2.1.2 Karakterisering van substraten.....	8
2.2 Resultaten en discussie .....	10
2.2.1 pF-curve en hysteresis, vochtgehalte, bulkdichtheid en krimp .....	10
2.2.2 Opzuigingsnelheid .....	10
2.2.3 Cohesie .....	13
2.2.4 Zeefanalyse.....	14
2.3 Conclusies en aanbevelingen .....	14
3 CHEMISCHE ANALYSES .....	15
3.1 Materialen en Methoden .....	15
3.1.1 Beschrijving van de substraten.....	15
3.1.2 Karakterisering van substraten.....	15
3.1.3 Effect van kleitoevoeging op buffering en nalevering (uitspoelingsproef) .....	16
3.1.4 Modelmatige beschrijving van het effect van klei op chemische eigenschappen .....	18
3.2 Resultaten en discussie .....	19
3.2.1 Bulkdichtheid, vochtgehalte, pH en kalkgehalte .....	19
3.2.2 Korrelgrootteverdeling .....	20
3.2.3 Kleimineralogie .....	20
3.2.4 Kationuitwisselcapaciteit en kationenbezetting .....	21
3.2.5 Samenstelling bodemvocht.....	24
3.2.6 Uitspoelingsproef.....	26
3.2.7 Modelmatige beschrijving .....	28
3.3 Conclusies en aanbevelingen .....	32
4 PILOTPROEF BEGONIA .....	34
4.1 Materialen en Methoden .....	34
4.1.1 Fysisch .....	34
4.1.2 Chemisch.....	35
4.1.3 Teelt.....	35
4.1.4 Houdbaarheid .....	35
4.2 Resultaten en discussie .....	36
4.2.1 Fysisch .....	36
4.2.2 Chemisch.....	38
4.2.3 Uitbloeioproeven.....	39
4.3 Conclusies en aanbevelingen .....	43
4.3.1 Fysisch .....	43
4.3.2 Chemisch.....	43
4.3.3 Aanbevelingen .....	43
5 EINDCONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....	45
5.1 Conclusies detailonderzoek en pilotproef.....	45
5.2 Aanbevelingen .....	47
5.2.1 Groei-beheersing door droger telen – effect kleisoort en hoeveelheid .....	47
5.2.2 Groei-beheersing door het effect op nutriëntengehalten in het bodemvocht .....	47

5.2.3	Houdbaarheid potplanten door aanleggen vochtstress .....	47
5.2.4	Houdbaarheid potplanten door de bezetting van het adsorptiecomplex van klei.....	48
	LITERATUUR.....	49
	BIJLAGE 1 VOCHTKARAKTERISTIEK EN OPZUIGKARAKTERISTIEK .....	51
	BIJLAGE 2 COHESIE.....	53
	BIJLAGE 3 ZEEFANALYSE.....	54
	BIJLAGE 4 BULKDICHTHEID, VOCHTGEHALTE, PH EN KALKGEHALTE .....	55
	BIJLAGE 5. KORRELGROOTTEVERDELING EN KLEIMINERALOGIE.....	58
	BIJLAGE 6 CEC EN KATIONENBEZETTING .....	59
	BIJLAGE 7 SAMENSTELLING BODEMVOCHT .....	61
	BIJLAGE 8 RELATIE KLEIGEHALTE EN NUTRIËNTENGEHALTE .....	62
	BIJLAGE 9 RESULTATEN UITSPOELINGSPROEF .....	62
	BIJLAGE 10 UITSPOELINGSPROEF; BALANSEN VOOR NH <sub>4</sub> , K EN P .....	66
	BIJLAGE 11 IONCONCENTRATIES IN BODEMVOCHT .....	67
	BIJLAGE 12. MULTIPLE LINEAIRE REGRESSIE .....	68
	BIJLAGE 13. P-CONCENTRATIE EN P-FIXEREND VERMOGEN .....	70
	BIJLAGE 14 MULTIPLE LINEAIRE REGRESSIE UITSPOELINGSPROEF .....	71
	BIJLAGE 15 FYSISCHE EIGENSCHAPPEN POTTEN.....	72
	BIJLAGE 16 CHEMISCHE ANALYSES VOLGENS 1:1.5 TEELT BEGONIA .....	73
	BIJLAGE 17 CEC EN BEZETTING COMPLEX TEELT BEGONIA .....	74
	BIJLAGE 18 RESULTATEN UITBLOEIPIEVEN.....	75



# Samenvatting

In de potplantenteelt ligt de nadruk op de teeltfase, waarbij aandacht voor de houdbaarheid en kwaliteit tijdens de “transport- en vensterbankfase” relatief is achtergebleven. Er zijn echter sterke aanwijzingen dat de teeltwijze en kleitoevoeging aan het substraat, grote invloed hebben op de kwaliteit bij de consument. Daarnaast zou door kleitoevoeging aan het substraat en de teeltwijze de input aan chemicaliën (met name remstoffen) teruggedrongen kunnen worden. In dit onderzoek zijn effecten van toevoeging van verschillende kleiprodukten op de chemische en fysische eigenschappen van substraat in relatie tot groei-beheersing, kwaliteit en houdbaarheid van potplanten onderzocht en beschreven.

Op basis van het literatuuronderzoek zijn kleiprodukten geselecteerd voor verder onderzoek. De kleiprodukten varieerden vooral in kationen uitwisselingscapaciteit (CEC) en grofheid. De kleiprodukten zijn toegepast in potgrondmengsels gebaseerd op veen. De kleiprodukten en de mengsels zijn uitgebreid fysisch en chemisch onderzocht. Tevens is een pilot proef met Begonia uitgevoerd om de effecten van het toevoegen van klei op groei, kwaliteit en houdbaarheid van potplanten te onderzoeken.

Uit de proeven kwam het volgende naar voren.

- Kleitoevoeging aan potgrond is van invloed op fysische eigenschappen van de potgrond. Zo neemt door kleitoevoeging de vochtbinding en de opzuigselnelheid toe, neemt de omvang van de vochtbuffer af en is het effect op de stevigheid van het geperste potje wisselend. Een kenmerk van de kleien is dat de mate van beïnvloeding van de fysische eigenschappen bepaald wordt door de korrelgrootteverdeling.
- Kleitoevoeging aan potgrond is eveneens van invloed op chemische eigenschappen, zoals de CEC, de concentratie aan kationen in het bodemvocht, het fosfaatfixerend vermogen en de fosfaatconcentratie in het bodemvocht. Kleitoevoeging leidde in de proeven steeds tot een verhoging van de CEC, terwijl de K- en  $\text{NH}_4$ -concentraties in het bodemvocht werden verlaagd en de Ca- en Mg-concentraties in het bodemvocht werden verhoogd. De omvang van de beschreven effecten was vooral afhankelijk van de CEC en de kationenbezetting van de kleien. Verder nam het fosfaatfixerend vermogen van de substraten toe door toevoeging van klei, wat leidde tot lagere fosfaatconcentraties in het bodemvocht. De gehalten aan Fe- en Al(hydr)oxiden in de klei waren bepalend voor de mate waarin dat gebeurde.
- Kleitoevoeging leidde in de pilotproef met Begonia tot een achterblijvende groei. De toevoeging van klei aan het substraat kan dus worden toegepast voor het sturen van de groei. De optredende groeiremming kan worden begrepen uit fysische (sterkere vochtbinding) en chemische eigenschappen (lagere concentraties aan voedingsstoffen in het bodemvocht). Het is nog onvoldoende duidelijk welk effect in deze situatie de doorslag heeft gegeven en hoe dat voor andere situaties zal zijn.
- Kleitoevoeging leidde in de pilotproef met Begonia bij droog telen en bij een hoge K/Ca-verhouding en een hoge CEC van de klei tot een betere sierwaarde tijdens de houdbaarheidsfase. Dit kan worden begrepen uit “het fysische effect” en uit een hogere nalevering van K als een substraat met een hoge CEC is gecombineerd met een hoge K/Ca-verhouding tijdens de teelt. Ook hier is onduidelijk welk effect verantwoordelijk is geweest voor het uiteindelijke resultaat van de verbeterde sierwaarde.
- Kleitoevoeging aan potgrond leidde er op het eind van de houdbaarheidsfase toe dat het gewas eerder slap ging. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de kleinere vochtbuffer in substraten met klei.
- De betere wateropname na indrogen van substraten met klei kunnen voordelen opleveren in een eb-vloed systeem en bij kleine substraatvolumes zoals pluggen.

Tenslotte zijn de volgende kenmerken van de kleien van belang voor een karakterisering ervan:

- De korrelgrootteverdeling in de vorm van een zeefanalyse (van belang voor fysische eigenschappen (opzuigkarakteristiek en water- luchthoudding)
- De CEC en kationenbezetting (van belang voor kationengehalten in het bodemvocht, de potentiële nalevering van kationen)
- Het fosfaatfixerend vermogen en de fosfaatverzadigingsgraad.

Uit het vooronderzoek en de discussie daarom heen komen de volgende interessante mogelijkheden naar voren voor het eventuele vervolgonderzoek:

- Groei-beheersing door droger telen – effect kleisoort en hoeveelheid
- Groei-beheersing door het effect op nutriëntengehalten in het bodemvocht
- Houdbaarheid potplanten door aanleggen vochtstress
- Houdbaarheid potplanten door de bezetting van het adsorptiecomplex van klei.

# 1 Inleiding

In de potplantenteelt ligt de nadruk op de teeltfase, waarbij aandacht voor de houdbaarheid en kwaliteit tijdens de “transport- en vensterbankfase” relatief is achtergebleven. Er zijn echter sterke aanwijzingen dat de teeltwijze en het gebruikte substraat grote invloed hebben op de kwaliteit bij de consument. Een ander knelpunt is de hoge input van chemicaliën (vooral remstoffen) tijdens de teelt. Mogelijk kan dit worden teruggedrongen door een juiste substraatsamenstelling.

Aan toevoeging van klei in substraat worden voordelen toegeschreven, zowel in de teeltfase (groeibeheersing door afgestemd aanbod van water en nutriënten), als in de fasen daarna (buffering van water en nutriënten). Het Productschap Tuinbouw heeft daarom onderzoek gefinancierd met als doel het voorspellen van chemische en fysische effecten van verschillende kleiprodukten op de eigenschappen van substraat in relatie tot groeibeheersing, kwaliteit en houdbaarheid van potplanten. Er zal uiteindelijk een adviesstelsel voor kleitoevoegingen (soort, type, hoeveelheid) aan substraat voor verschillende gewassen komen. Hierbij zullen zowel groeibeheersing tijdens de teeltfase als houdbaarheid en kwaliteit in de fasen daarna als criterium dienen. Het onderzoek is uitgevoerd door het Nutriënt Management Instituut (NMI), Stichting RHP en PPO-Glastuinbouw.

Het onderzoek is verdeeld in 3 fasen. In de eerste reeds afgeronde inventariserende fase is de bestaande kennis geïnventariseerd (Bulle et al. , 2002). In dit rapport wordt de het “Factor-/detailonderzoek” behandeld. In deze fase gaat het vooral om laboratoriumonderzoek waarbij verschillende kleisoorten in verschillende korrelgrootte samenstelling zijn gebruikt. Met deze typen zijn mengreeksen met veen gemaakt en fysisch en chemisch onderzocht. De resultaten moesten leiden tot een modelmatige beschrijving en kwantificering van het effect van klei waarbij het type en de hoeveelheid klei, alsmede de overige bestanddelen van het substraat als basisvariabelen dienen. Het gaat hierbij om een beschrijving van:

- lucht-/vochthuishouding van substraat,
- het bufferend vermogen (CEC/AEC) van het substraat in relatie tot de aanvoer van nutriënten.

Deze fase is afgesloten met een beperkte pilotproef met Begonia als eerste test van de modellen. Ook is een eerste aanzet gegeven voor het opstellen van kwaliteitseisen voor kleiprodukten (RHP) met betrekking tot groeibeheersing, kwaliteit en houdbaarheid van potplanten. Ten slotte zijn in dit rapport aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek. Dit vervolg is al beschreven in het projectvoorstel als laatste fase van het onderzoek, waarbij is voorgesteld teeltproeven te doen ter validatie van de modellen.

## 2 Fysische analyses

Een doelstelling van het factor- en detailonderzoek was het kwantificeren van het effect van kleitoevoeging aan potgrond op de fysische eigenschappen van de potgrond.

Hierna wordt achtereenvolgens beschreven welke substraten in het onderzoek waren opgenomen en hoe de karakterisering van de verschillende substraten (kleien, venen en mengsels van klei en veen) is uitgevoerd.

### 2.1 Materialen en Methoden

#### 2.1.1 Beschrijving van de substraten

Het onderzoek werd uitgevoerd met 7 uiteenlopende fabriekskleien, die worden aangeduid met de codes K1 t/m K7. De volgorde van de kleisoorten K1 tot en met K5 is bepaald door de beoogde CEC. K5, K6 en K7 zijn identieke kleisoorten maar verschillen in grofheid. K5 is gegranuleerd. Er werden twee veelgebruikte soorten veen met uiteenlopende eigenschappen onderzocht, te weten tuinturf (code V1) en veenmosveen (code V2). Onderstaande schematisch de gebruikte producten.

K1	beoogde lage CEC	
K2		
K3		
K4		
K5	beoogde hoge CEC	
K5	Kleisoort identiek,	Grof
K6	Kleisoort identiek,	↓
K7	Kleisoort identiek,	Fijn
V1	Tuinturf	
V2	Veenmosveen	

Er waren mengsels van klei en veen:

- mengsels van de kleien met veenmosveen en tuinturf met een dosering van 30 kg klei per m<sup>3</sup> aangeduid met de codes V2/K1/30 etc.
- mengsels van de kleien met veenmosveen en tuinturf met een dosering van 100 kg klei per m<sup>3</sup> aangeduid met de codes V2/K1/100 etc.

#### 2.1.2 Karakterisering van substraten

##### 2.1.2.1 pF-curve en hysteresis, vochtgehalte, bulkdichtheid en krimp

De water en luchthuishouding van het substraat is van groot belang voor de karakterisering van het materiaal. Het geeft een indruk van de zuurstof en water beschikbaarheid. Door hysteresis kan het zijn dat een substraat niet makkelijk her te verzadigen is. De bulkdichtheid geeft aan wat 1 m<sup>3</sup> droog product weegt. Krimp kan optreden als een substraat indroogt. Het substraat kan hierdoor loskomen van de tray of potrand.

De bepalingen zijn uitgevoerd volgens EN methode voor fysisch onderzoek (EN 13041). Watergehalten worden bepaald bij drukhoogten -10. -32. -50. -100 en -500 cm en terug naar -10 cm. Deze drukhoogten komen overeen met een pF van respectievelijk 1, 1.5, 1.7, 2 en 2.7. Bulkdichtheid en krimp worden ook volgens EN 13041 bepaald. De bepaling is in duplo uitgevoerd.

##### 2.1.2.2 Opzuigsnelheid

De opzuigkarakteristiek geeft een beeld van de capillaire werking na indrogen van een substraat.

De methode volgens Wever et al (1997) is gebruikt. Ringen worden gevuld als voor standaard fysisch onderzoek. Na de verzadigingsprocedure en het aanleggen van -100 cm is het materiaal gedroogd bij 40



°C. De ringen worden in waterlaag van 2 mm gezet. De opzuigcurve wordt bepaald vanaf 0 – 3360 minuten. De bepaling is in duplo uitgevoerd.

### **2.1.2.3 Cohesie**

Voor de productie van perspotten en pluggen kan het van belang zijn dat het substraat zijn vorm blijft behouden. Het moet daarvoor over 'plakkende' eigenschappen beschikken.

De cohesie (plak) is bepaald volgens de methode beschreven door Wever and Eymar (1999). Een standaard gemaakte cilinder materiaal wordt met een conus ingedrukt (fig. 1). De druk wordt gemeten bij constante indringingssnelheid en gestandaardiseerde drukhoogte (-100 cm). De bepaling is in duplo uitgevoerd.



*Fig. 1. Cohesiebepaling, een standaard geperst monster wordt met een conus ingedrukt.*

### **2.1.2.4 Zeefanalyse**

De fractieverdeling geeft een indruk van de grofheid van het materiaal.

De fractieverdeling is bepaald op basis van een Europese norm in ontwikkeling (CEN TC 223 WG 4 N26). De fracties >16, 8-16, 4-8, 2-4, 1-2, 0.5-1, 0.25-0.5, 0.125-0.25, 0.063-0.125 en 0-0.064 mm worden onderscheiden. De fractieverdeling bepaald met behulp van zeven geeft aan hoe het materiaal verdeeld is qua deeltjesgrootte. De analyse is anders dan de onder chemische eigenschappen opgenomen analyse 'textuurverdeling van de kleien' (3.1.2.4) omdat bij de zeefanalyse agglomeraten niet verkleind worden. De bepaling is in duplo uitgevoerd.

## 2.2 Resultaten en discussie

### 2.2.1 pF-curve en hysteresis, vochtgehalte, bulkdichtheid en krimp

De resultaten van fysisch onderzoek van de kleien, venen en mengsels staan in tabel 1 en gedeeltelijk in fig. 2 Het watergehalte bij –500 cm is het meest interessant. De plant zal veel moeite moeten doen om het daarbij nog aanwezige water op te kunnen nemen. Dit is hoger naarmate klei toegevoegd wordt. Een hogere dosering heeft ook een hoger watergehalte tot gevolg bij een drukhoogte van –500 cm. Dit effect van klei wordt veroorzaakt doordat klei door de dubbellaag relatief veel water kan vasthouden wat moeilijk onttrokken kan worden door wortels. Gezien de resultaten van K5-7 (K5 is gegranuleerd) heeft een fijne fractie een hoger watergehalte bij drukhoogte –500 cm tot gevolg dan een gegranuleerde vorm. In ieder geval lijkt het er op dat een fijne klei een groter effect heeft op de wateropnemendheid dan het toevoegen van een grovere klei. Kleisoorten 1, 4 en 5 zijn het grofste (fig. 5) en hebben een lager gehalte moeilijk opneembaar water dan de andere kleisoorten. Er is geen duidelijk verband ( $R^2 = 0.01$ ) tussen de 30 and 100 kg toevoeging. In eerder onderzoek door Verhagen (2004) is vastgesteld dat het gemakkelijk beschikbaar water afneemt en het moeilijk beschikbare water toeneemt naar mate er meer kleimateriaal gedoseerd wordt. Dit wordt bevestigd door dit onderzoek. De verschillen tussen de kleisoorten zijn qua effect op de waterbeschikbaarheid overigens klein. Ook is er geen verband tussen het watergehalte bij drukhoogte –500 cm en de fysische eigenschappen, het watergetal of de korrelgrootteverdeling (chemisch hoofdstuk).

De vocht karakteristieken zijn goed te beschrijven met het model zoals ontwikkeld door Genuchten et al. (1992) en gebruikt door Wever et al. (2004) voor substraten (bijlage 1).

De krimp wordt niet beïnvloed door de kleitoevoeging. Er is weinig verschil tussen de mengsels m.b.t. het verschil tussen het watergehalte bij –10 cm drukhoogte en na herverzadiging. Dit betekent dat het verschil in hysteresis tussen mengsels klein is. Het luchtgehalte wordt bij een lage kleitoevoeging nauwelijks beïnvloed. Bij de 100 kg toevoeging neemt het bij bepaalde kleisoorten iets af.

### 2.2.2 Opzuigsnelheid

Alle kleisoorten hebben een positief effect op de snelheid van wateropname na indrogen. Het effect van kleisoort 7 is het grootste. Dit is een zeer fijne kleisoort (fig. 5 en bijlage 1). De dosering heeft ook een effect. Naarmate meer klei toegevoegd wordt is de snelheid hoger. Het granuleren van klei is minder gunstig. Kleisoort 5 is de gegranuleerde vorm van kleisoort 6 en 7 en deze neemt duidelijk minder snel water op. De relatie tussen de fijnheid en snelheid van wateropname is ook in eerder onderzoek vastgesteld door Verhagen (2004). De sterke water bindende eigenschappen door de dubbellaag zal ook de opzuigsnelheid positief beïnvloeden. De opzuigkarakteristiek is goed modelmatig te beschrijven met een logistische curve (bijlage 1). De functieparameter 'M' is een interessante parameter om de verschillen tussen de kleisoorten te vergelijken. M is namelijk het tijdstip waarop de helft van het maximale watergehalte 'C' is bereikt. Het is mogelijk de snelheid van wateropname met een redelijke nauwkeurigheid te voorspellen op basis van de dosering en de mediaan van de zeeffracties. Met multi-pele regressie is vastgesteld dat andere parameters zoals CEC, klei, silt en/of zand fractie niet bijdragen tot een nauwkeurigere voorspelling.

Tabel 1. Resultaten van de vocht, organische stof (Org st.), bulkdichtheid (Bulkd.), poriënvolume (Por.) en lucht en watergehalten bij verschillende drukhoogten en herverzadiging (herv) van veensoorten (V), kleisoorten (K) en mengsels

Omschrijving	Vocht	Org. stof	Bulkd.	Krimp	Por.	Lucht	Water (%-v) bij drukhoogte (cm)					
	%-g	%-g	kg m <sup>-3</sup>	%-v	%-v	(%-v) bij -10 cm	-10	-32	-50	-100	-500	-herv
V1	73	93	154	44	90	7	83	63	55	48	37	nvt
V2	52	97	77	22	95	19	76	43	36	34	20	nvt
V3	37	100	61	9	96	57	39	29	26	24	17	nvt
K1	11	4	1524	10	41	-1	42	40	39	38	35	39
K2	3	6	1044	38	59	4	55	51	50	47	39	45
K3	17	4	1110	14	57	11	46	43	42	39	36	41
K4	20	5	1074	–	58	13	45	42	41	40	38	46
K5	7	3	1110	–	57	16	42	39	38	36	32	41
K6	6	2	1173	–	55	4	52	46	44	42	37	43
K7	4	2	1121	34	57	3	54	50	49	47	39	44
V2/K1/30	43	58	130	22	93	23	70	39	33	29	23	65
V2/K2/30	47	63	121	24	93	22	71	40	35	33	28	65
V2/K3/30	46	72	114	21	93	21	72	39	33	29	23	66
V2/K4/30	40	54	125	21	93	25	69	36	31	27	24	65
V2/K5/30	46	62	129	24	93	22	71	38	32	28	26	65
V2/K6/30	36	68	107	22	94	16	78	42	35	28	24	72
V2/K7/30	35	72	112	19	94	16	78	43	36	30	28	72
V2/K1/100	31	35	187	22	91	20	71	39	33	29	25	64
V2/K2/100	30	37	213	23	90	22	68	40	35	32	29	59
V2/K3/100	38	35	230	22	89	13	76	45	38	32	31	66
V2/K4/100	33	25	261	21	88	19	69	39	33	29	25	63
V2/K5/100	29	29	253	24	88	18	71	38	33	28	24	64
V2/K6/100	28	38	194	21	91	13	78	46	39	32	29	70
V2/K7/100	28	42	186	20	91	15	76	45	38	32	29	70
V1/K7/30	69	74	197	42	89	8	81	67	60	52	39	69
V1/K7/100	60	49	285	39	85	9	77	63	59	54	43	67

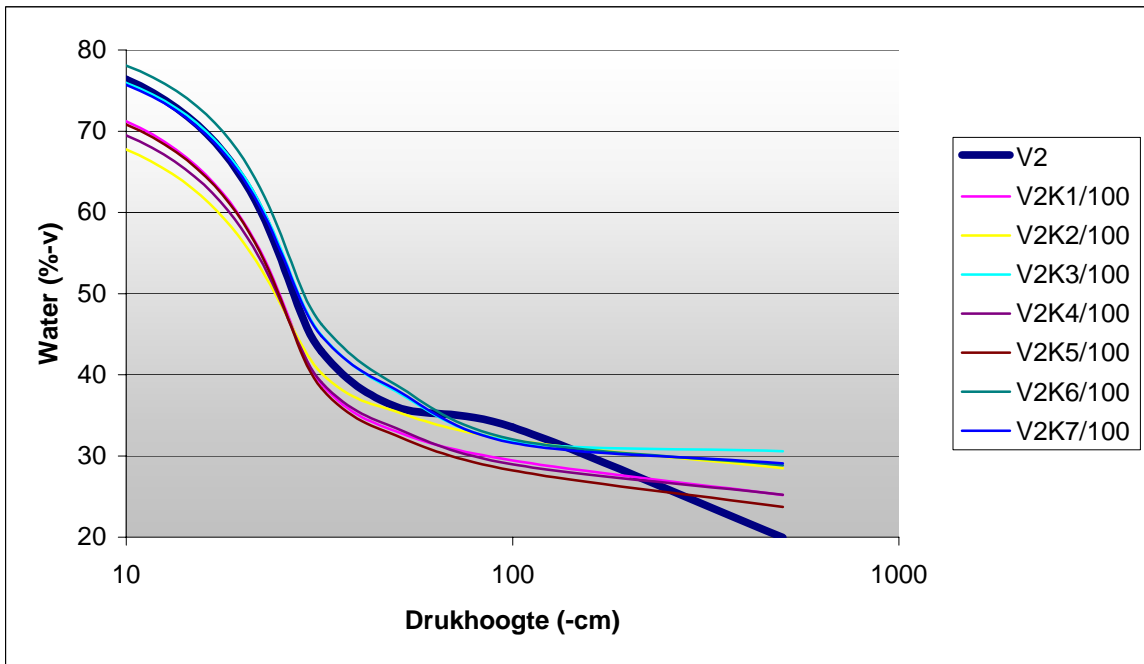


Fig. 2 Vocht karakteristiek van de verschillende kleisoorten (100 kg dosering) met veenmosveen.

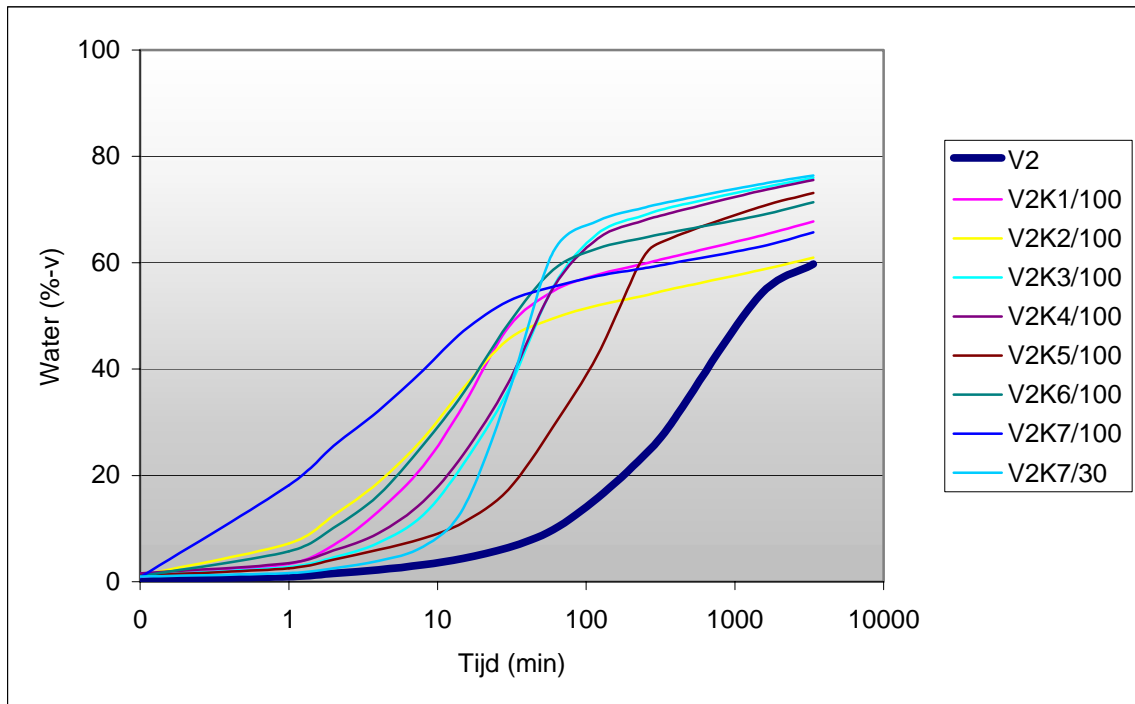


Fig. 3 Opzuig karakteristiek van de verschillende kleisoorten (100 kg dosering) met veenmosveen.

### 2.2.3 Cohesie

Niet alle kleitoevoegingen hadden een positief effect op de stevigheid van een geperst potje. Alleen kleisoort 6 en 7 hadden een positief effect (fig. 4 en bijlage 2). Een hogere dosering van klei was voor de stevigheid negatief. Het toevoegen van klei maakt de potjes niet harder. Klei werkt bij de geteste drukhoogten als een soort 'smeermiddel'. De potten werden daardoor meestal zachter. Wel kleefde de potgrond aan elkaar door te kleitoevoeging. De gebruikte meetmethode lijkt daarom minder geschikt om het plakeffect van klei te meten.

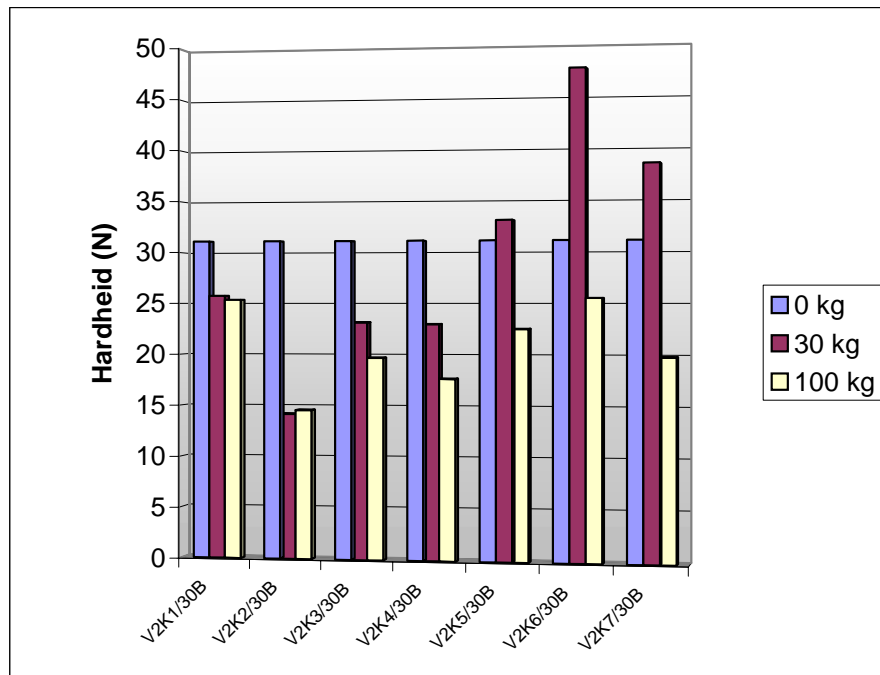


Fig. 4 De stevigheid van geperste cilinders met de verschillende kleisoorten (100 kg dosering) met veenmosveen.

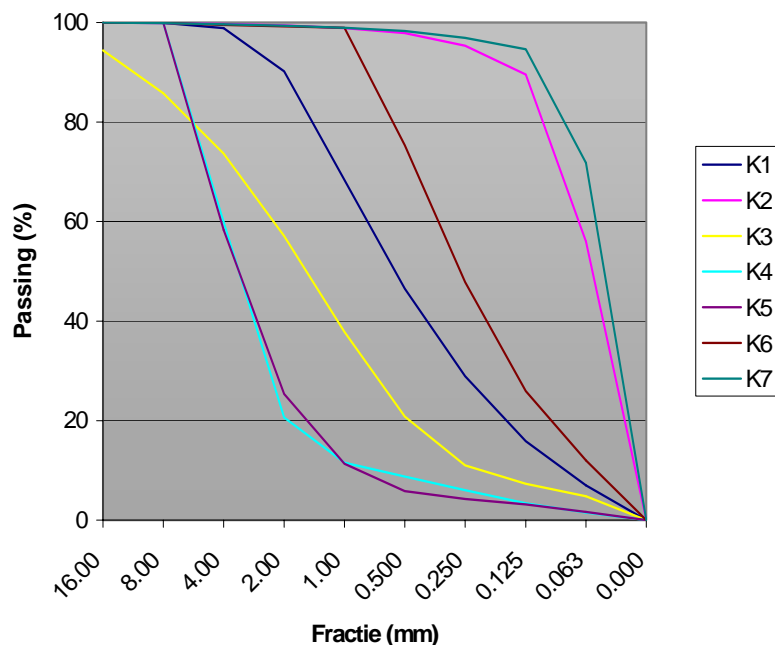


Fig. 5 De fractieverdeling (zeefanalyse) van de verschillende kleisoorten.

#### 2.2.4 Zeefanalyse

Er zitten grote verschillen tussen de kleisoorten wat betreft de fractieverdeling (fig. 5 en bijlage 3). De kleisoorten 3, 4 en 5 bevatten ten opzichte van de andere kleisoorten meer grove delen. Kleisoorten 2 en 7 zijn zeer fijn. De fractieverdeling heeft, zoals beschreven effect op de vocht- en opzuigkarakteristiek.

### 2.3 Conclusies en aanbevelingen

- Klei toevoeging heeft een duidelijk effect op de waterbeschikbaarheid voor de plant. De plant zal meer moeite hebben water op te nemen naarmate meer klei toegevoegd wordt, vooral als het watergehalte lager wordt. In ieder geval lijkt het er op dat een fijne klei een groter effect heeft op de wateropnemendheid dan het toevoegen van een grovere klei. Gegranuleerde klei heeft dan ook minder effect dan poederklei. Het gemakkelijk beschikbaar water neemt naar mate er meer kleimateriaal gedoseerd wordt. Een plant zal daardoor eerder slapgaan.
- Alle kleisoorten hebben een positief effect op de snelheid van wateropname na indrogen. Het effect van de fijne kleisoort 7 is het grootste. Naarmate meer klei toegevoegd wordt is de snelheid hoger. Het granuleren van klei is minder gunstig voor de wateropname in vergelijking met de fijnere kleivormen. De snelheid van wateropname is te beschrijven met een logistische curve. Op basis van de dosering en de mediaan van de fractieverdeling lijkt het mogelijk te voorspellen wat de snelheid van wateropname zal worden. Het model wordt niet beter door het toevoegen van andere parameters zoals CEC, klei, silt of zandfractie.
- Niet alle kleitoevoegingen hadden een positief effect op de stevigheid van een geperst potje. Alleen kleisoort 6 en 7 hadden een positief effect. Een hogere dosering van klei was voor de stevigheid negatief. De methode is echter misschien minder geschikt om de plakkende eigenschappen van klei te meten. Door klei werd het product misschien minder stevig maar er was wel een soort klevende werking.
- Er zitten grote verschillen tussen de kleisoorten wat betreft de fractieverdeling. De kleisoorten 3, 4 en 5 bevatten ten opzichte van de andere kleisoorten meer grove delen. Kleisoorten 2 en 7 zijn zeer fijn. Aangezien de fractieverdeling een relatie heeft met de water- luchthuishouding en de snelheid van wateropname is dit een belangrijke kenmerk voor klei.

## 3 Chemische analyses

De doelstelling van het factor- en detailonderzoek was het kwantificeren van het effect van kleitoevoeging aan potgrond op chemische eigenschappen van de potgrond en op de beschikbaarheid van nutriënten op korte en lange termijn.

In het hier beschreven onderzoek werden de volgende onderdelen onderscheiden:

- Karakterisering van vijf fabriekskleien, twee soorten veen en mengreeksen van klei en veen,
- Effect van de kationen uitwisselings capaciteit (CEC) op de nalevering van voedingsstoffen.
- Modelmatige beschrijving en kwantificering van het effect van CEC op de directe beschikbaarheid en nalevering van voedingsstoffen.

Hierna wordt achtereenvolgens beschreven i) welke substraten in het onderzoek waren opgenomen, ii) hoe de karakterisering van de verschillende substraten (kleien, venen en mengsels van klei en veen) is uitgevoerd, iii) hoe het effect van CEC op de buffering en nalevering van voedingsstoffen is bestudeerd en iv) op basis waarvan de modelmatige beschrijving is ontwikkeld.

### 3.1 Materialen en Methoden

#### 3.1.1 Beschrijving van de substraten

Het onderzoek werd uitgevoerd met 5 uiteenlopende (onbemeste) fabriekskleien, die worden aangeduid met de codes K1 t/m K5. Er werden twee veelgebruikte soorten (onbemest) veen met uiteenlopende eigenschappen onderzocht, te weten tuinturf (code V1) en veenmosveen (code V2). Er waren 15 mengsels van klei en veen:

- 5 onbemeste mengsels van de kleien met veenmosveen met een dosering van 100 kg klei per m<sup>3</sup> aangeduid met de codes V2/K1/100 t/m V2/K5/100 onbemest.
- 5 bemeste en bekalkte mengsels van de kleien met veenmosveen met een dosering van 30 kg klei per m<sup>3</sup> aangeduid met de codes V2/K1/30 t/m V2/K5/30 bemest.
- 5 bemeste en bekalkte mengsels van de kleien met veenmosveen met een dosering van 100 kg klei per m<sup>3</sup> V2/K1/100 t/m V2/K5/100 bemest.

Daarnaast is er nog een bemeste en bekalkte veenmosveen zonder kleitoevoeging (V2 bemest) opgenomen als referentie. Het veen dat is gebruikt voor de objecten met bemesting is bekalkt met 3 kg Dolokal PG (10% MgO; 40% CaO) per m<sup>3</sup> veen. De bemesting is uitgevoerd door de toevoeging van 0.5 kg PG-mix 12+14+24 + 2MgO per m<sup>3</sup> veen of aan het mengsel van klei en veen.

#### 3.1.2 Karakterisering van substraten

##### 3.1.2.1 Bulkdichtheid, vochtgehalte en pH

De bulkdichtheid en het vochtgehalte van het verse uitgangsmateriaal zijn respectievelijk in triplo en in duplo bepaald. De bulkdichtheid is bepaald volgens NEN 13040 (Anonymus, 1999a). Omdat sommige van de onderstaande bepalingen zijn uitgevoerd in monsters die bij 40 °C zijn gedroogd (bijvoorbeeld kalkgehalte en de samenstelling van het bodemvocht), en andere in monsters die bij 70 °C zijn gedroogd (namelijk de kation uitwisselcapaciteit), is het vochtgehalte zowel bepaald door het vochtverlies te berekenen door droging bij 40 als bij 70 °C. De pH is in duplo bepaald in een extract waarbij de volumeverhouding substraat:water gelijk was aan 1:5 volgens NEN 13037 (Anonymus, 1999b).

##### 3.1.2.2 Kalkgehalte

Het kalkgehalte is in duplo bepaald in bij 40 °C gedroogde monsters volgens de methode van Scheibler (Schlichting & Blume, 1966).

##### 3.1.2.3 Koolstofgehalte

Het koolstofgehalte is in duplo bepaald bij 40 °C gedroogde monsters volgens de Kurnies-methode.

#### **3.1.2.4 Textuurverdeling van de kleien**

De kleien zijn allereerst met behulp van ultrasone trillingen goed gedispergeerd. Vervolgens is met de pipetmethode de verdeling zand (deeltjes > 50 $\mu$ m), silt (deeltjes < 50 $\mu$ m en > 2 $\mu$ m), klei (deeltjes < 2 $\mu$ m) bepaald volgens NEN 5753 (Anonymous, 1994). De bepaling van de textuur is in enkelvoud uitgevoerd.

#### **3.1.2.5 Kleimineralogie**

De kleimineralogie is in enkelvoud bepaald aan de fractie < 2 $\mu$ m door middel van röntgendiffractie..

#### **3.1.2.6 Kationuitwisselcapaciteit en uitwisselbare basen**

Voorafgaand aan deze bepaling zijn de monsters bij 70 °C gedroogd. De kationuitwisselcapaciteit (CEC) en uitwisselbare basen zijn in duplo bepaald bij actuele pH en pH 5.5 volgens NEN 5738 (Anonymous, 1996). De onbemeste kleien zijn op pH gebracht door aan te zuren met HCl en de onbemeste venen zijn op pH gebracht door aan te logen met Ca(OH)<sub>2</sub>. De benodigde hoeveelheid zuur en loog voor het realiseren van een pH 5.5 zijn door het maken van titratiecurves afgeleid.

In de bemeste mengsels van veen en klei is ook bekalkt, resulterend in een pH van ca. 5.5. In deze mengsels boet de uitwisselbare basen-bepaling aan betrouwbaarheid in, omdat de aanwezige calciumcarbonaat oplost wat leidt tot een overschatting van de hoeveelheid Ca-ionen aan het complex. Er worden pogingen gedaan om hiervoor een correctie toe te passen door het bepalen van oplosbaar Ca (Van Erp, 2002), maar die methoden lijken niet afdoende om de problemen te voorkomen (persoonlijke mededeling Temminghoff, 2004). De kationenbezetting in de mengsels is toch bepaald (zonder correctie toe te passen), omdat pH 5.5 overeenkomt met de pH die in de praktijk in groeimmedia voorkomt.

#### **3.1.2.7 Elektrische geleidbaarheid en samenstelling bodemvocht**

De elektrische geleidbaarheid (EC) en de samenstelling van de bodemoplossing (NH<sub>4</sub>, K, Ca, Na, Mg, ortho-P, NO<sub>3</sub>, S, Cl en de pH) zijn in duplo bepaald in een 1:5 (v/v) extract volgens NEN 13038. waarbij de monsters voorafgaand aan de bepaling bij 40 °C zijn gedroogd (Anonymous, 1999c), en NEN 13652 (Anonymous, 2001), met het oog op een uniforme voorbehandeling van de monsters. De resultaten zijn uitgedrukt per liter substraat. De op deze wijze verkregen gehalten zijn 5x zo hoog dan de gehalten per liter bodemvocht.

### **3.1.3 Effect van kleitoevoeging op buffering en nalevering (uitspoelingsproef)**

De doelstelling van dit deel van het onderzoek is het verkrijgen van kwantitatieve informatie over het effect van CEC-niveau dat wordt verkregen door uiteenlopende kleitoevoegingen aan potgrond op de buffering en nalevering van kationen. Daartoe wordt de concentratie aan nutriënten in het bodemvocht in de tijd gevolgd in een uitspoelingsproef door toediening van leidingwater.

#### **3.1.3.1 Hypothese**

Er kunnen twee deelhypothesen worden onderscheiden, namelijk:

- dat een bemesting in potgrond met een hoge CEC op korte termijn leidt tot een lagere concentratie van kationen in de bodemoplossing dan in een potgrond met een lage CEC, en
- dat de daling van het nutriëntengehalte bij klei/veen mengsels met een hoge CEC op lange termijn minder hard gaat dan bij potgrond zonder klei of bij klei/veen mengsels met een lage CEC. In theorie zal dit er op den duur toe leiden dat de concentratie van kationen in de bodemoplossing in een grond met hoge CEC hoger is dan in een grond met een lage CEC.

#### **3.1.3.2 Proefopzet en uitvoering**

De behandelingen bestonden uit klei-veenmengsels die verschilden in CEC, namelijk een mengsel van V2 met K1 (100 kg klei per m<sup>3</sup>; V2/K1/100; lage CEC), een mengsel van V2 met K5 (100 kg klei per m<sup>3</sup>; V2/K5/100; hoge CEC) en puur veenmosveen (V2. lage CEC). Er is gewerkt met materiaal dat op gangbare wijze is bemest en bekalkt (zie 1.2.1). De 3 behandelingen worden in triplo uitgevoerd, zodat het aantal experimentele eenheden gelijk was aan 9.

De "percolatiepotten" met een volume van 500 ml werden ondersteboven in een stelling aangebracht, zodat overtollig vocht met een kraantje kon worden afgetapt (fig. 6).



De uitspoelingsproef werd uitgevoerd door het doorlopen van de volgende stappen:

1. De potten werden gevuld met 300 ml verse substraten. Voor het vullen van de potten werd een hoeveelheid voedingsoplossing toegediend aan de substraten tot een vochtgehalte van ca. 60% van de waterverzadiging is bereikt (tabel 2). Bij het mengsel V2/K1/100 trad daarbij veel ontmenging van klei en veen op. Vervolgens zijn de potten gevuld en is nog 50 ml extra voedingsoplossing toegevoegd.
2. Na 24 uur is het teveel aan voedingsoplossing afgetapt, door het kraantje aan de onderkant van de pot te openen.
3. Na het aftappen van de overtollige voedingsoplossing is door weging vastgesteld hoeveel vocht in de potten is achtergebleven (tabel 2).



Fig. 6. Foto's van de opstelling van de uitspoelingsproef

Tabel 2. Hoeveelheid ingewogen substraat en toegediende hoeveelheid vocht per behandeling.

monster- nr.	Code	bulkdicht- heid vers, g/l	gewicht vers substraat, g	reeds aanwezig vocht		toegediende hvh vocht, ml	totaal vocht uitgangssituatie, ml
				%	ml		
23	V2/K1/100 bemest	212	64	29	18	125 + 50	143+50-64=129
27	V2/K5/100 bemest	210	63	31	19	125 + 50	144+50-68=126
30	V2 bemest	129	39	53	20	170 + 50	190+50-91=149

De samenstelling van de voedingsoplossing is weergegeven in tabel 3.

Tabel 3. Samenstelling van de voedingsoplossing die is gebruikt voor het op vochtgehalte brengen van de substraten (zie tabel 2 en de tekst voor de toegediende hoeveelheden per substraat).

Verbinding	concentratie, mM
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1.0
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4.0
MgSO <sub>4</sub>	1.0
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.5
KNO <sub>3</sub>	5.0

De pH van de voedingsoplossing was gelijk aan 6.0 en de EC aan 1.69 mS/cm.

4. De afgetapte vloeistof wordt gecentrifugeerd. Het centrifugaat wordt bewaard voor analyse. De klei die door centrifugeren neerslaat, wordt met 50 ml leidingwater in suspensie gebracht en bij de volgende

spoelbeurt weer op het substraat aangebracht.

5. De potten worden met plastic petrischalen afgesloten om verdamping tegen te gaan en krijgen 24 uur de tijd om in evenwicht te raken.
6. Na 24 uur wordt het overtollige vocht afgetapt door het openen van de kraantjes aan de onderkant van de potten.

De stappen 4, 5 en 6 worden nog 9 keer uitgevoerd, zodat het totaal aantal spoelbeurten 10 bedraagt, de totale hoeveelheid opgebracht leidingwater ca. 500 ml bedraagt, zodat de vochtvoorraad in de veen/kleimengsels ca. 3.9 wordt vervangen en in het veen 3.4 x.

In de vloeistofmonsters (het bodemvocht) wordt de pH bepaald en worden de gehalten aan de kationen Ca, Mg, K, Na en  $\text{NH}_4$  en de anionen  $\text{NO}_3$ , ortho-P en  $\text{SO}_4$  (meting van S) bepaald door analyse.

### 3.1.4 Modelmatige beschrijving van het effect van klei op chemische eigenschappen

Het doel van het factor- en detailonderzoek was dat de effecten van klei op fysische en chemische eigenschappen van het substraat zouden worden gekwantificeerd. Hiertoe dient een modelmatige beschrijving te worden ontwikkeld. We beperken ons hier tot een beschrijving van de chemische eigenschappen.

Er wordt voor de modelmatige beschrijving zowel gebruik gemaakt van theoretische kennis van chemische processen in bodemsystemen als van de resultaten van de karakterisering van substraten en de uitspoelingsproef.

## 3.2 Resultaten en discussie

### 3.2.1 Bulkdichtheid, vochtgehalte, pH en kalkgehalte

De resultaten van de bulkdichtheid, het vochtgehalte, de pH en het CaCO<sub>3</sub>-gehalte van de kleien, venen en mengsels staat weergegeven in tabel 4 en bijlage 4. Zoals eerder aangegeven is het vochtgehalte van het verse materiaal zowel op basis van het vochtverlies door droging bij 40 °C als bij 70 °C bepaald. Het vochtgehalte op basis van droging bij 70 °C ligt gemiddeld 3% hoger. In tabel 3 is het vochtgehalte op basis van 40 °C weergegeven.

Tabel 4. Bulkdichtheid, vochtgehalte (bepaald door droging bij 40 °C), pH en CaCO<sub>3</sub>-gehalte van de monsters.

Monst er nr.	omschrijving monster	bulkdichtheid (g/l vers materiaal)	vochtgehalte (g/100 g vers materiaal)	pH	g CaCO <sub>3</sub> / liter vers product
1	Klei 1 (K1) onbemest	1155	10.8	7.07	2.38
2	Klei 2 (K2) onbemest	850	0.8	6.73	1.93
3	Klei 3 (K3) onbemest	940	16.6	7.10	0.43
4	Klei 4 (K4) onbemest	1117	15.8	7.47	0.29
5	Klei 5 (K5) onbemest	1347	4.5	7.46	0.95
8	Tuinturf (V1) onbemest	411	67.3	3.83	n.b.
9	Veenmosveen (V2) onbemest	142	52.1	4.11	n.b.
11	V2/K1/100 onbemest	240	31.3	4.39	0.00
12	V2/K2/100 onbemest	230	30.8	4.15	0.09
13	V2/K3/100 onbemest	233	31.0	4.28	0.00
14	V2/K4/100 onbemest	286	32.3	4.37	0.00
15	V2/K5/100 onbemest	255	32.8	4.46	0.06
16	V2/K1/30 bemest	168	39.6	5.36	0.53
17	V2/K2/30 bemest	163	38.3	5.31	0.19
18	V2/K3/30 bemest	160	39.9	5.34	0.44
19	V2/K4/30 bemest	178	38.0	5.13	0.42
20	V2/K5/30 bemest	163	38.2	5.33	0.24
23	V2/K1/100 bemest	212	27.3	5.08	0.65
24	V2/K2/100 bemest	215	27.7	5.46	0.69
25	V2/K3/100 bemest	270	36.7	5.37	0.60
26	V2/K4/100 bemest	254	30.4	5.18	0.97
27	V2/K5/100 bemest	210	23.6	5.28	1.32
30	Veenmosveen (V2) bemest	129	49.3	5.05	0.34

Uit tabel 4 blijkt dat de kleien 2 en 3 een relatief lage bulkdichtheid hebben, dat klei 5 een relatief hoge bulkdichtheid heeft en dat het mengen van klei met veen in alle gevallen leidt tot een hogere bulkdichtheid dan van puur veen.

De kleien hebben alle een relatief laag gewichtsvochtgehalte, variërend van 1 tot 17%, terwijl de venen voor meer dan de helft uit vocht bestaan. Dit komt overeen met de verwachting, aangezien het vochthoudend vermogen van veen op gewichtsbasis altijd groter is dan van klei. Wel moet worden opgemerkt dat de kleiprodukten in meer of mindere mate zijn gedroogd. Het feit dat de vochtgehalten van klei lager waren dan van veen heeft er toe geleid dat de gewichtsvochtgehalten van de mengsels van klei en veen lager zijn dan die van de zuivere venen.

Alle vijf de kleien hebben een neutrale pH en beide venen zijn zuur (tabel 4). Dit komt overeen met de situatie zoals die normaal in het veld voorkomt (Driessen & Dudal, 1991). Het toevoegen van klei aan veen leidt echter nauwelijks tot pH verhoging (vergelijk monsternummer 9 met 11 tot en met 14). Veel duidelijker is het effect van bemesting en bekalking: monsters 16 tot en met 30 hebben een beduidend hogere pH dan 11 tot en met 15 en 9.

Uit de meetresultaten (tabel 4; bijlage 4) blijkt dat alle vijf de kleien  $\text{CaCO}_3$  bevatten, maar het effect daarvan op het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte van onbemeste mengsels is verwaarloosbaar. Ook hier is duidelijk het effect van bemesting te zien: de bemeste en bekalkte mengsels (16 tot en met 27) hebben een beduidend hoger kalkgehalte dan de onbemeste mengsels (11 tot en met 15). De variatie in het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte tussen bemeste (en bekalkte) mengsels is opmerkelijk en was niet verwacht. Vooral het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte in V2/K5/100 bemest was opvallend hoog.

Samenvattend,

- De bulkdichtheid van klei is veel hoger dan van veen, waardoor de bulkdichtheid van mengsels ook hoger is dan van puur veen.
- Het gewichtsvochtgehalte van veen is hoger dan van klei, waardoor het gewichtsvochtgehalte van mengsels lager is dan van puur veen.
- De pH van klei is hoger dan van veen, maar toevoeging van klei aan veen heeft vrijwel geen effect op de pH van het substraat.
- Alle kleien bevatten wat  $\text{CaCO}_3$ . Het verschil tussen de klei met het hoogste (K1) en laagste (K4)  $\text{CaCO}_3$ -gehalte is een factor 10. De consequenties hiervan voor de praktijk zijn echter beperkt, aangezien potgrond altijd wordt bekalkt en het effect van bekalking voor het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte van mengsels veel groter is dan van kleitoediening.

### 3.2.2 Korrelgrootteverdeling

De resultaten van de bepaling van de textuurverdeling zijn weergegeven in tabel 5 en bijlage 5.

Tabel 5. Textuurverdeling van de kleimonsters (%).

Omschrijving	diameter deeltjes	K1	K2	K3	K4	K5
Zand	> 50 $\mu\text{m}$	15.1	2.6	10.5	24.5	10.9
Silt	2 – 50 $\mu\text{m}$	54.5	49.4	70.8	37.5	41.7
Klei	< 2 $\mu\text{m}$	30.4	48.0	18.7	38.0	47.4

Uit de resultaten blijkt dat:

- monster K4 relatief veel zand bevat, monster 3 relatief veel silt en dat monsters K2 en K5 relatief veel klei bevatten.
- de fabriekskleien alle minder dan de helft klei bevatten. Vooral K3 bevat weinig klei. Alleen bij monster K1 is geconstateerd dat de standaard voorbehandeling met ultrasoon onvoldoende was om de aggregaten uiteen te doen vallen. Hierdoor is het kleigehalte van K1 mogelijk onderschat.

### 3.2.3 Kleimineralogie

De resultaten van de bepaling van de gehalten van de verschillende kleimineralen in de fabriekskleien is weergegeven in tabel 6 en bijlage 5.

Tabel 6. Gehalten van de verschillende kleimineralen in de 5 fabriekskleien.

Kleimineraal	g per 100 g kleifraction* voor de 5 fabriekskleien					g per 100 g monster voor de 5 fabriekskleien				
	K1	K2	K3	K4	K5	K1	K2	K3	K4	K5
Smectiet	0	20	45	5	40	0	9.6	8.4	1.9	19.0
Vermiculiet	15	5	10	0	10	4.6	2.4	1.9	0	4.7
Illiet	70	35	30	40	40	21.3	16.8	5.6	15.2	19.0
Kaoliniet	15	40	15	55	10	4.6	19.2	2.8	20.9	4.7

\*De kleifraction in de fabriekskleien is gegeven in tabel 5.

Bij de resultaten van de kleimineralogie kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- De mineralogie heeft betrekking op de kleifraction, dat wil zeggen de deeltjes met een diameter < 2  $\mu\text{m}$ .

- Röntgendiffractie is een semi-kwantitatieve methode. De gepresenteerde getallen geven daarom meer een indicatie van de verdeling dan een absolute verdeling en ze moeten dan ook met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd.
- Smectiet en vermiculiet zijn kleien met een sterk zwellend/krimpend karakter, en een relatief hoge CEC (> 40 mmol/kg). Illiet is een klei met geringe zwel/krimp, en een matige CEC (10-40 mmol/kg). Illiet fixeert kalium in zijn rooster. Kaoliniet is een kleimineraal wat relatief sterk verweerd is en geen zwel/krimp vertoont. Het heeft een lage CEC, die voor een deel pH-afhankelijk is (<10 mmol/kg). In chemisch opzicht staat vooral kaoliniet tegenover smectiet en vermiculiet (lage CEC versus hoge CEC en daardoor verschil in hoeveelheid geadsorbeerde kationen aan de klei). In fysisch opzicht staan kaoliniet en illiet (geen zwel/krimp) tegenover smectiet/vermiculiet (wel zwel/krimp). Een hoge CEC betekent dat er een grote hoeveelheid kationen in de grond kan worden opgeslagen en in principe beschikbaar kan komen voor planten (zie verder). Hiervan kunnen planten onder bepaalde omstandigheden profiteren. Te veel zwel/krimp is echter ongunstig.
- Het relatieve aandeel van de kleimineralen verschilde behoorlijk tussen de fabriekskleien: zo was het aandeel aan kaoliniet in K2 en K4 vrij hoog, terwijl het smectietgehalte in K2, K3 en K5 vrij hoog was. Het illietgehalte verschilde niet sterk tussen de kleien. Afgaande op het gehalte aan smectiet en vermiculiet in de kleien, uitgedrukt per 100 g monster, hadden K5, K2 en K3 een hoog gehalte. Als we afgaan op het gehalte aan smectiet, vermiculiet én illiet dan hadden K5, K2 en K1 een hoog gehalte.
- Volgens de informatie die bij de fabriekskleien werd geleverd zou K4 een bentoniet moeten zijn. Dit is een smectietachtige. Dit kwam niet naar voren uit de mineralogie.
- Op basis van de combinatie van korrelgrootteverdeling en mineralogie mag worden verwacht dat K5 de hoogste CEC heeft: het kleipcentage was relatief hoog en het aandeel van smectiet, vermiculiet en illiet is relatief hoog.

Samenvattend,

- Er werden grote verschillen vastgesteld in het kleigehalte van de fabriekskleien: het kleigehalte varieerde van 19 tot 48%.
- Daarbinnen was sprake van grote verschillen in de mineralogie: K4 bestaat voor het grootste deel uit kaoliniet (met een lage CEC), terwijl bij K2, K3 en K5 een aanzienlijk deel bestaat uit smectiet en illiet (met relatief hoge CEC).
- De informatie van korrelgrootteverdeling en mineralogie gecombineerd leidt tot aanzienlijke verschillen tussen de kleien (tabel 6, fig. 7).

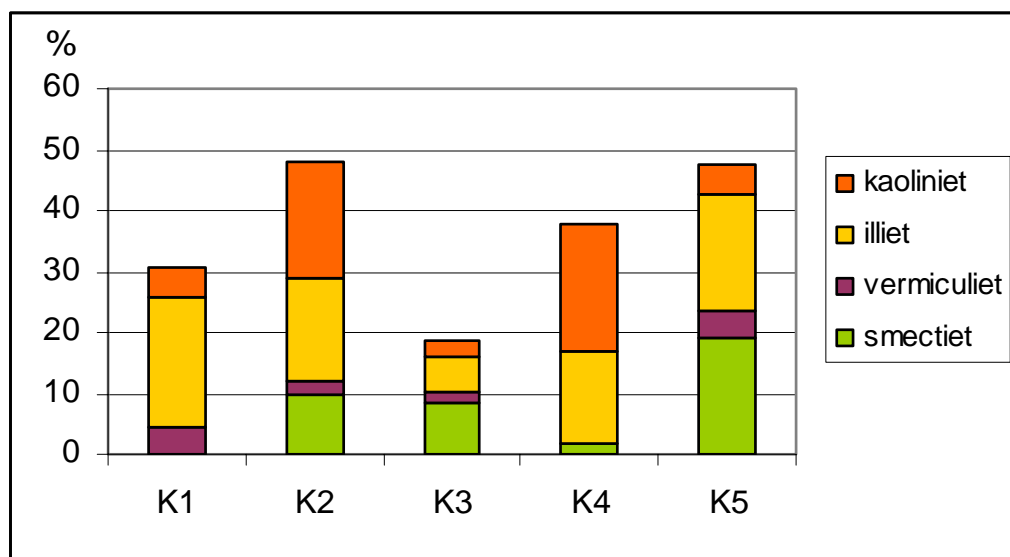


Fig. 7. Resultaten van het aandeel van vier typen kleimineralen in de vijf fabriekskleien (in g per 100 g monster).

### 3.2.4 Kationuitwisselcapaciteit en kationenbezetting

De resultaten van de bepaling van de kationuitwisselcapaciteit (CEC) en de kationenbezetting van het complex zijn voor de fabriekskleien en de venen weergegeven in tabel 7 en bijlage 6.

Tabel 7. Kationuitwisselcapaciteit (CEC) en kationenbezetting voor de onbemeste kleien en venen bij actuele pH en pH 5.5.

Monster	pH	CEC, cmol(+)/liter	kationenbezetting in cmol(+)/liter vers materiaal						
			Na	K	Ca	Mg	Al	Mn	som
K1	Actueel	9.32	0.06	0.08	9.78	1.52	0.00	0.01	11.44
K2	Actueel	13.95	0.19	0.36	13.76	2.17	0.02	0.03	16.50
K3	Actueel	8.10	0.07	0.17	7.96	1.25	0.04	0.03	9.50
K4	Actueel	30.48	0.19	0.72	29.40	12.46	0.01	0.01	42.77
K5	Actueel	21.64	0.18	0.57	24.39	2.63	0.00	0.02	27.77
V1	actueel	1.22	0.10	0.01	0.65	1.05	0.19	0.01	2.01
V2	actueel	0.37	0.03	0.01	0.25	0.40	0.09	0.00	0.79
K1	5.5	8.94	0.09	0.11	9.83	1.56	0.17	0.03	11.77
K2	5.5	11.06	0.26	0.35	15.73	2.74	0.01	0.15	19.09
K3	5.5	7.22	0.16	0.21	7.96	1.34	0.04	0.15	9.71
K4	5.5	32.61	0.27	0.70	29.41	12.51	0.02	0.07	42.92
K5	5.5	22.49	0.37	0.83	24.78	2.95	0.03	0.21	28.96
V1	5.5	2.08	0.10	0.01	6.90	1.09	0.00	0.01	8.11
V2	5.5	0.92	0.03	0.01	3.79	0.42	0.00	0.00	4.26

Op basis van de theorie zou je verwachten dat de som van de kationenbezetting gelijk is aan de CEC. Uit tabel 7 blijkt dat de som van de kationen steeds hoger is dan de CEC. Dit duidt op de aanwezigheid van oplosbare zouten, die de meting van de kationenbezetting verstoren. We kunnen op basis van de huidige meting geen onderscheid maken naar het deel van de kationen dat afkomstig is van het complex, en het deel afkomstig van zouten. Waarschijnlijk speelt dit vooral voor calcium een rol, aangezien dit in de kleien, o.a. in de vorm van  $\text{CaCO}_3$  en  $\text{CaSO}_4$  voorkomt. Het moge duidelijk zijn dat vooral de Ca-bezetting van het adsorptiecomplex, zoals die is weergegeven in tabel 6. met de nodige voorzichtigheid moet worden geïnterpreteerd. De Ca-bezetting van het adsorptiecomplex kan het best worden benaderd door het verschil van de totale CEC en de bezetting met de overige kationen (vooral Na, K en Mg). Zoals hiervoor is aangegeven is een andere optie om een correctie toe te passen op basis van een bepaling van de hoeveelheid calcium die in de vorm van zouten aanwezig is door een waterextractie (Van Erp, 2002).

Uit tabel 6 blijkt dat er grote verschillen zijn in de CEC tussen de kleien enerzijds en de venen anderzijds: de CEC van de kleien was veel hoger dan die van de venen. Daarnaast verschilde de CEC ook tussen de kleien onderling en tussen de venen onderling. Bij een vergelijking tussen kleien was de CEC van de kleien K4 en K5 relatief hoog, die van K1 en K3 relatief laag, en K2 zat er tussenin. Verder had het veenmosveen een veel lagere CEC dan tuinturf.

Er was een effect van pH op de CEC, wat voor de kleien kleiner was dan voor de venen. Dit komt overeen met de verwachting. Van de kleimineralen is alleen de CEC van kaoliniet afhankelijk van de pH.

De CEC van K4 was in vergelijking met de andere kleien opvallend hoog, wat niet overeenkomt met de resultaten van de mineralogische samenstelling: volgens de mineralogie bevat K4 weinig smectiet en/of vermiculiet, en zou je dus een lage CEC verwachten. Het is onduidelijk hoe de resultaten van de mineralogie en CEC van K4 met elkaar kunnen worden verenigd. Uiteindelijk is de CEC de eigenschap waar het voor het chemische gedrag van de klei om gaat en die dus het belangrijkste is.

De resultaten van de kationuitwisselcapaciteit (CEC) en de kationenbezetting van de mengsels van veen en klei zijn weergegeven in tabel 8.

Ook bij de mengsels van veen en klei zien we dat de som van de kationenbezetting hoger is dan de totale CEC, wat op basis van de theorie niet mogelijk is. Ook hier zullen de aanwezige zouten een versturende invloed hebben gehad. Deze versturende invloed is het minst groot in de onbemeste grond. Als de CEC van de onbemeste mengsels wordt vergeleken met V2 onbemest, blijkt dat de kleitoevoeging tot een aanzienlijke verhoging van de CEC heeft geleid, en dat die verhoging het grootst was voor K4 en K5 (fig. 8). Dit komt overeen met de verwachting aangezien de CEC van de pure kleien ook het hoogst was bij K4 en K5 (tabel 7).

Tabel 8. Kationuitwisselcapaciteit (CEC) en kationenbezetting van bemest en onbemest veenmosveen (V2) en de bemeste en onbemeste mengsels van veen en klei.

substraat	CEC, cmol(+)/liter	kationenbezetting in cmol(+)/liter vers materiaal						
		Na	K	Ca	Mg	Al	Mn	som
V2 onbemest, pH 5.5	0.92	0.03	0.01	0.25	0.40	0.09	0.00	0.79
V2 bemest	1.39	0.05	0.60	2.90	1.62	0.00	0.01	5.16
V2/K1/100 onbemest	1.98	0.03	0	1.26	0.57	0.39	0.03	2.24
V2/K2/100 onbemest	2.52	0.05	0.03	1.91	0.61	0.27	0.03	2.89
V2/K3/100 onbemest	1.99	0.04	0	1.34	0.52	0.33	0.07	2.29
V2/K4/100 onbemest	5.35	0.06	0.09	4.51	2.02	0.51	0.06	7.26
V2/K5/100 onbemest	3.51	0.04	0	2.26	0.57	0.45	0.05	3.36
V2/K1/30 bemest	1.93	0.04	0.54	3.37	1.68	0.00	0.02	5.65
V2/K2/30 bemest	2.04	0.05	0.62	3.65	1.74	0.00	0.02	6.08
V2/K3/30 bemest	1.90	0.05	0.61	3.47	1.63	0.00	0.02	5.78
V2/K4/30 bemest	1.61	0.05	0.61	4.02	2.06	0.00	0.02	6.75
V2/K5/30 bemest	1.63	0.05	0.58	3.42	1.66	0.00	0.02	5.72
V2/K1/100 bemest	2.82	0.04	0.28	3.65	1.58	0.00	0.02	5.56
V2/K2/100 bemest	3.01	0.06	0.56	4.76	1.94	0.00	0.03	7.35
V2/K3/100 bemest	4.00	0.06	0.60	4.41	1.97	0.00	0.05	7.07
V2/K4/100 bemest	4.27	0.07	0.62	6.27	3.02	0.00	0.03	10.00
V2/K5/100 bemest	2.97	0.06	0.48	4.51	1.68	0.00	0.03	6.76

Bij de bemeste mengsels zien we dat de CEC ook steeds hoger is dan V2 bemest. Dit effect is het duidelijkst bij de mengsels met de hoge kleidosing. De verschillen tussen de bemeste mengsels met de verschillende kleien zijn echter niet zo eenduidig, en komen niet geheel overeen met de resultaten van de pure kleien (tabel 7) en met die tussen de onbemeste mengsels. Bij de bemeste mengsels met de lage kleitoediening (\*\*\*/30) had het mengsel met K2 de hoogste CEC en het mengsel met K4 de laagste, terwijl bij de hoge kleitoediening (\*\*\*/100) K4 de hoogste CEC had en K1 de laagste. Verder was de CEC in bemeste mengsels met K5 laag ten opzichte van de andere kleien, terwijl de CEC van K5 in de pure kleien en de onbemeste mengsels hoog was ten opzichte van de andere kleien. Bemesting van de mengsels leek de verschillen in CEC tussen de kleien enigszins te verstoren, wat mogelijk wordt veroorzaakt door het hoge zoutniveau. Hiervoor is geen verklaring. De CEC-bepalingen in de onbemeste mengsels zijn dan ook betrouwbaarder dan in de bemeste mengsels en geven de beste indruk van de buffercapaciteit van de mengsels van veen met de kleien.

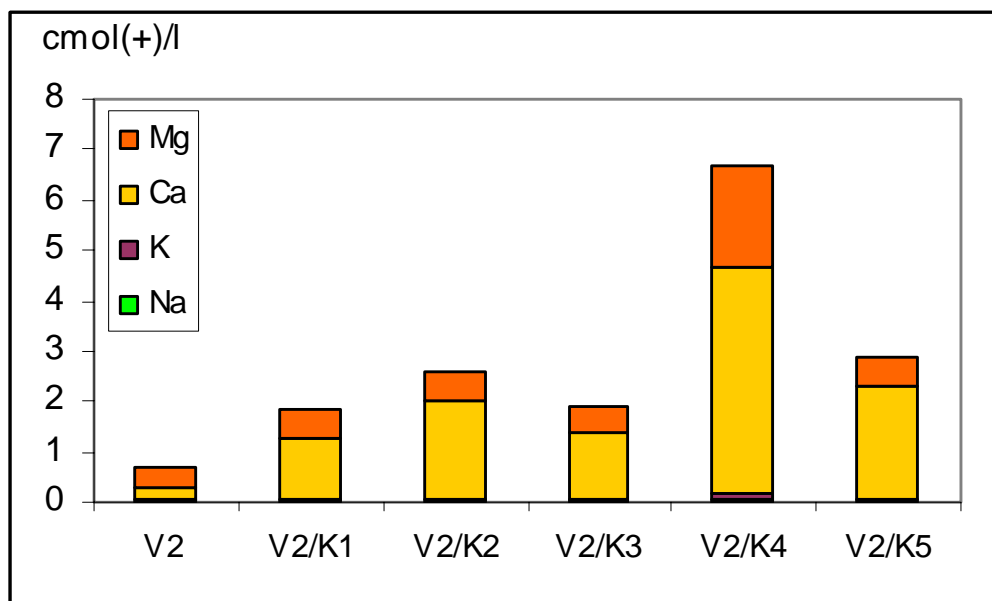


Fig. 8. Kationenbezetting van het adsorptiecomplex in onbemest veenmosveen (V2) en in onbemeste mengsels van veenmosveen en klei.



### 3.2.5 Samenstelling bodemvocht

De resultaten van de samenstelling van de bodemoplossing van de onbemeste kleien en venen bij de actuele pH en bij pH 5.5 zijn weergegeven in tabel 8 en bijlage 4.

Tabel 9. Samenstelling bodemvocht van zuivere, onbemeste kleien en venen bij actuele pH en pH 5.5.

sub-straat	pH	Concentratie van ionen in bodemvocht, mg/l substraat									EC, $\mu\text{S/cm}$
		ortho P	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	Ca	K	Mg	Na	S	Cl	
K1	7.1	0.5	2.5	0.6	17.8	9.8	4.5	5.8	4.8	0.0	28
K2	6.7	0.3	1.8	1.2	166.1	25.2	22.0	31.2	133.6	0.0	260
K3	7.1	1.4	0.0	0.1	20.8	7.8	5.8	13.1	7.7	0.0	45
K4	7.5	1.2	0.1	0	11.2	7.0	6.2	8.5	8.5	0.0	20
K5	7.5	0.5	1.8	0	65.6	13.3	9.6	17.0	6.6	0.0	65
V1	3.8	0.8	5.0	5.3	1.8	7.8	1.0	17.8	16.2	0.0	57
V2	4.1	0.7	0.5	2.5	1.7	10.6	0.3	7.4	13.5	0.0	42
K1	5.3	0.2	2.4	0.4	229.2	10.9	30.7	11.2	6.4	530.2	351
K2	5.5	0.2	1.5	1.1	916.8	46.7	110.7	42.0	155.0	1789.5	1464
K3	5.4	0.3	0.3	0.5	241.4	16.1	31.8	16.2	10.6	564.7	459
K4	5.5	0.6	0.6	0.5	279.2	30.6	87.4	30.0	4.7	841.6	556
K5	5.4	0.3	1.5	0.6	674.5	39.2	57.1	32.9	9.6	1479.7	893
V1	5.5	0.7	15.6	1.1	23.8	33.4	5.6	24.8	17.6	53.1	101
V2	5.5	0.6	0.8	3.7	6.1	8.0	1.0	10.8	14.6	33.8	37

Uit de resultaten blijkt dat het aanzuren van de kleien tot een pH van 5.5 consequenties heeft voor de concentraties van de ionen in de bodemoplossing. Vooral de concentraties aan Ca en Mg, maar ook die van K en Na zijn voor alle kleien toegenomen. Dit kan worden begrepen uit een toename van de bezetting van het adsorptiecomplex met H<sup>+</sup>-ionen, waardoor een deel van de daarvoor geadsorbeerde kationen in oplossing komen. Daarnaast zal de verlaging van de pH er voor zorgen dat meer zouten (zoals Ca dat aanwezig is in CaCO<sub>3</sub>) in oplossing gaan, wat ook tot uiting komt in een sterke toename van de EC (ook deels bepaald door Cl). De consequenties van het aanzuren voor de anionenconcentraties is veel minder groot. Er komt alleen een aanzienlijke hoeveelheid Cl in oplossing, door het gebruik van HCl voor het aanzuren.

Het aanloggen van de venen met Ca(OH)<sub>2</sub> heeft geleid tot een verhoging van de Ca-concentratie en voor V1 tot een duidelijke toename van de K-, Mg- en Na-concentratie. Voor V2 was dit minder duidelijk. De resulterende EC was voor de venen (veel) lager dan voor de kleien.

Uit een vergelijking tussen de kleien blijkt dat de concentratie aan ionen in de bodemoplossing voor K2 opvallend hoog is. De kationen zijn voornamelijk aanwezig als sulfaten en de hoge concentratie heeft geleid tot een relatief hoge EC. Het is onduidelijk wat de oorzaak is van het afwijkende zoutniveau in deze klei ten opzichte van de andere vier kleien.

De samenstelling van het bodemvocht van bemest en onbemest veenmosveen (V2) en van de bemeste en onbemeste mengsels van veen en klei is weergegeven in tabel 10.

Uit een vergelijking van de onbemeste mengsels van veen en klei met het onbemeste veen blijkt dat er sprake is van duidelijke verschillen in de gehalten aan ionen in het bodemvocht, maar dat de concentraties zeer laag zijn in vergelijking met de concentraties in de bemeste varianten. De gehalten aan Ca, Mg, Na en P in de bodemoplossing van de onbemeste mengsels zijn steeds hoger dan in onbemest puur veen (V2), terwijl het S-gehalte in alle onbemeste mengsels behalve V2/K2/100 lager is dan in V2 onbemest.

Bemesting heeft enorme gevolgen voor de concentraties van de kat- en anionen in de bodemoplossing (tabel 9 en 10). Dit geldt zowel voor puur veen als voor de mengsels van veen en klei. Uit een vergelijking van de gehalten in het pure veen met die in de mengsels van veen en klei blijkt dat er wel degelijk effecten van de kleitoevoeging op de gehalten in de bodemoplossing van de bemeste substraten werden vastgesteld. Zo zien we:

- Een toename van de Ca- en (in mindere mate) de Mg-concentratie in de bodemoplossing met een toename van het kleigehalte in de mengsels.
- Een afname van de K-, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, P- en S-concentratie in de bodemoplossing met een toename van het kleigehalte in de mengsels,
- Een lagere EC in de bodemoplossing van mengsels met 10% klei dan in het pure, bemeste veen.



Tabel 10. Samenstelling bodemvocht van de mengsels bij actuele pH.

Substraat	pH	concentratie van ionen in bodemvocht, mg/l substraat									EC, $\mu\text{S/cm}$
		ortho P	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	Ca	K	Mg	Na	S	Cl	
V2 onbemest	4.1	0.71	0.48	2.49	1.75	10.65	0.27	7.42	13.49	0	41.5
V2 bemest	5.0	65.4	105.0	61.8	40.6	229.3	30.1	13.5	79.1	11	399.5
V2/K1/100 onbemest	4.4	2.9	0.1	0.6	2.7	3.7	1.2	8.1	2.2	0	29.0
V2/K2/100 onbemest	4.1	1.4	0.4	3.3	11.9	17.6	4.4	12.4	24.5	0	77.5
V2/K3/100 onbemest	4.3	3.9	0.1	1.2	4.0	14.6	2.4	7.1	3.4	0	28.0
V2/K4/100 onbemest	4.4	25.9	0.1	5.4	8.7	9.8	3.8	11.4	3.9	0	68.5
V2/K5/100 onbemest	4.5	4.0	0.4	1.7	5.1	7.7	3.0	8.9	4.2	0	46.0
V2/K1/30 bemest	5.4	51.4	115.4	52.9	64.7	219.2	41.0	15.5	91.5	14	414.5
V2/K2/30 bemest	5.3	42.7	113.2	58.1	62.1	227.6	38.6	16.5	94.5	11	408.5
V2/K3/30 bemest	5.3	62.2	130.1	75.0	56.4	262.4	35.9	15.7	95.6	18	453.0
V2/K4/30 bemest	5.1	63.2	118.0	55.7	70.0	224.2	41.9	26.0	108.8	18	443.5
V2/K5/30 bemest	5.3	54.5	110.9	60.1	62.1	214.9	37.0	14.6	86.2	21	393.0
V2/K1/100 bemest	5.1	35.1	87.1	24.3	67.0	110.1	38.2	21.1	71.1	11	322.0
V2/K2/100 bemest	5.5	34.6	102.7	54.4	76.5	174.7	37.8	18.5	94.6	11	374.0
V2/K3/100 bemest	5.4	42.2	112.9	50.6	77.2	203.0	42.4	16.2	92.0	11	386.5
V2/K4/100 bemest	5.2	33.8	100.0	29.9	90.9	98.7	42.2	22.3	76.7	11	337.5
V2/K5/100 bemest	5.3	19.1	74.4	19.3	75.9	96.8	26.0	21.1	63.4	14	267.0

Er worden verschillen tussen de kleien vastgesteld in de effecten op de gehalten aan kationen in de bodemoplossing, waarvoor de verklaring vooral moet worden gezocht in verschillen in de CEC en de kationenbezetting van de kleien. Zo zijn de toename van de Ca- en Mg-concentratie en de afname van de K- en NH<sub>4</sub>-concentratie in het bodemvocht met een toename van de kleitoevoeging het duidelijkst voor de kleien K1, K4 en K5 en het minst duidelijk voor K2 en K3. Aangezien K4 en K5 de kleien zijn met de hoogste CEC, werden voor deze kleien de grootste effecten verwacht. Tegengesteld aan de verwachting had toevoeging van K1 aan V2 een groot effect op de Ca-, Mg-, K- en NH<sub>4</sub>-concentratie van het bodemvocht. Aangezien de CEC van K1 laag is ten opzichte van de andere kleien, is hiervoor geen directe verklaring voorhanden. Bij de paragraaf over de modelmatige beschrijving (3.2.7) wordt hier nader op ingegaan.

Naast de effecten van de kleien op concentraties van kationen in het bodemvocht, werden grote effecten vastgesteld van kleitoevoeging op de concentratie van ortho-P in het bodemvocht. Vooral de mengsels met de hoge kleitoevoeging verlaagden de P-concentratie aanzienlijk ten opzichte van die in puur veen (van 35% bij K3 tot 46% bij K5; fig. 4). Waarschijnlijk is dit veroorzaakt door de aanwezigheid van ijzer (Fe) en aluminium (Al) in de kleien, waardoor de fosfaat wordt vastgelegd in slecht oplosbare verbindingen. Hierop wordt bij de bespreking van de resultaten van de uitspoelingsproef (3.2.6) en bij de modelmatige beschrijving (3.2.7) nog teruggekomen (zie verder).

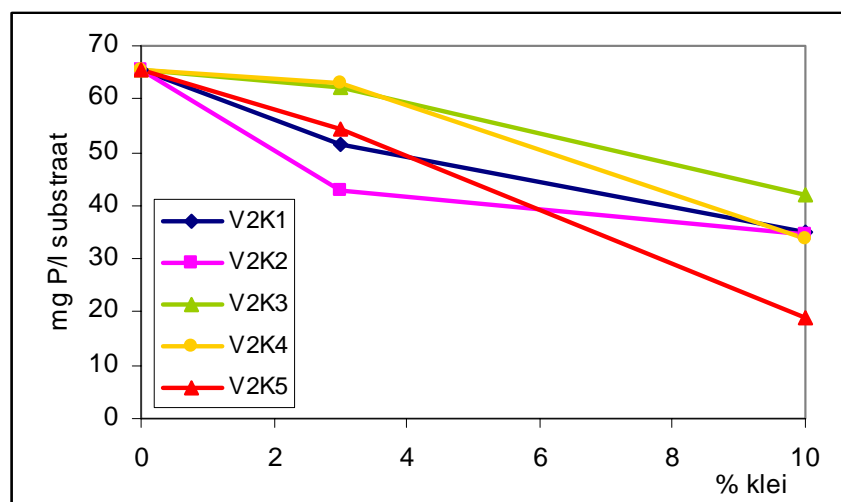


Fig. 9. Concentratie van ortho-P in het bodemvocht voor puur veen (V2; 0% klei) en mengsels van veen met 3 en 10% klei van de kleien K1 t/m K5.

### 3.2.6 Uitspoelingsproef

De resultaten van de uitspoelingsproef zijn weergegeven in bijlage 9. In fig. 10 is het verloop van de concentratie van  $\text{NH}_4$ , K, Mg en Ca in het uitgespoelde bodemvocht weergegeven.

Bij de analyse van de resultaten is het goed te bedenken dat de substraten waren bemest en dat bij aanvang van de uitspoelingsproef nog een extra bemesting is uitgevoerd met een voedingsoplossing (zie paragraaf 1.2.1 en 1.2.3). De concentraties van de verschillende elementen in de voedingsoplossing bedroegen 1 mM  $\text{NH}_4$ , 6.5 mM K, 1 mM Mg en 4 mM Ca en de hoeveelheden van de voedingsoplossing die in de potten achterbleven zijn vermeld in tabel 2.

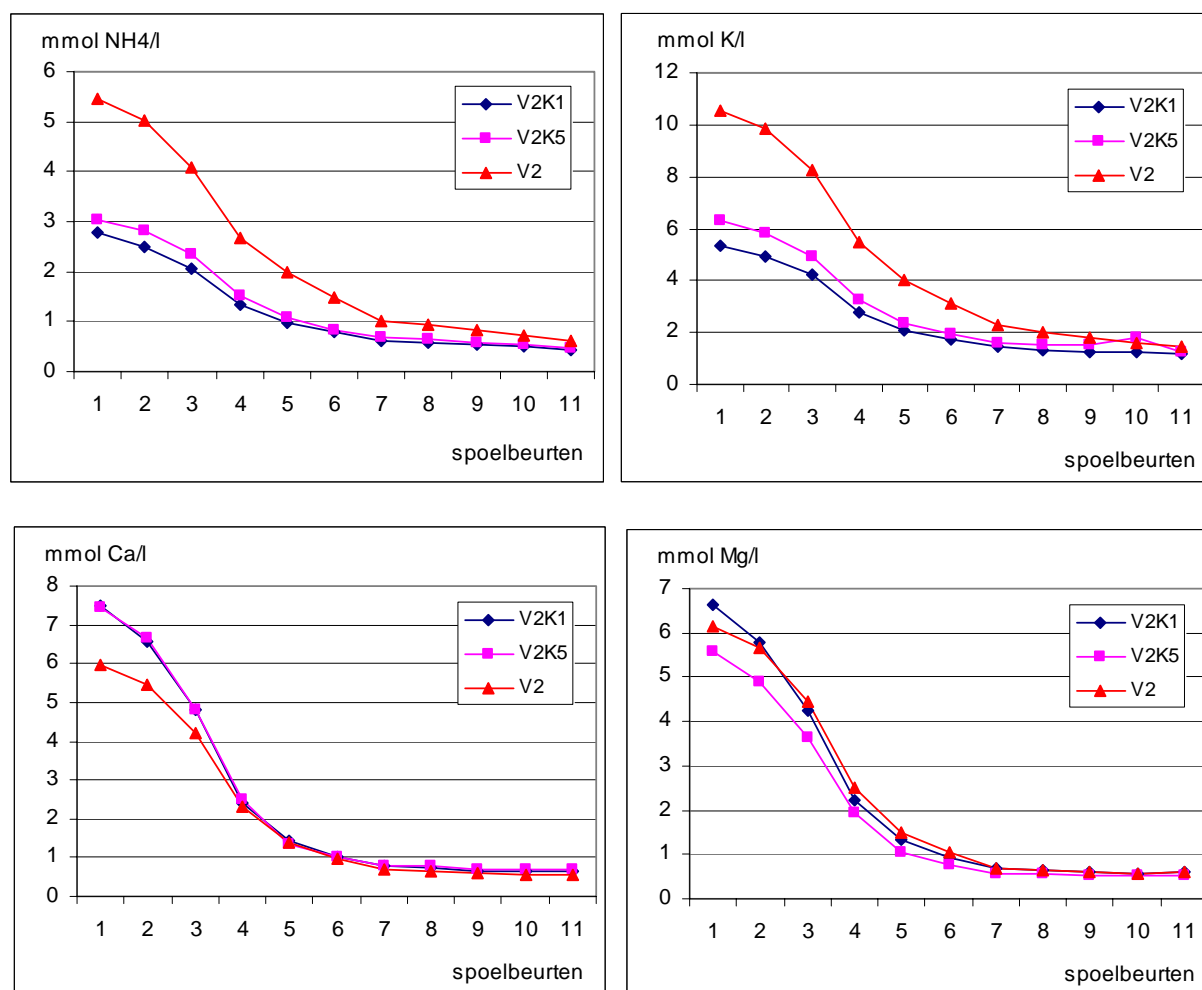


Fig. 10. Verloop van de concentraties aan  $\text{NH}_4$ , K, Ca en Mg in het uitgespoelde bodemvocht in de uitspoelingsproef.

Uit de proef komt het volgende naar voren:

- Op korte termijn werd de  $\text{NH}_4$ -en K-concentratie in de bodemoplossing door kleitoevoeging fors verlaagd. Het verloop van de relatieve concentratie was voor de substraten vergelijkbaar. Na verloop van tijd was het verschil in concentratie tussen de mengsels en puur veen klein geworden (fig. 10). De cumulatieve  $\text{NH}_4$ - en K-uitspoeling was in de substraten met klei aanzienlijk lager dan in puur veen (bijlage 9). Het verschil tussen K1 en K5 was klein, maar het effect was bij gebruik van K1 iets groter dan bij K5. De cumulatieve  $\text{NH}_4$ -uitspoeling bedroeg na afloop van de proef voor V2K1 58% en voor V2K5 61% van die in V2. De cumulatieve K-uitspoeling bedroeg na 10 speelbeurten voor V2K1 60% en voor V2K5 67% van die in V2 (bijlage 9).
- De Ca-concentratie in de bodemoplossing was in substraten met klei hoger dan in zuiver veen. Na drie uitspoelingsbeurten is dit verschil vrijwel verdwenen (fig. 10; bijlage 9). Het verschil in gedrag tussen substraten met K1 en K5 was vrijwel afwezig (fig. 10; bijlage 9).
- De Mg-concentratie werd verlaagd door toevoeging van K5 aan veen, maar werd iets verhoogd door toevoeging van K1. Dit wijst erop dat in het substraat met K1 Mg vanaf het adsorptiecomplex in de

oplossing komt, terwijl bij K5 het omgekeerde gebeurt. Dit zou het gevolg kunnen zijn van verschillen in de oorspronkelijke bezettingsgraad van Mg aan het adsorptiecomplex. Bij de modelmatige beschrijving wordt hierop teruggekomen (3.2.7).

De verwachting was dat in substraten met een hoge CEC de concentratie aan kationen K en  $\text{NH}_4$  op korte termijn lager zou zijn dan in een substraat met een lage CEC. Dit werd bevestigd in de proef. Voor de lange termijn werd echter verwacht dat de concentratie aan deze kationen in substraten met een hoge CEC hoger zou worden dan in substraten met een lage CEC, doordat de capaciteit om kationen na te leveren in substraten met een hoge CEC hoger is dan in substraten met een lage CEC (zie verder bij modelmatige beschrijving). Dit werd niet aangetoond in de proef.

In fig. 11 zijn de resultaten van het verloop van de P- en S-concentratie in de bodemoplossing weergegeven. Hieruit blijkt dat er ook aanzienlijke effecten van kleitoevoeging op het gedrag van anionen op kan treden. Het effect was voor P veel groter dan voor S en de kleitoevoegingen leidden tot een aanzienlijke afname van de P-concentratie in het bodemvocht en daardoor ook in de cumulatieve P-uitspoeling (bijlage 9). Dit effect was het grootst bij het gebruik van K5 (V2K5). De concentratie van P in de bodemoplossing van het substraat met K5 (V2K5) is in de beginfase van de proef een factor 3 lager dan in de bodemoplossing van puur veen (V2) en de cumulatieve P-uitspoeling aan het eind van de proef was in V2K5 ruim een factor 2 lager dan in V2 (bijlage 9).

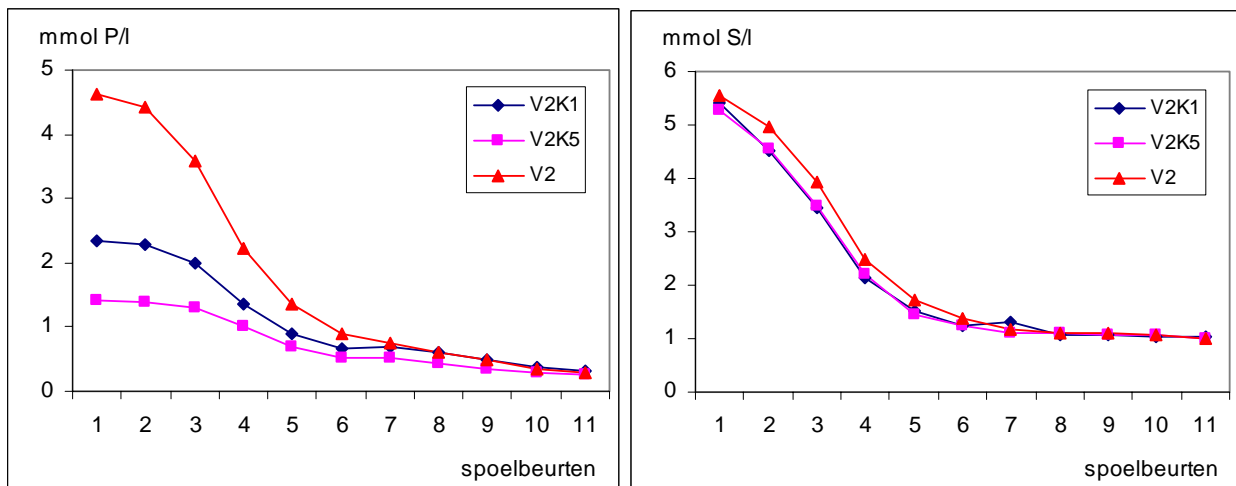


Fig. 11. Verloop van de concentraties aan P en S in het uitgespoelde bodemvocht in de uitspoelingsproef.

Het grote effect van kleitoevoeging op de P-concentratie in het bodemvocht in de uitspoelingsproef (fig. 11) kwam overeen met het dat is gevonden bij het karakteriseren van de kleien (3.2.5, fig. 9). Voor de start van het project werd een dergelijk groot effect van kleitoevoeging op de P-beschikbaarheid niet verwacht, aangezien werd aangenomen dat het effect van kleitoevoeging vooral betrekking zou hebben op de adsorptie van kationen. Mogelijke verklaringen voor de grote invloed van kleitoevoeging op de P-concentratie in het bodemvocht zijn het effect van kleitoevoeging op de anionenadsorptiecapaciteit (AEC; elektrostatische binding) of de vastlegging van P door de vorming van slecht oplosbare Fe- en Al-fosfaten (chemische binding) door Fe- en/of Al(hydr)oxiden die aanwezig zijn in de klei. Bij nader inzien lijkt het niet erg waarschijnlijk dat de AEC de reden is voor de sterke daling van de concentratie, aangezien de AEC in het algemeen slechts 1-5% bedraagt van de CEC (Bolt & Bruggenwert, 1978) en het ligt dan ook veel meer voor de hand dat de fosfaationen worden vastgelegd door de vorming van slecht oplosbare Fe- en Al-fosfaten (Bolt & Bruggenwert, 1978).

De laatste hypothese is geverifieerd door het uitvoeren van een aantal aanvullende analyses. Daartoe de substraten na afloop van de proef uitgebreider onderzocht op de aanwezige hoeveelheid van een aantal P-fractionen en de P-fixatiecapaciteit van de substraten. Er zijn extracties uitgevoerd met de P-AL-methode, een veelgebruikte methode voor bepaling van de P-beschikbaarheid voor gewassen, en met de ammonium oxalaat oxaalzuur methode, waarmee zowel de totale hoeveelheid gefixeerde P (Pox), als de som van amorfe Al- en Fe-(hydr)oxiden ((Al+Fe)ox) wordt bepaald. Met de bepaling van (Al+Fe)ox wordt de totale fixatiecapaciteit voor P gekwantificeerd (Houba et al., 1997; Koopmans, 2004). De resultaten van de aanvullende analyses zijn weergegeven in tabel 11.

Tabel 11. Resultaten van de P-AL-extractie en de gehalten aan Al, Fe en P in de substraten bepaald met de ammonium oxalaat oxaalzuur-extractie na afloop van de uitspoelingsproef.

Object	P-gehalte bepaald met P-AL-extractie		Ammonium oxalaat oxaalzuur-extractie					
			Al-gehalte (Al ox)		Fe-gehalte (Fe ox)		P-gehalte (P ox)	
	mg/kg	mg/l	mg/kg	mg/l	mg/kg	mg/l	mg/kg	mg/l
V2K1	126	27	443	94	756	160	285	60
V2K5	263	55	1023	215	2686	564	496	104
V2	174	22	389	50	875	113	211	27

Uit tabel 11 blijkt dat de totale P-fixatiecapaciteit (bepaald door (Al+Fe)ox) in het substraat met K5 (V2K5) veel hoger is dan in puur veen (V2). In mindere mate geldt dit ook voor het substraat met K1 (V2K1), die op volumebasis ook een hoger gehalte aan (Al+Fe)ox heeft dan V2. Dit betekent dus dat de hiervoor gegeven suggestie over de vastlegging van P door Fe- en Al-verbindingen in de substraten met klei (vooral K5) zeer aannemelijk is. Aan het eind van de proef was de hoeveelheid beschikbare P (bepaald met de P-AL-methode) en de gefixeerde hoeveelheid geadsorbeerde P in V2K5 veel hoger dan in V2. Deze resultaten komen goed overeen met die van de verschillen in uitspoeling tussen de objecten. Er kunnen echter geen uitspraken worden gedaan over de veranderingen in de P-voorraad in de substraten tijdens de uitspoelingsproef, omdat er geen P-analyses zijn verricht in de substraten voor aanvang van de proef.

Een belangrijke vraag is in hoeverre de gefixeerde P (Pox) later weer beschikbaar kan komen voor planten. Volgens Koopmans (2004) is dit wel het geval, maar dit zal alleen gebeuren bij lage P-concentraties in het bodemvocht. Bij deze P-niveaus zal de groei van planten waarschijnlijk worden geremd.

De effecten van kleitoevoeging op de concentraties van kat- en anionen in het uitgespoelde bodemvocht, betekent ook dat de cumulatieve hoeveelheden die zijn uitgespoeld worden beïnvloed door kleitoevoeging (bijlage 5). De uitgespoelde hoeveelheden K, NH<sub>4</sub> en P zijn in de substraten met de kleitoevoegingen veel lager dan bij het gebruik van puur veen. De uitgespoelde hoeveelheid K uit de mengsels varieerde tussen 60 en 67% van die uit puur veen, voor NH<sub>4</sub> was dat 58-61% en voor P 47-71%.

### 3.2.7 Modelmatige beschrijving

#### 3.2.7.1 Algemeen

Zoals al eerder is aangegeven was het doel van de modelmatige beschrijving om het effect van kleitoevoeging op het chemische gedrag en de beschikbaarheid van nutriënten in potgrond te kwantificeren. Daarbij kan onderscheid gemaakt worden gemaakt tussen de i) teelt- en ii) de vensterbankfase.

Voor de teeltfase is vooral het effect van kleitoevoeging op de concentratie van kat- en anionen in de bodemoplossing van belang. Dit is voor verschillende kleien uitgezocht in het onderdeel over de samenstelling van bodemvocht (o.a. tabel 10). Op basis van de verzamelde informatie kunnen relaties tussen de toegediende hoeveelheid klei en de concentratie van verschillende ionen worden afgeleid. Zo kan voor toedieningen tussen 0 en 10% klei grafisch worden afgeleid wat de verwachte concentratie van een bepaald element in het bodemvocht zal zijn (bijlage 8). In principe kunnen deze relaties ook worden vertaald in formules.

Voor de vensterbankfase is het effect van kleitoevoeging op de nalevering van kat- en anionen van belang. Dit is bijvoorbeeld van belang i) als het gewas nog wel doorgroeit en dus nutriënten opneemt, terwijl er geen nutriënten meer worden aangevoerd of ii) bij uitspoeling van nutriënten, wat leidt tot een lager zoutniveau. De laatste situatie is nader onderzocht in de uitspoelingsproef, waarvan de resultaten in de voorgaande paragraaf zijn beschreven.

Voorafgaand aan de uitspoelingsproef zijn reeds modelberekeningen uitgevoerd met een chemisch evenwichtsmodel (Parkhurst & Appelo, 1999). Deze berekeningen beschreven het verwachte verloop van de NH<sub>4</sub>-concentratie in substraten met een verschillende CEC, waarbij een aantal aannames zijn gedaan ten aanzien van de kationenbezetting en de concentratie in het bodemvocht (fig. 12). Uit de figuur blijkt dat voor de beschreven modelsituatie de ammoniumconcentratie in het bodemvocht in grond met de hoge CEC in eerste instantie veel lager was dan in grond met de lage CEC, maar dat dat na verloop van tijd omgekeerd was. Wel moet worden opgemerkt dat dit pas gebeurt nadat het zoutniveau en ook de ammoniumconcentratie van het bodemvocht sterk is gedaald en dat het verschil in de ammoniumconcentratie tussen grond met een lage en een hoge CEC op het eind van het gesimuleerde experiment klein was.

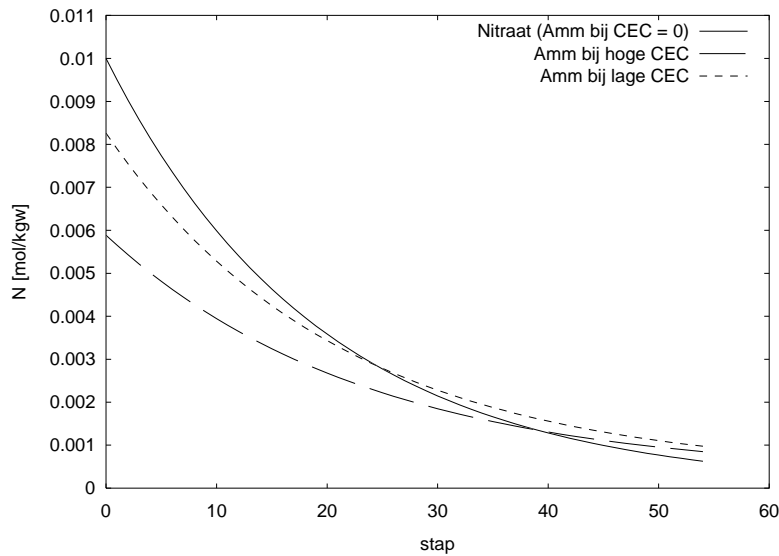
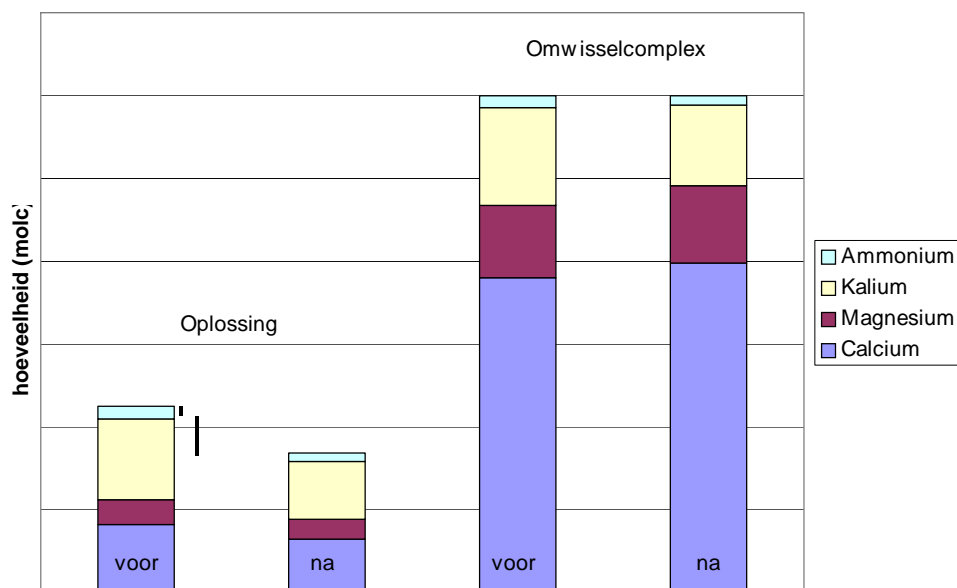


Fig. 12. Het berekende verloop van de ammoniumconcentratie in bodemvocht gedurende 55 uitspoelingsstappen bij een CEC van 0, een lage en een hoge CEC.

In de figuren 10 en 11 is weergegeven hoe de gemeten concentratie in het bodemvocht gedurende de uitspoelingsproef voor de verschillende nutriënten is verlopen. Hieruit blijkt dat:

- Er verschillen zijn tussen kleien in het effect op de nutriëntenconcentratie in bodemvocht en het verloop ervan. Zo verlaagt toediening van K1 de  $\text{NH}_4^-$  en K-concentratie sterker dan K5, terwijl K5 de P-concentratie sterker verlaagt.
- Er grote verschillen zijn tussen nutriënten in het effect van kleitoediening. Zo wordt de  $\text{NH}_4^-$ , K- en P-concentratie in het bodemvocht sterk verlaagd door kleitoediening, terwijl de Ca-concentratie wordt verhoogd en de Mg- en S-concentratie niet sterk wordt beïnvloedt door de kleitoediening.
- Het 'omkeringseffect', waarbij objecten met een hoge CEC in eerste instantie zorgen voor een lagere  $\text{NH}_4^-$  concentratie en in de loop van het experiment tot een hogere  $\text{NH}_4^-$  concentratie in het bodemvocht dan in objecten met een lage CEC (zie resultaten modelberekening, fig. 12), werd niet gevonden in de proeven.

De situatie waarbij planten specifiek nutriënten uit de voedingsoplossing onttrekken is nog niet onderzocht in proeven, aangezien dat niet mogelijk is in proeven zonder de aanwezigheid van planten. Met het chemisch evenwichtsmodel is dit al eens gesimuleerd (zie fig. 15 Bulle et al. (2002)) en hieruit bleek dat een opname van  $\text{NH}_4^-$  en K uit de bodemoplossing werd gevolgd door een nalevering vanaf het adsorptiecomplex (figuur 13).



Figuur 13. Concentratie van kationen in bodemoplossing en aan het adsorptiecomplex voor en na opname van ammonium en kalium, volgens berekeningen met een chemisch evenwichtsmodel.

Allereerst valt bij een beschouwing van figuur 13 op dat de hoeveelheid nutriënten in de oplossing kleiner is dan de hoeveelheid aan het adsorptiecomplex (de laatste heeft een grotere totale kolomhoogte). Daarnaast valt op dat de hoeveelheden calcium en magnesium aan het adsorptiecomplex ten opzichte van kalium en ammonium groot zijn. Dit wordt veroorzaakt doordat de tweewaardige kationen sterker aan het adsorptiecomplex worden gebonden dan eenwaardige kationen. Nu is berekend wat het gevolg is van onttrekking van de halve hoeveelheid kalium en ammonium uit de oplossing. Deze hoeveelheden zijn nog eens weergegeven als een balkje naast de "voor"-kolom van de oplossing. Het effect van deze nutriëntenopname is weergegeven in de kolommen met de "na"-markering. De totale hoeveelheid nutriënten in de oplossing daalt, maar die aan het adsorptiecomplex blijft constant! De hoeveelheid kalium en ammonium in de oplossing neemt af, maar niet zo drastisch. Dit komt doordat het adsorptiecomplex kalium en ammonium wisselt voor calcium en magnesium uit de oplossing: opname van kalium en ammonium leidt ook tot vermindering van de hoeveelheid calcium en magnesium in de oplossing. De opname van kalium en ammonium wordt dus gebufferd door het adsorptiecomplex.

Het proces van buffering en nalevering is sterker en kan langer doorgaan bij een hogere CEC. Dit betekent dat kleitoevoeging aan potgrond tot een grotere nalevering van kationen kan leiden bij een selectieve onttrekking van die kationen uit de voedingsoplossing. Het is gewenst dat deze nalevering van specifieke kationen door een selectieve onttrekking ervan uit de bodemoplossing in de toekomst wordt getoetst in proeven met planten.

### 3.2.7.2 Effect van klei op de kationenconcentratie in het bodemvocht

Op basis van de theoretische kennis en de proefresultaten lijkt geconcludeerd te kunnen worden dat de effecten van kleitoevoeging op de concentratie van kationen in het bodemvocht en het verloop ervan wordt bepaald door een gecombineerd effect van i) de CEC en ii) de kationenbezetting van de toegediende klei aan het veen. Bij een kwantificering van deze effecten dient de nadruk te liggen op het effect op het gehalte in het bodemvocht direct na toediening, aangezien de afname van de concentratie door uitspoeling voor de objecten op vergelijkbare wijze verloopt. Daarom is hierna getracht een relatie af te leiden tussen de concentratie van kationen in het bodemvocht van bemeste veen/kleimengsels enerzijds en eigenschappen van de toegediende kleien anderzijds (tabel 11). Daarbij is gebruik gemaakt van multiple lineaire regressie op basis van de afzonderlijke metingen in het bodemvocht (bijlage 8) en gemiddelde gegevens van CEC en de kationenbezetting van de (onbemeste) kleien, die is uitgevoerd met het statistische pakket Genstat 5 (Genstat 5 Committee, 1994).

Tabel 12. Ionconcentratie in het bodemvocht van bemeste mengsels van veen (V2) met 100 kg klei per m<sup>3</sup> klei (gemiddeld per object) en CEC en kationenbezetting van de pure, onbemeste kleien die zijn gebruikt voor de mengsels.

Parameter	kleien				
	K1	K2	K3	K4	K5
<i>Concentratie in bodemvocht van bemeste mengsels van veen (V2) met 100 kg klei per m<sup>3</sup>, mg/l vocht</i>					
N-NO3	20.2	23.7	25.8	23.0	17.2
N-NH4	5.5	12.4	11.4	6.7	4.3
Ca	13.1	15.0	15.0	17.8	14.9
K	21.5	34.3	39.5	19.2	18.9
Mg	7.5	7.5	8.3	8.3	5.1
Na	4.0	3.5	3.0	4.3	4.0
P	6.5	6.4	7.9	6.2	3.5
S	14.0	18.7	18.0	15.1	12.5
<i>CEC van pure kleien bij actuele pH, cmol(+)/kg</i>					
CEC	9.3	13.9	8.1	30.5	21.6
<i>Kationenbezetting van pure kleien bij actuele pH, % van CEC</i>					
Na	0.6	1.3	0.9	0.6	0.8
K	0.8	2.6	2.1	2.4	2.6
Ca	82.2	80.1	80.6	56.1	84.3
Mg	16.3	15.6	15.5	40.9	12.2

Naast de CEC zal de kationenbezetting van de kleien van invloed zijn op de concentraties van de afzonderlijke kationen in het bodemvocht. Voor de concentratie van de kationen K, NH<sub>4</sub>, Ca en Mg in het bodemvocht zal de bezettingsgraad van dezelfde kationen aan het complex van belang zijn. De relaties zijn als volgt gekwantificeerd (zie ook bijlage 12):

$$\begin{aligned}
 \text{K-concentratie (mg/l)} &= 22.29 - 0.864 * \text{CEC klei (cmol(+)/l)} + 7.24 * \text{K/CEC} & R^2 = 68.8 \\
 \text{NH}_4\text{-concentratie (mg/l)} &= 9.43 - 0.143 * \text{CEC klei (cmol(+)/l)} + 0 * \text{NH}_4\text{/CEC} & R^2 = 8.1 \\
 \text{Mg-concentratie (mg/l)} &= 20.01 - 0.1552 * \text{CEC klei (cmol(+)/l)} - 0.1449 * \text{Mg/CEC} & R^2 = 88.6 \\
 \text{Ca-concentratie (mg/l)} &= 10.73 + 0.0695 * \text{CEC klei (cmol(+)/l)} - 0.0610 * \text{Ca/CEC} & R^2 = 36.2
 \end{aligned}$$

Daarnaast is ook nog gekeken naar de invloed van de korrelgrootteverdeling van de kleien (figuur 5) op de concentraties van kationen in het bodemvocht van mengsels van veen en klei. Deze relatie bleek niet significant te zijn (resultaten niet getoond), waardoor het percentage verklaarde variantie slechts in een geval werd verhoogd, terwijl het in de andere drie gevallen werd verlaagd.

Opgemerkt moet worden dat deze relaties alleen van toepassing zijn voor de omstandigheden zoals die in de proef zijn aangelegd. Daarbij gaat het om het toegepaste bemestings- en bekalkingsniveau, het kleigehalte van 100 kg per m<sup>3</sup> en de meting in het bodemvocht na een 1:5 (v/v) extractie met water.

Uit de formules blijkt dat de geselecteerde eigenschappen van de toegediende kleien (CEC en kationenbezetting) de ionconcentraties in het bodemvocht voor K en Mg goed, voor Ca matig en voor NH<sub>4</sub> slecht beschrijven. De voorspelling van de NH<sub>4</sub>-concentratie in het bodemvocht is vooral slecht doordat de NH<sub>4</sub>-concentratie in het substraat met K1 sprake was van een relatief lage NH<sub>4</sub>-concentratie, terwijl de CEC laag was. Mogelijke oorzaken van een matige tot slechte relatie tussen de CEC en kationenbezetting van de kleien en de kationenconcentratie in het bodemvocht van de bemeste mengsels zijn:

- De dataset was erg klein, waardoor verschillen tussen duplo-metingen sterk doorwerken in het resultaat.
- Voor het voorspellen van de Ca-concentratie in het bodemvocht van de bemeste (en bekalkte) mengsels is het van belang te realiseren dat er in die situatie sprake was van een Ca-overmaat. Er zal sprake zijn geweest van Ca-neerslagen (o.a. in de vorm van Ca-carbonaten), waardoor de CEC en de Ca-bezetting van minder groot belang zijn voor de Ca-concentratie in het bodemvocht.
- Voor het voorspellen van de NH<sub>4</sub>-concentratie in de bodemoplossing zou ook de NH<sub>4</sub>-bezetting van het complex van de onbemeste kleien bekend moeten zijn. Deze is echter niet gemeten. Gezien het gedrag van NH<sub>4</sub> in bodemsystemen is aangenomen dat die in de onbemeste kleien gelijk was aan 0. Het lijkt erop dat de vastlegging van NH<sub>4</sub> door K1 relatief hoog was. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat sprake is van fixatie van NH<sub>4</sub> in illiet, waarvan het aandeel in K1, met 70% van de kleifraction,

relatief hoog was. De kans hierop is echter niet zo groot, omdat in dat geval ook K zou zijn gefixeerd. En dat was niet aan de orde.

### 3.2.7.3 Effect van klei op de anionenconcentratie in het bodemvocht

Er was ook een effect van kleitoediening op de concentratie van anionen (met name P) in de bemeste mengsels van klei en veen. Zoals eerder is aangegeven wordt het effect van kleitoediening op de P-concentratie in het bodemvocht hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door de vorming van slecht oplosbare P-verbindingen met Fe en/of Al. Dit is aannemelijk gemaakt door duidelijke verschillen in het P-fixerend vermogen van de substraten V2, V2/K1/100 en V2/K5/100, en door de significante relatie tussen de P-concentratie in oplossing in de uitspoelingsproef enerzijds en het gehalte aan Al- en Fe-(hydr)oxiden anderzijds (tabel 13).

Tabel 13. P-concentratie in het water na de eerste keer uitspoelen in de uitspoelingsproef (gemiddeld per object) en het Al- en Fe-gehalte bepaald met de ammonium oxalaat oxaalzuur-extractie van drie substraten.

object	P-concentratie in uitgespoelde water, mg P/l	Ammonium oxalaat oxaalzuur extractie van substraten	
		Alox(mg/l)	Feox(mg/l)
V2/K1/100 bemest	70	94	160
V2/K5/100 bemest	43	215	564
V2 bemest	137	50	113

De relatie tussen de P-concentratie in het uitgespoelde water in de uitspoelingsproef enerzijds en de Al- en Fe-gehalten bepaald met de ammonium oxalaat oxaalzuur-extractie in de substraten anderzijds is weer afgeleid met multiple lineaire regressie van de data van afzonderlijke waarnemingen (bijlage 13), die is uitgevoerd met Genstat (bijlage 14). Het verband luidt als volgt:

$$P\text{-concentratie (mg P/l)} = 169.2 - 1.663 * Alox \text{ (mg/l)} + 0.406 * Feox \text{ (mg/l)} \quad R^2 = 88.9$$

Deze relatie is zeer significant ( $P < 0.05$ ) en dat geldt ook voor de afzonderlijke effecten van Al en Fe. Ook hier geldt weer dat deze relatie uitsluitend van toepassing is voor de omstandigheden in de proef. In dit geval gaat het om de uitspoelingsproef, waarin de kolommen zijn gevuld met de bemeste en bekalkte substraten (puur veen of mengsels met 100 kg klei), die vervolgens op vochtgehalte zijn gebracht met een voedingsoplossing. De concentraties in tabel 13 zijn gemeten in het uitgespoelde bodemvocht nadat een keer 50 ml leidingwater op de kolommen is aangebracht.

Het lijkt van groot belang dat het P-fixerend vermogen en de P-verzadigingsgraad (het deel hiervan wat met P verzadigd is) van de kleien in de toekomst bepaald wordt, zodat een inschatting kan worden gemaakt van het effect van kleitoediening op de P-concentratie in het bodemvocht van veen-kleimengsels. Het P-fixerend vermogen kan worden bepaald door de som van amorfe Al- en Fe-(hydr)oxiden.

## 3.3 Conclusies en aanbevelingen

In het in dit hoofdstuk beschreven onderzoek zijn de effecten van toevoeging van klei aan potgrond op de chemische eigenschappen van die potgrond duidelijker geworden.

- Er is vastgesteld dat er aanzienlijke verschillen zijn tussen de kleien die op de markt zijn. Het gehalte aan kleideeltjes in de fabriekskleien en de aanwezige kleimineralen verschilt aanzienlijk. Op basis van deze kennis over waardegevend bestanddelen worden verschillen in functionele eigenschappen, zoals het chemisch gedrag, van de kleien verwacht.
- Vastgesteld is dat er aanzienlijke verschillen zijn in de kationuitwisselcapaciteit (CEC) en de kationenbezetting tussen de kleien. Dit leidt ook tot aanzienlijke verschillen tussen de mengsels van veen met de verschillende kleien. Toevoeging van klei leidt in alle gevallen tot een verhoging van de CEC, maar bij sommige kleien is dit effect groter dan bij andere.
- Er zijn ook aanzienlijke effecten van kleitoevoeging aan veen op de concentraties van kat- en anionen in de bodemoplossing. In bemeste substraten leidt kleitoevoeging steeds tot een verlaging van de K-,  $\text{NH}_4$ - en P-concentratie en een verhoging van de Ca- en (in mindere mate) Mg-concentratie in de bodemoplossing.



- In een uitspoelingsproef kwamen de hiervoor beschreven effecten heel duidelijk terug. Het gevolg is dat kleitoevoeging de uitspoeling van K, NH<sub>4</sub> en P beperkt, terwijl het de uitspoeling van Ca en Mg verhoogt. De K en NH<sub>4</sub> die in de grond achterblijven kunnen in principe weer beschikbaar komen voor planten door uitwisseling tegen andere kationen. Voor P is onduidelijk of dit mogelijk is.

Het grote effect van kleitoevoeging op de concentraties van voedingsstoffen in de bodemoplossing dat in het detailonderzoek is aangetoond, zou aanzienlijke effecten op de groei van potplanten kunnen hebben, als sprake is van concentraties van voedingsstoffen waarbij de gewasgroei niet ongelimiteerd is. Via dit principe kan de groei en ontwikkeling van potplanten mogelijk worden gestuurd. Het lijkt zinvol deze sturingsmogelijkheden in vervolgonderzoek nader te bestuderen. Daarbij zijn de effecten van kleitoevoeging op de concentratie van ammonium, kalium en fosfaat in de bodemoplossing het meest interessant.

Daarnaast kan de kleitoevoeging vooral van belang zijn in de vensterbankfase, als voedingsstoffen selectief uit de bodemoplossing worden opgenomen. De voedingsstoffen die uit de bodemoplossing worden onttrokken kunnen worden aangevuld door nalevering vanaf het adsorptiecomplex. Dit effect zal groter zijn in substraten met klei, aangezien de CEC daar hoger is dan in substraten zonder klei. Ook dit zou in vervolgonderzoek met planten uitgezocht moeten worden. Daarbij lijken vooral de opties waarbij relatief grote hoeveelheden ammonium en kalium aan het adsorptiecomplex aanwezig zijn het meeste voordeel voor substraat met klei op te kunnen leveren. Voorbehoud is dat een voedingsoplossing beschikbaar moet zijn waarmee dat kan worden gerealiseerd en dat voorkomen moet worden dat het (instabiele) ammonium via nitrificatie snel wordt omgezet in nitraat. Dit kan mogelijk worden gerealiseerd door toepassing van een nitrificatieremmer.

Karakterisering van kleien voor het gebruik in substraten dient te gebeuren door:

- Het bepalen van de CEC en de kationenbezetting van de kleien,
- Bepaling van de P-fixatiecapaciteit en de P-verzadigingsgraad,
- Eventueel het bepalen van de mineralogie van de kleien. Deze bepaling is aanvullend aan de bepaling van de CEC en geeft informatie over de kans op het optreden van K- en/of NH<sub>4</sub>-fixatie.

## 4 Pilotproef Begonia

De resultaten uit het fysisch onderzoek geven de richting aan voor een modelmatige beschrijving en kwantificering van het effect van klei waarbij het type en de hoeveelheid klei, alsmede de overige bestanddelen van het substraat als basis variabelen dienen. Het gaat hierbij om een beschrijving van:

- lucht-/vochthoudding van substraat,
- het bufferend vermogen (CEC/AEC) van het substraat in relatie tot de aanvoer van nutriënten.

Onderstaande pilotproef met Begonia diende als eerste test van de modellen.

Het doel van de proef was na te gaan of en op welke manier klei in potgrond de houdbaarheid van potplanten beïnvloed. Algemeen is de vraag hoe de fysische en de chemische eigenschappen de houdbaarheid beïnvloeden. Klei zal zowel een effect hebben op de chemische als de fysische eigenschappen van de potgrond.

### 4.1 Materialen en Methoden

#### 4.1.1 Fysisch

In een Begonia teelt zijn de fysische effecten bestudeerd door de volgende behandelingen aan te houden:

- Drie fysisch verschillende potgronden, die ontstaan door 0, 100 g/l fijne klei of 100 g/l grove klei (respectievelijk kleisoort 5 en 7) bij te mengen aan veen (V2).
- Twee verschillende 'vochtranges' aanhouden van ca. 50-70 vol. % en 25-45 vol. %. De watergift is uitgevoerd met druppelaars. Het vochtgehalte (FD sensor) is 3 keer per week (per behandeling 6 planten) gemeten en bij een gemiddeld vochtgehalte lager dan de minimum grens is watergegeven.



*Fig.14. Het meten van het vochtgehalte tijdens de teelt met een FD sensor.*

#### 4.1.2 Chemisch

Om de chemische aspecten te bestuderen zijn de volgende behandelingen aangehouden:

- Vier chemisch verschillende potgronden, die ontstaan door 0, 100 g/l (fijne=poeder) klei met een hoge CEC en 100 g/l van dezelfde klei maar gegraneerd (respectievelijk kleisoort 5 en 7) en een klei met een lage CEC (kleisoort 1).
- Twee duidelijk verschillende K/Ca verhoudingen (normaal en hoog) in de voedingsoplossing (tijdens de teelt).

#### 4.1.3 Teelt

Per behandeling zijn er drie herhalingen van ieder 10 planten. De start van de teelt was in augustus 2003 en duurde 12 weken.

In het fysische deel is er een standaard K/Ca verhouding aangehouden in de voedingsoplossing.

In de proef met de chemische aspecten is er geteeld bij een hoog vochtgehalte met een eb-vloed systeem (vocht 50-70 %).

Aan het einde van de teelt zijn de volgende waarnemingen gedaan:

- planten beoordeling op bloeistadium en gewicht
- potten bulkdichtheid en pF-curve van 'hele' potten (fysisch deel)
- CEC en kationenbezetting van het adsorptiecomplex aan het begin en het eind van de teelt en aan het eind van de houdbaarheidsfase (chemisch deel).

#### 4.1.4 Houdbaarheid

Gedurende 10 weken is bekeken hoe de planten zich gedroegen aangaande houdbaarheid. Voor de houdbaarheid zijn planten geselecteerd uit de behandelingen met een vergelijkbaar bloeistadium. De behandelingen met fysisch verschillende potgronden hebben 10 minuten water gehad via het eb-vloed-systeem. Inzet van houdbaarheid is uitgevoerd na een transportsimulatie gedurende 7 dagen in een donkere cel bij een temperatuur van 15 °C en relatieve luchtvochtigheid van 70%. Planten waren niet ingehoesd en stonden in trays.

Na de transportsimulatie zijn de planten in de uitbloeiruimte geplaatst bij standaard uitbloei-omstandigheden. Dit betekent een temperatuur 20 °C, een relatieve luchtvochtigheid van 60% en een lichtintensiteit van 14  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  gedurende 12 uur per etmaal. De planten kregen regenwater (zonder voeding) naar behoefte via een eb-vloed-systeem. Alle behandelingen kregen even vaak water met eb-vloed, alleen planten die tussentijds erg droog waren hebben handmatig extra water gekregen.

De planten zijn één keer per week beoordeeld op de volgende aspecten:

- bloem- en knopval
- sierwaarde
- ziekte, o.a. voet- en takrot, luis, meeldauw

Voor de beoordeling zijn onderstaande scores gebruikt:

##### **Bloem- en knopval en bruine bloemen:**

- 0 = geen afgevallen bloemen en knoppen, geen bruine bloemen
- 1 = enkele afgevallen bloemen / knoppen, enkele bruine bloemen
- 2 = 3-5 afgevallen bloemen / knoppen, 3-5 bruine bloemen
- 3 = 6-10 afgevallen bloemen / knoppen, 6-10 bruine bloemen
- 4 = meer dan 10 afgevallen bloemen / knoppen, meer dan 10 bruine bloemen

##### **Sierwaarde**

- 5 = zeer goed; geen uitbloeiverschijnselen en/ of schade
- 4 = goed; lichte verschijnselen van veroudering
- 3 = matig / voldoende; duidelijke verschijnselen van veroudering
- 2 = slecht; veel veroudering en/of duidelijke schade door ziektes
- 1 = zeer slecht; zeer veel veroudering / minder dan 5 bloemen over / grote problemen met ziektes; het moment waarop je zelf de plant als consument weg zou gooien.

##### **Voet- en takrot, meeldauw, luis**

In geval van ziekte is de datum genoteerd waarop dit zichtbaar werd.

Op het moment dat een plant geen sierwaarde meer had, is deze weggegooid. Planten zijn hiervoor drie keer per week beoordeeld.

#### Tijdschema

- 10 november – planten uit de kas gehaald en vervoerd van Naaldwijk naar Aalsmeer
- 17 november – planten uit transportsimulatie gehaald en in uitbloeiruimte geplaatst
- 22 januari – laatste beoordeling voor bloei en sierwaarde
- Na de laatste beoordeling hebben de planten 4x15 minuten water gekregen via eb-vloed, steeds met 1 uur ertussen. Daarna hebben de planten geen water meer gekregen, en is waargenomen wanneer ze slap werden.

## 4.2 Resultaten en discussie

### 4.2.1 Fysisch

Gedurende de teelt is het vochtgehalte van de fysische behandelingen nauwgezet gevolgd en gestuurd. In fig. 15 het gemiddelde verloop van de droge en natte behandelingen.

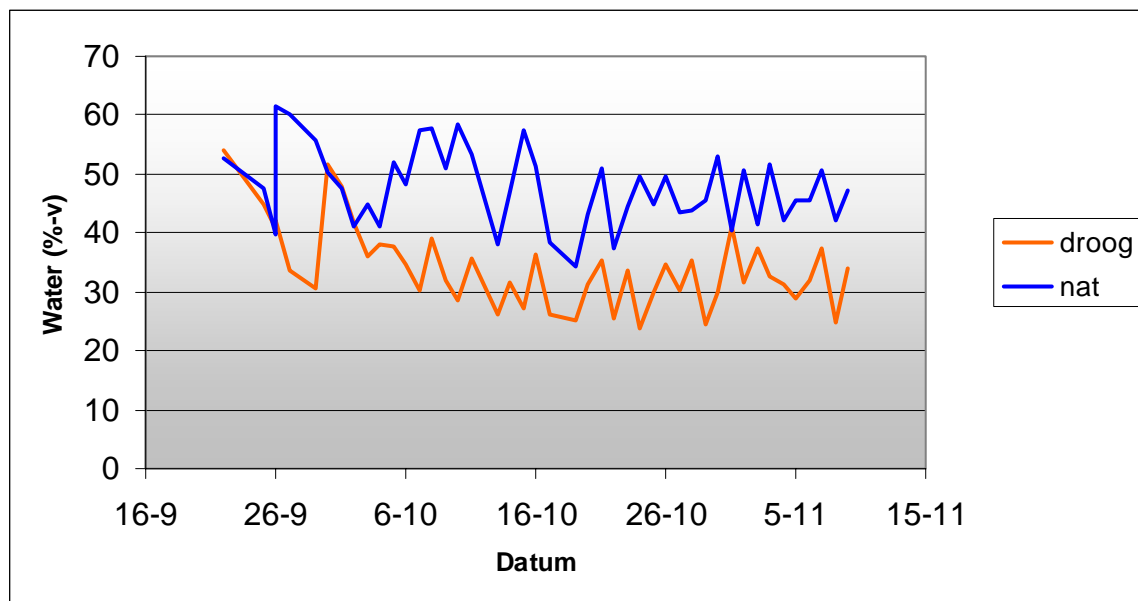


Fig. 15. Het gemiddelde watergehalte zoals gemeten tijdens de teelt met een FD sensor van de droge en de natte behandeling.

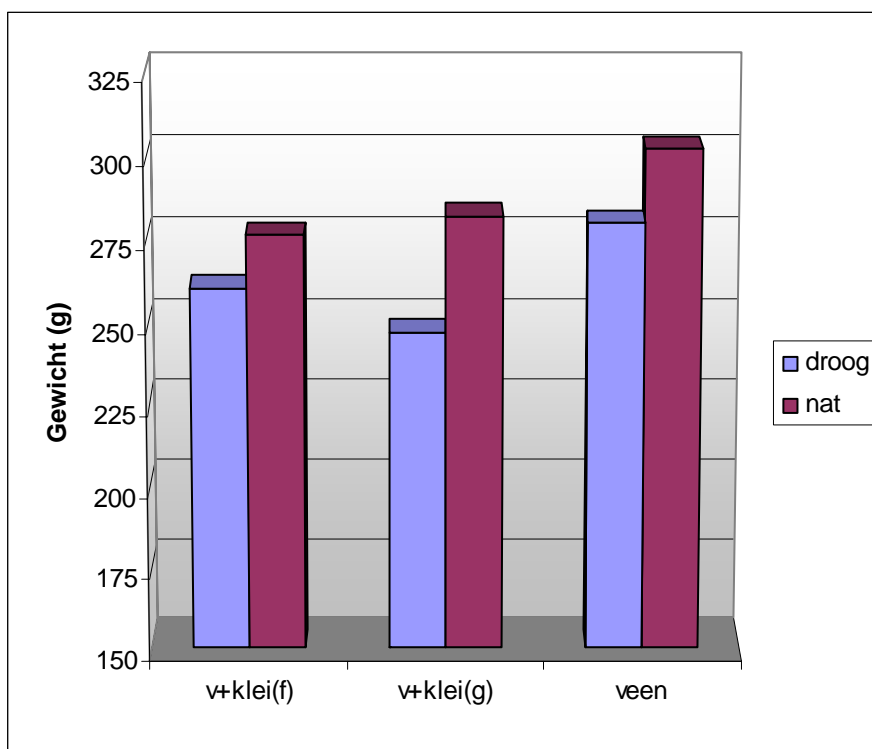


Fig. 16. Gewicht (totaal) van de begonia planten aan het einde van de teelt (v=veen, f=fijn, g=gegranuleerd, lsd 95% = 25 g).

Tabel 14. Resultaten van de Begonia planten aan het einde van de teelt

	Droog/Nat	Lengte	Breedte	Gewicht
Klei		cm	cm	g
-	Droog	33.1	22.5	280
fijn	Droog	33.4	22.2	260
grof	Droog	33.5	21.1	247
-	Nat	34.8	21.4	302
fijn	Nat	34.3	21.7	276
Grof	Nat	33.6	21.2	282
Lsd (95%)		1.0	1.0	25

In tabel 14 en fig. 16 staan de resultaten van de begonia planten. Ook zijn de droge stof, bloeistadium en het gewicht van de bloemen bepaald maar daar zijn geen significante verschillen voor gevonden.

Nat telen geeft een langere smallere plant met een hoger gewicht. Het toevoegen van klei heeft tot gevolg dat er bij droger telen de groei meer geremd wordt. De oorzaak hiervan is onduidelijk en kan zowel van fysische als van chemische aard zijn. Een verklaring vanuit de fysische eigenschappen van de potgrond is dat het verschil in drukhoogte tussen de mengsels bij een lager vochtgehalte groter is dan bij een hoog vochtgehalte (figuur 2). Aangezien de P-, K- en  $\text{NH}_4$ -concentraties in de voedingsoplossing van substraten met klei (vooral met de hier gebruikte K5) lager waren dan in alleen veen, kunnen echter ook chemische eigenschappen hebben gezorgd voor de groeiremming (tabel 10; bijlage 16).

De fysische analyse van de potten geeft een indruk van de werkelijk gerealiseerde fysische karakteristiek (bijlage 15). Er is geen noemenswaardig verschil tussen droog en nat telen te zien. De beschikbaarheid van het water lijkt bij de toevoeging van klei al bij -100 cm drukhoogte minder te worden. De bulkdichtheden liggen in de lijn van de resultaten zoals gevonden in de 'verse' mengsels (tabel 1). De verschillen worden veroorzaakt door resten van de plantplug en de wortels.

#### 4.2.2 Chemisch

De resultaten van het bloeistadium en bloemgewicht laten slechts in beperkte mate significante verschillen zien. Tussen de aangelegde K/Ca-verhoudingen zijn geen significante verschillen gevonden in lengte, breedte en gewicht (tabel 15 en fig. 17). Bij de standaard K/Ca-verhouding leidt de klei met een hoge CEC tot een significant hoger gewicht dan de referentie zonder klei en de de klei met de lage CEC. Dit is tegengesteld aan de verwachting, aangezien de klei met hoge CEC de concentratie aan P en K in de voedingsoplossing even sterk of sterker verlaagde dan de klei met lage CEC (bijlage 16). Overigens is het ook hier mogelijk dat fysische effecten een rol hebben gespeeld bij het optreden van verschillen in groei tussen substraten. Op het moment van bloeien zijn geen effecten gevonden.

Aan het begin en aan het einde van de teelt zijn de potgronden chemisch geanalyseerd (1:1.5, bijlage 16). De niveaus waren lager dan de normale gehalten bij deze teelt. De aangelegde K/Ca verhoudingen zijn duidelijk zichtbaar. Opvallend zijn de hoge ijzerniveaus bij alle kleitoevoegingen en het lage fosfaatgehalte bij de toevoeging van klei 5 en 7. Dit laatste kwam overeen met de bevindingen uit hoofdstuk 3 (3.2.5, tabel 10 en 3.2.6, figuur 11). De CEC bepaling van de mengsels was moeilijk uit te voeren doordat er veel organische stof bleef drijven wat afgevoerd werd met het decanteren. Dit was overigens ook het geval bij de CEC-bepalingen die in hoofdstuk 3 zijn beschreven. De resultaten (bijlage 17) geven aan dat de gewenste K/Ca-concentraties in de bodemoplossing en niveau verschillen wat betreft CEC gerealiseerd zijn.

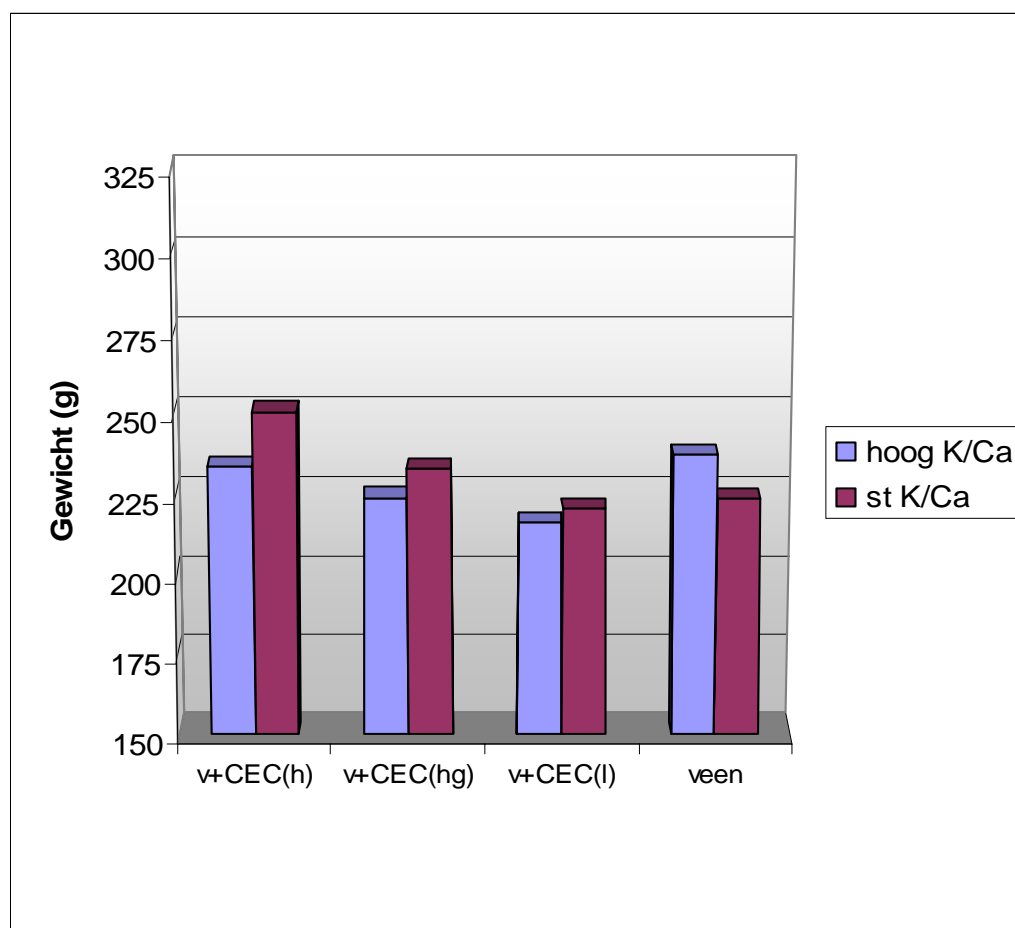


Fig. 17. Gewicht (totaal) van de begonia planten aan het einde van de teelt (v=veen, h=is hoog, l=laag, g=gegranuleerd, lsd 95% = 25 g).

Tabel 15 . Resultaten van de Begonia planten aan het einde van de teelt

	K/Ca	Lengte	Breedte	Gewicht
Klei		cm	cm	g
-	Standaard	34.3	23.6	224
CEC laag	Standaard	33.4	22.2	221
CEC hoog	Standaard	34.3	24.2	251
CEC hoog gegranuleerd	Standaard	33.9	23.1	234
-	Hoog	34.4	23.3	238
CEC laag	Hoog	33.6	23.2	217
CEC hoog	Hoog	34.7	23.9	234
CEC hoog gegranuleerd	Hoog	34.3	23.8	224
Lsd (95%)		1.1	1.6	25

### 4.2.3 Uitbloeioproeven

Op het moment dat de planten uit de transportsimulatie zijn gehaald, zijn geen bijzonderheden waargenomen. Er waren geen verschillen in bloei, bruine bloemen of sierwaarde te zien tussen de behandelingen.

De eerste verschijnselen van bloem- en knopval en van het bruin worden van bloemen waren na 1.5 week te zien (fig. 18 en bijlage 18). Na 2.5 week (op 4-12) zijn hierin verschillen tussen behandelingen waargenomen. Het optreden van bloem- en knopval en bruine bloemen is terug te zien in de sierwaarde. De droge behandelingen veen zonder klei en veen met fijne klei vertonen iets meer bloem- en knopval en vooral de droge behandeling veen zonder klei heeft daardoor een minder goede sierwaarde. Bij de chemische behandelingen vallen de planten geteeld met een hoge K/Ca verhouding in substraten met klei met een hoge CEC (zowel in de fijne als de grove sortering) op want zij vertonen minder bloem- en knopval en hebben relatief gezien een betere sierwaarde.

Na 3.5 week (op 11-12) waren van alle behandelingen bijna alle bloemen afgevallen. De sierwaarde was voor alle behandelingen op dat moment zeer slecht. Omdat er nauwelijks meer bloemen te zien waren, waren er ook niet veel bruine bloemen meer.

In de daarop volgende weken hebben planten zich hersteld. Van de nog aanwezige knoppen kwam nog een groot deel open, ondanks de geringe hoeveelheid licht in de uitbloeiruimte. Tussen de behandelingen zijn verschillen gezien in het herstel, hoewel de spreiding erg groot was. Ook hier vallen de planten op de droge behandeling op veen zonder klei op door het geringe aantal bloemen dat na een herstel van 6 weken weer bloeit. De natte behandeling op gegranuleerde klei herstelde het best met gemiddeld 43 bloemen. Van de chemische behandelingen herstelden de planten in puur veen bij een hoge K/Ca verhouding en bij een standaard K/Ca verhouding de planten in gegranuleerde klei met een hoge CEC zich slecht. De planten in puur veen bij een standaard K/Ca verhouding en bij een hoge K/Ca verhouding de planten in gegranuleerde klei met een hoge CEC herstelden zich opvallend goed.

Nadat planten vanaf 22 januari geen water meer hadden gekregen, zijn de eerste slappe planten waargenomen op 30 januari. De laatste planten waren allemaal slap op 6 februari.

De planten die droog opgeteeld zijn gaan minder snel slap, zij hebben echter ook het minste volume en daardoor ook waarschijnlijk minder verdamping. Bij de substraten valt op dat klei toevoeging tot gevolg heeft dat de planten eerder slapgaan. Dit heeft mogelijk met de vochtbuffer (bijlage 5) te maken welke ook wat minder is. Bij de chemische behandelingen valt op dat planten geteeld met een standaard K/Ca verhouding minder snel slapgaan dan met een hoge K/Ca verhouding.

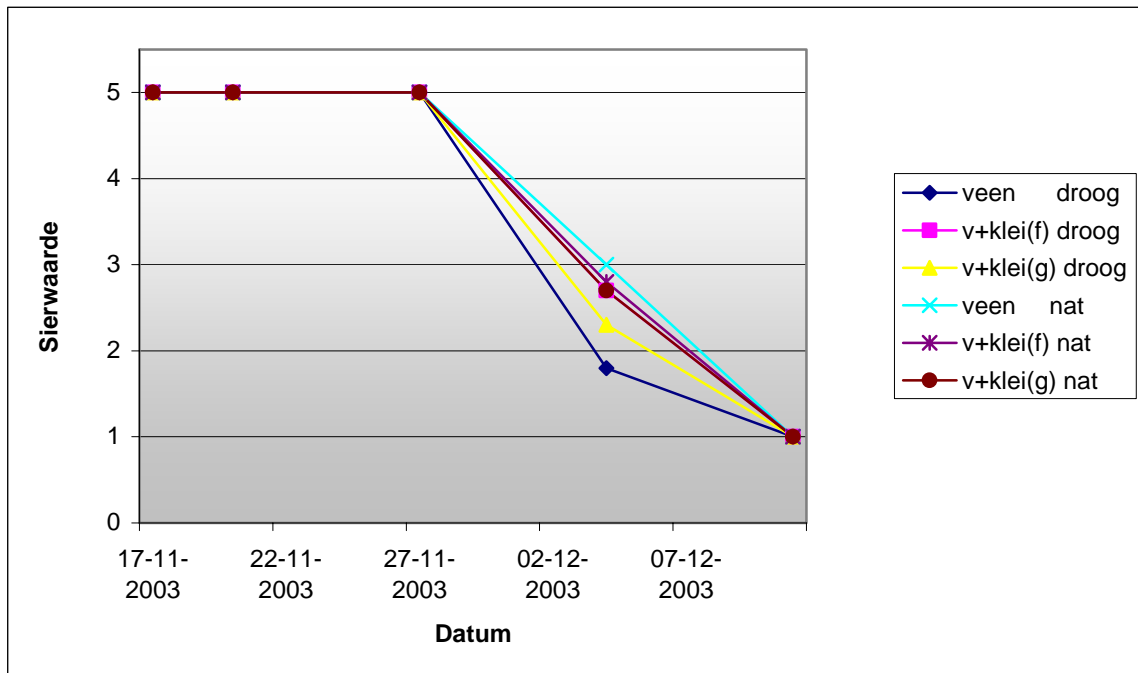


Fig. 18. Sierwaarde (0-5. slecht-goed) van de begonia planten in de uitbloeioproef (v=veen, f=fijn,, g=gegranuleerd). Fysische proef.

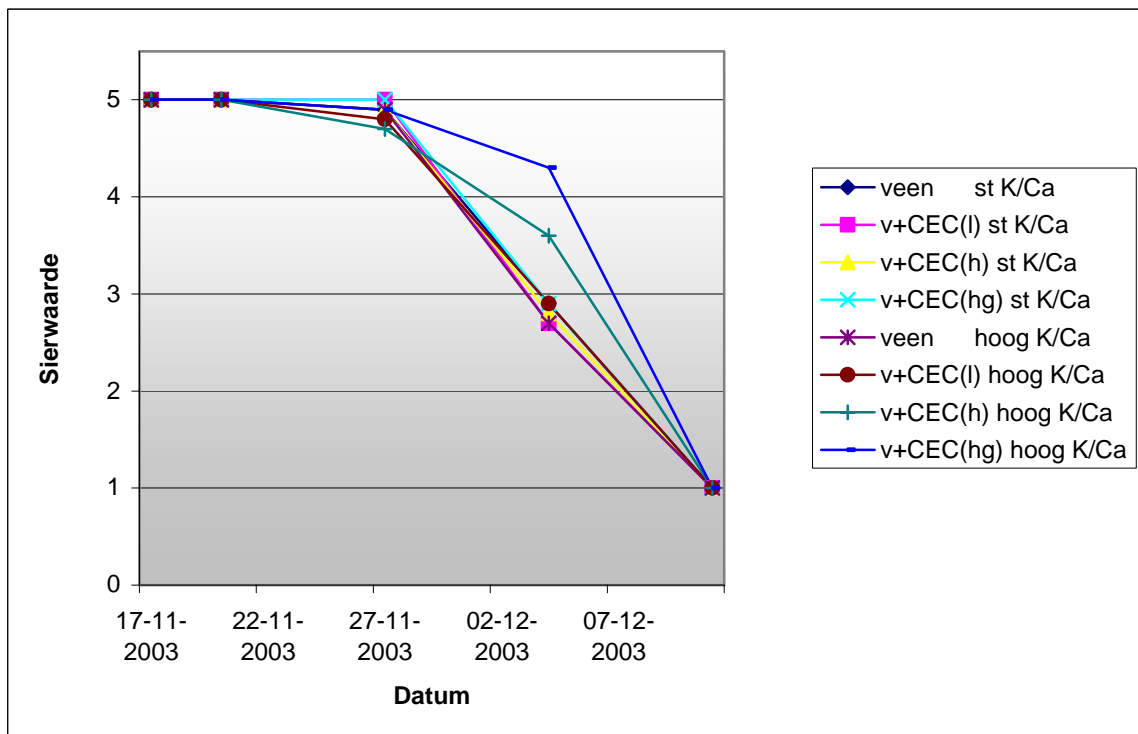


Fig. 19. Sierwaarde (0-5. slecht-goed) van de begonia planten in de uitbloeioproef (v=veen, h=is hoog, l=laag, g=gegranuleerd). Chemische proef.



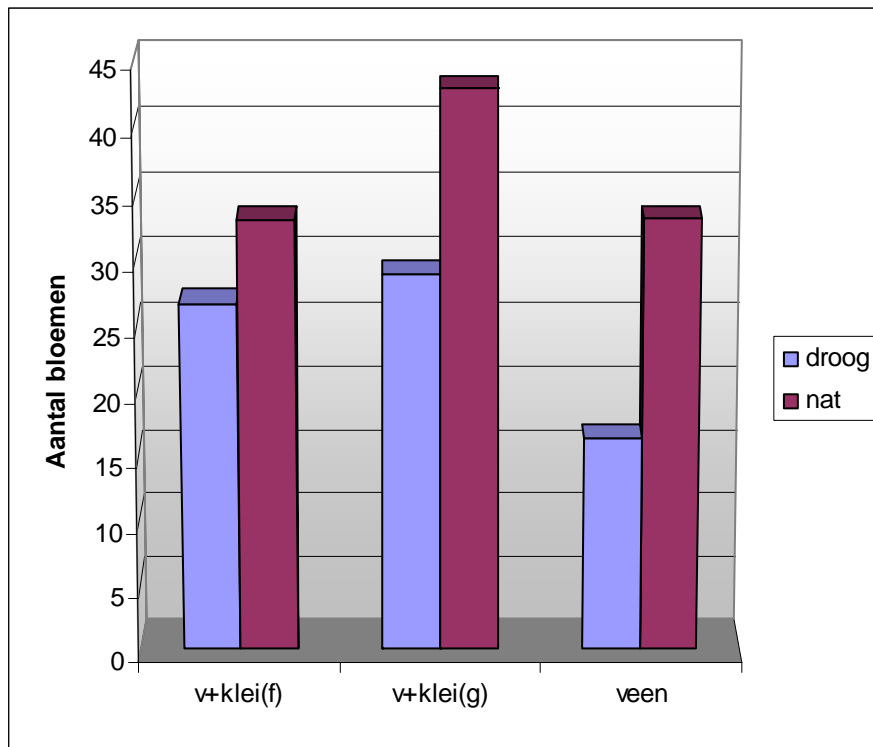


Fig. 20. Aantal bloemen aan het einde van de houdbaarheid (v=veen, f=fijn,, g=gegranuleerd).

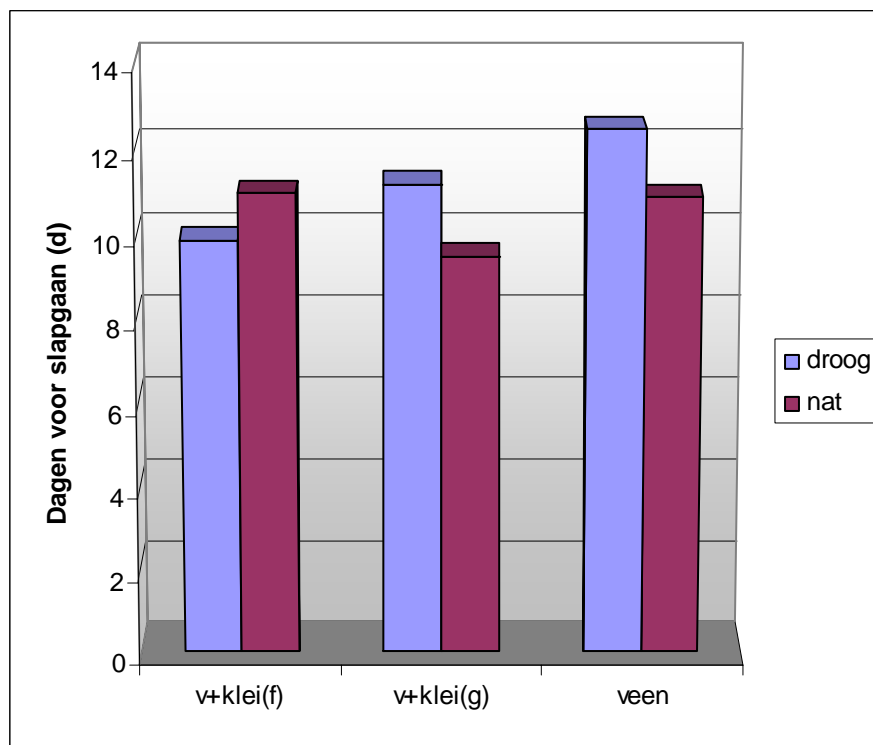


Fig. 21. Aantal dagen voor slappaan (v=veen, f=fijn,, g=gegranuleerd).

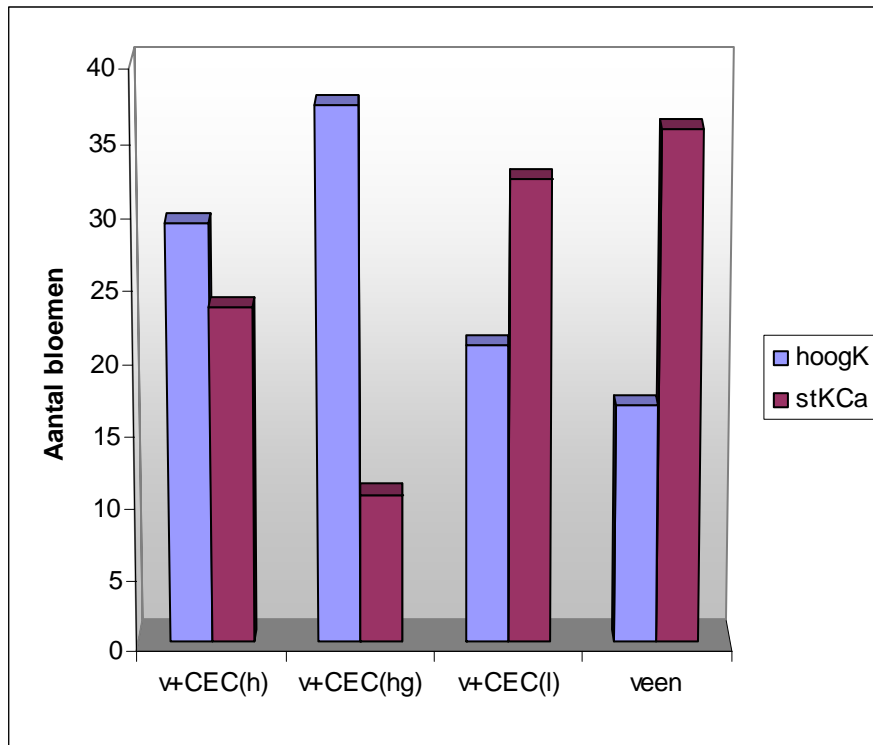


Fig. 22. Aantal bloemen aan het einde van de houdbaarheid (v=veen, f=fijn,, g=gegranuleerd).

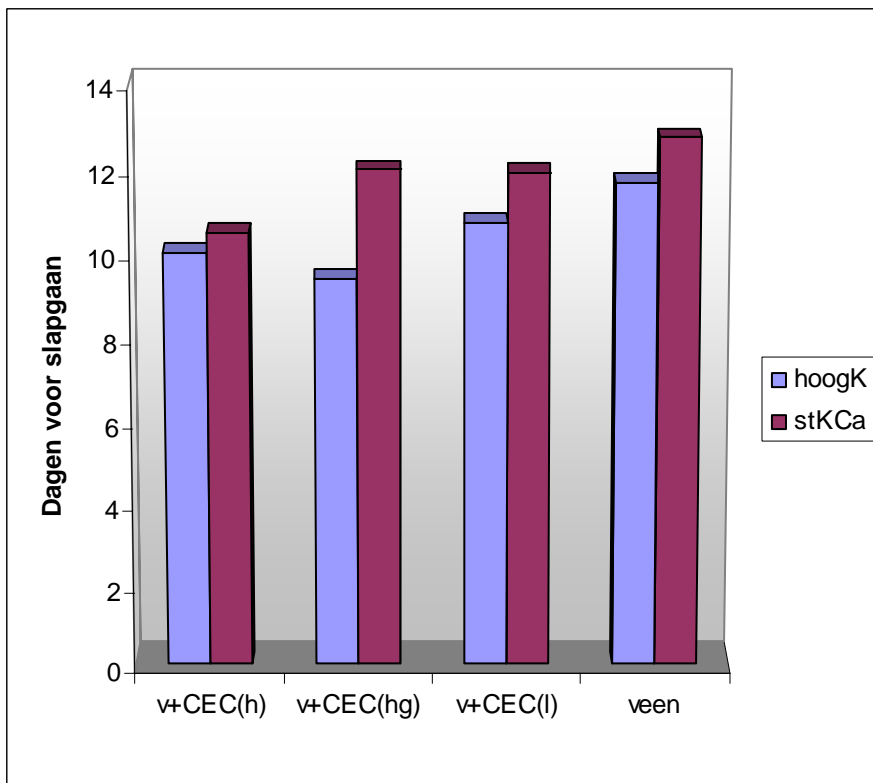


Fig. 23. Aantal dagen voor slapgaan (v=veen, f=fijn,, g=gegranuleerd).

## 4.3 Conclusies en aanbevelingen

### 4.3.1 Fysisch

De fysische effecten op de teelt komen duidelijk naar voren. Nat telen geeft een langere smallere plant met een hoger gewicht. Het toevoegen van klei heeft tot gevolg dat er bij droger telen de groei meer geremd wordt. De groei is beter te beheersen (sturen) als klei wordt toegevoegd.

De houdbaarheid werd door het droger of natter telen niet sterk beïnvloed. Als er droog geteeld wordt heeft het toevoegen van klei in vergelijking met geen klei een iets betere sierwaarde in de tijd.

Na 3.5 week was de sierwaarde volledig afgenomen. Er is toen gekeken hoe de planten zich herstelden aangaande knop- en bloemontwikkeling. De planten op de droge behandeling op veen zonder klei herstelden zich ook slecht gezien het geringe aantal bloemen dat na een herstel van 6 weken weer bloeit. De natte behandeling op gegraneerde klei herstelde het best.

Aan het einde van de houdbaarheid is gekeken hoe snel de planten slapgaan. De planten die droog opgeteeld zijn gaan minder snel slap, zij hebben echter ook het minste volume en daardoor ook waarschijnlijk minder verdamping. Bij de substraten valt op dat klei toevoeging tot gevolg heeft dat de planten eerder slapgaan. Dit heeft mogelijk met de vochtbuffer te maken welke ook wat minder is. Het moment van slapgaan lijkt vooral beïnvloed te worden voor de fysische behandelingen door de vochtbuffer en door het plantvolume.

### 4.3.2 Chemisch

In de proef die was gericht op de de effecten van kleitoevoeging op de chemische eigenschappen van het substraat werden significante effecten op groei en houdbaarheid vastgesteld. Bij een standaard K/Ca-verhouding was het plantgewicht in substraat met klei met een hoge CEC circa 10% hoger dan in het substraat zonder klei en het substraat met klei met een lage CEC. Dit was niet verwacht, omdat de concentraties aan P, K en NH<sub>4</sub> in de bodemoplossing van substraat met klei met een hoge CEC lager waren dan die in de overige substraten. Mogelijk hebben de fysische eigenschappen van het substraat met klei (betere opzuiging) in combinatie met het watergeefstelsel (eb-vloed) gezorgd voor een verstoring van het beeld.

De houdbaarheid van planten geteeld met een hoge K/Ca-verhouding in substraten met klei met een hoge CEC was iets beter. Zij vertonen minder bloem- en knopval en hebben daardoor een betere sierwaarde.

Na 3.5 week was de sierwaarde volledig afgenomen. Er is toen gekeken hoe de planten zich herstelden aangaande knop- en bloemontwikkeling. Planten in puur veen bij een hoge K/Ca-verhouding en planten in het substraat met gegraneerde klei met een hoge CEC bij een standaard K/Ca-verhouding herstelden zich slecht. Dit laatste is opvallend omdat dit object bij de fysische behandelingen zo goed uit de bus kwam. De planten in puur veen bij een standaard K/Ca-verhouding en de planten in het substraat met gegraneerde klei met een hoge CEC bij een hoge K/Ca-verhouding herstelden zich opvallend goed.

Aan het einde van de houdbaarheid is gekeken hoe snel de planten slapgaan. Planten geteeld met een standaard K/Ca-verhouding gingen minder snel slap dan planten met een hoge K/Ca-verhouding. Vergelijkbaar met de uitkomsten bij het fysische deel is te zien dat door kleitoevoeging de planten eerder slapgaan.

### 4.3.3 Aanbevelingen

Het sturen van de groei kan beter uitgevoerd worden als er klei in potgrond zit. Klei wordt hiervoor ook toegepast in de huidige tuinbouw. Tussen gegraneerde klei en niet gegraneerde klei zitten geen betrouwbare verschillen. In het fysisch onderzoek zijn tussen de kleisoorten wel kleine verschillen geconstateerd aangaande waterbeschikbaarheid. De waterbeschikbaarheid bij niet gegraneerde klei is lager dan bij wel gegraneerde klei. Dit zou mogelijk de stuurbaarheid te goede komen. De effecten van de hoeveelheid klei lijken groter dan de verschillen tussen de kleisoorten. Er is in de proef gewerkt met één doseringsniveau van klei. Aangezien er verschillen zijn gevonden in het fysisch onderzoek zou het vaststellen van de relatie kleidosering – groeiremming bij wel en niet gegraneerde klei nuttig zijn. Hiermee kan worden vastgesteld wat de optimale kleidosering is.

De houdbaarheid beïnvloeden door fysische eigenschappen aan te passen is in de proef gering naar voren gekomen. Als er droog geteeld wordt heeft het toevoegen van klei in vergelijking met geen klei een iets betere sierwaarde in de tijd. Tijdens de teelt zijn verschillende vochtranges aangehouden, maar deze waren

niet extreem. De tijd van het jaar speelt hierin ongetwijfeld een rol. Naar het eind van het jaar, in een donkere tijd, hebben planten minder water nodig. Als een dergelijke behandeling ook in een vervolproef wordt opgenomen, zou de teelt wellicht beter in het voorjaar of de zomer kunnen vallen. De houdbaarheid van Begonia is in de zomer wel weer beter, zodat effecten op houdbaarheid minder groot kunnen zijn. Uit Deens onderzoek is al verschillende keren gebleken dat planten die tijdens de teelt regelmatig met droogtestress te maken hebben gehad, een betere houdbaarheid hebben (Hibiscus, potroos). Dit pleit er zeker voor om in een proef een nog drogere behandeling op te nemen. Ook de houdbaarheid van een Ficus benjamina is beter (minder bladval) als droog wordt geteeld, blijkt uit eigen onderzoek en wordt vermeld in Amerikaanse literatuur. Andere gewassen reageren mogelijk beter (zichtbaarder) dan een Begonia, denk aan Cyklaam, Geranium, éénjarige zomerbloeiërs, Primula (in willekeurige volgorde). Ook Poinsettia zou een optie kunnen zijn al zijn verschillen in watergift dan weer lastig, teelt valt in najaar.

Het chemisch sturen van de groei door klei toe te voegen leek in de pilotproef naar voren te komen in het grotere plantgewicht in substraat met klei met een hoge CEC. Zoals aangegeven is daar mogelijk een verstoring opgetreden door fysische effecten. Mogelijkheden zijn hier wel aanwezig doordat er sprake is van lagere concentraties aan  $\text{NH}_4$ , K en P in de bodemoplossing van substraten met klei. Een lagere opnamesnelheid van deze nutriënten zal direct de groei van de plant beïnvloeden. Er is sprake van grote verschillen tussen de kleien aangaande de CEC, de kationenbezetting en fosfaatadsorptie, die leiden tot verschillen in de gehalten in de bodemoplossing. Het verder uitwerken van deze eigenschap in relatie tot de groei van bijvoorbeeld perkgoed is de moeite waard.

De houdbaarheid van Begonia is iets te verbeteren door de K/Ca-verhouding in de potgrond te verhogen in combinatie met het doormengen van klei met een hoge CEC. Er is dan minder bloem- en knopval en daardoor een betere sierwaarde. Dit effect is verder uit te werken bij andere gewassen. Hoe sterk het effect zal zijn is niet duidelijk. Een andere mogelijkheid, nog niet eerder getest, is het verhogen van de ammonium-bezetting aan het adsorptiecomplex zodat de beschikbare hoeveelheid stikstof toe zal nemen en daardoor ook de houdbaarheid.

## 5 Eindconclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies detailonderzoek en pilotproef

Uit het in dit rapport beschreven detailonderzoek kwam naar voren dat kleitoevoeging aan potgrond een effect heeft op fysische en chemische eigenschappen van die potgrond. Die effecten kwamen in sterke of minder sterke mate tot uiting in een pilotproef met Begonia.

De effecten van kleitoevoeging aan potgrond op de fysische eigenschappen zijn:

- Een toename van de vochtbinding. De plant zal meer moeite hebben water op te nemen naarmate meer klei toegevoegd wordt. Dit effect is sterker als het watergehalte lager wordt. Fijne klei toevoegen aan potgrond lijkt een groter effect te hebben op de vochtbinding dan het toevoegen van een grovere klei. De sterkere vochtbinding kan verantwoordelijk zijn voor een remming van de groeisnelheid van potplanten.
- Een toename van de snelheid van wateropname na indrogen. Het effect van de fijne kleisoort 7 is het grootste. Naarmate meer klei toegevoegd wordt is de snelheid van wateropname hoger. Het granuleren van klei is minder gunstig voor de wateropname in vergelijking met de fijnere kleivormen. De toename van de snelheid van wateropname is gunstig voor de vochtvoorziening en is vooral van belang bij de start in een eb-vloed systeem en bij bijv. de teelt in pluggen. Het is mogelijk de snelheid van wateropname met een redelijke nauwkeurigheid te voorspellen op basis van de dosering en de mediaan van de zeeffracties.
- Door het toevoegen van klei is er een afname van het gemakkelijk beschikbaar water. Dit heeft tot consequenties voor de teelt dat er vaker water gegeven moet worden. Dit zal ook moeten gebeuren in de huiskamer situatie omdat het gewas eerder slap zal gaan. Het effect op het gemakkelijk beschikbaar water is afhankelijk van de hoeveelheid klei die toegevoegd wordt. De toevoeging van de fijne kleisoort 2 geeft de sterkste daling van het gemakkelijk beschikbaar water te zien. Overigens zijn de verschillen tussen de kleisoorten gering.
- Een wisselend effect op de stevigheid van het geperste potje. Alleen de fijne kleien hadden een positieve bijdrage. Om de klevende eigenschappen van klei te meten zal een andere methode ontwikkeld moeten worden.

De effecten van kleitoevoeging aan potgrond op de chemische eigenschappen van het substraat zijn:

- Een verhoging van de CEC van het substraat. Van belang daarbij is dat de CEC van de kleien die aan de potgrond zijn toegevoegd sterk varieerden. De verschillen in CEC tussen de kleien kunnen worden begrepen uit de verschillen in het aandeel kleideeltjes ( $<2 \mu\text{m}$ ) en de kleimineralen waaruit de kleien zijn opgebouwd. De verschillen in CEC zijn van belang voor de concentraties aan kationen in de bodemoplossing en voor de potentiële nalevering van die kationen. Het eerste is vooral van belang tijdens de teelt en het tweede voor de houdbaarheid. De nalevering van kationen tijdens de houdbaarheidsfase kan modelmatig worden beschreven als de CEC, kationenbezetting en kationenconcentratie in het bodemvocht aan het begin van de houdbaarheidsfase en de nutriëntenopname door de plant tijdens de houdbaarheidsfase bekend is.
- Een beïnvloeding van de concentratie aan kationen in de bodemoplossing. Deze varieerde aanzienlijk tussen de kleien en kan vooral worden begrepen uit verschillen in de CEC en de kationenbezetting van het adsorptiecomplex van de klei. Voor de beginfase van de teelt is die relatie modelmatig beschreven. De concentratie van kationen in het bodemvocht is van direct belang voor de plantengroei als de groei wordt beperkt door de heersende concentratie.
- Een verhoging van het fosfaatfixerend vermogen van het substraat. Door de aanwezigheid van Fe- en Al-(hydr)oxiden in de kleien wordt fosfaat die via bemesting aan het substraat wordt toegediend vastgelegd aan de klei. De mate waarin dat gebeurt verschilt tussen de kleien. Het gevolg hiervan is dat een deel van de fosfaat die met bemesting wordt toegediend niet meer beschikbaar is voor planten.
- Een daling van de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing. Dit is het gevolg van de hiervoor genoemde fixatie van fosfaat in de vorm van Fe- en Al-verbindingen. Dit effect zal ook verschillen tussen

de kleien en de relatie is modelmatig beschreven voor de beginfase van de teelt. Het kan consequenties hebben voor de teelt, als de P-concentraties in het bodemvocht beperkend zijn voor de groei. Gedurende de teelt kan de afgeleide relatie veranderen, doordat de P-verzadigingsgraad toeneemt.

De pilotproef met Begonia was opgesplitst in een deel waarin de effecten van kleitoedieining op de fysische eigenschappen en in een deel waarin de effecten op de chemische eigenschappen werden onderzocht. Een moeilijkheid bij teeltproeven met planten is dat het vrijwel niet mogelijk is de fysische eigenschappen van het substraat te veranderen terwijl de chemische eigenschappen gelijk blijven. Ook het omgekeerde is vrijwel niet mogelijk. Dit betekent dat vrijwel steeds sprake was van een combinatie van fysische en chemische effecten en dat het niet mogelijk is vast te stellen welk effect het belangrijkste was voor de plantengroei.

In de teeltproef gericht op de fysische eigenschappen zorgde kleitoevoeging aan het substraat in combinatie met een teelt bij een lage vochtvoorziening (droge teelt) voor een achterblijvende groei ten opzichte van het substraat zonder klei. De meest waarschijnlijke oorzaak hiervan is de sterkere vochtbinding in het substraat met klei, maar het is niet uit te sluiten dat de lagere concentraties aan P, K en/of  $\text{NH}_4$  in het bodemvocht verantwoordelijk waren voor de achterblijvende groei.

Daarnaast zorgde kleitoevoeging aan het substraat in combinatie met een droge teelt voor een iets betere sierwaarde dan een substraat zonder klei. De oorzaak hiervoor is niet bekend.

Aan het einde van de houdbaarheid is gekeken hoe snel de planten slapgaan. De kleitoevoeging had tot gevolg dat de planten eerder slapgaan dan in substraten zonder klei. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt door de kleinere vochtbuffer in de substraten met klei dan die in substraten zonder klei.

In de teeltproef gericht op de chemische eigenschappen zorgde toevoeging van klei met een hoge CEC aan het substraat bij een standaard K/Ca-verhouding voor een toename van de groei ten opzichte van een substraat zonder klei of met een klei met een lage CEC. Hiervoor is geen verklaring, behalve dat fysische effecten hier een rol hebben gespeeld.

De houdbaarheid van planten in substraten met toevoeging van klei met een hoge CEC die waren geteeld bij een hoge K/Ca-verhouding was iets beter dan in substraten zonder klei en met klei met een lage CEC. De oorzaak hiervan zou kunnen zijn dat de K-nalevering tijdens de houdbaarheidsfase in het substraat met klei met hoge CEC hoger was dan in de andere substraten.

Evenals in de proef gericht op fysische eigenschappen zorgde kleitoevoeging ervoor dat planten op het eind van de houdbaarheid eerder slap gingen. Waarschijnlijk waren de fysische eigenschappen (vochtbuffer) hiervan de oorzaak.

Samenvattend,

- Kleitoevoeging aan potgrond is van invloed op zowel fysische als chemische eigenschappen van de potgrond. Fysische eigenschappen die worden beïnvloed zijn de vochtbinding, de wateropname na indrogen, de omvang van de vochtbuffer en de stevigheid van het geperste potje. Chemische eigenschappen die worden beïnvloed zijn de CEC, de concentratie aan kationen in het bodemvocht, het fosfaatfixerend vermogen en de fosfaatconcentratie in het bodemvocht.
- Kleitoevoeging leidde in de pilotproef met Begonia tot een achterblijvende groei. De toevoeging van klei aan het substraat kan dus worden toegepast voor het sturen van de groei. De optredende groeiremming kan worden begrepen uit fysische (sterkere vochtbinding) en chemische eigenschappen (lagere concentraties aan voedingsstoffen in het bodemvocht). Het is nog onvoldoende duidelijk welk effect in deze situatie de doorslag heeft gegeven en hoe dat voor andere situaties zal zijn.
- Kleitoevoeging leidde in de pilotproef met Begonia bij droog telen en bij een hoge K/Ca-verhouding en een hoge CEC van de klei tot een betere sierwaarde tijdens de houdbaarheidsfase. Dit kan worden begrepen uit het fysische effect en uit een hogere nalevering van K als een substraat met een hoge CEC is gecombineerd met een hoge K/Ca-verhouding tijdens de teelt. Ook hier is onduidelijk welke effect verantwoordelijk is geweest voor het uiteindelijke resultaat van de verbeterde sierwaarde.
- Kleitoevoeging aan potgrond leidde er op het eind van de houdbaarheidsfase toe dat het gewas eerder slap ging. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de kleinere vochtbuffer in substraten met klei.
- De betere wateropname na indrogen van substraten met klei kunnen voordelen opleveren in een eb-vloed systeem.

Tenslotte zijn de volgende kenmerken van de kleien van belang voor een karakterisering ervan:

- De korrelgrootteverdeling in de vorm van een zeefanalyse (van belang voor fysische eigenschappen).
- De CEC en kationenbezetting (van belang voor kationengehalten in het bodemvocht, de potentiële nalevering van kationen en (mogelijk) de wateropname)
- Het fosfaatfixerend vermogen en de fosfaatverzadigingsgraad.

## 5.2 Aanbevelingen

Het toevoegen van klei heeft duidelijke effecten op fysische en chemische eigenschappen die zowel van invloed zijn op de sturingsmogelijkheden van de groei tijdens de teelt als op de huiskamersituatie (houdbaarheid). In het hiervoor beschreven onderzoek zijn de effecten van kleitoevoeging aan potgrond voor fysische en chemische eigenschappen gekwantificeerd en zijn een aantal consequenties daarvan voor de groei en houdbaarheid van Begonia in beeld gebracht. Daarmee is de oorspronkelijk geformuleerde doelstelling van het project (het voorspellen van chemische en fysische effecten van verschillende kleiprodukten op de eigenschappen van substraat in relatie tot groeibeheersing, kwaliteit en houdbaarheid van potplanten en het opstellen van een adviessysteem voor kleitoevoegingen aan substraat voor verschillende gewassen) nog onvoldoende gerealiseerd. Daarbij stellen we de volgende vervolgstudies voor. Aandachtspunt daarbij zal zijn om afdoende onderscheid te maken naar de fysische en chemische effecten op de groei en houdbaarheid van de planten, zodat in ieder geval duidelijk is waardoor een waargenomen effect is veroorzaakt. Dit zal ten goede komen aan de kwaliteit van het opgestelde advies.

### 5.2.1 Groeibeheersing door droger telen – effect kleisoort en hoeveelheid

Het sturen van de groei kan beter uitgevoerd worden als er klei in potgrond zit. Klei wordt hier momenteel ook voor toegepast. Tussen gegranuleerde klei en niet gegranuleerde klei zitten geen betrouwbare verschillen. In het fysisch onderzoek zijn tussen de kleisoorten wel kleine verschillen geconstateerd aangaande waterbeschikbaarheid. De waterbeschikbaarheid bij gegranuleerde klei is hoger dan bij niet gegranuleerde klei. Dit zou mogelijk de stuurbaarheid ten goede komen. De effecten van de hoeveelheid klei lijken groter dan de verschillen tussen de kleisoorten. In de pilotproef is gewerkt met één doseringsniveau van klei. Aangezien er verschillen zijn gevonden in het fysisch onderzoek zou het vaststellen van de relatie kleidosering – groeiremming bij wel en niet gegranuleerde klei nuttig zijn. Hiermee kan worden vastgesteld wat de optimale kleidosering is.

### 5.2.2 Groeibeheersing door het effect op nutriëntengehalten in het bodemvocht

Het chemisch sturen van de groei door klei toe te voegen is in de pilotproef slechts beperkt uitgetest. Mogelijkheden zijn hiertoe wel aanwezig aangezien de concentraties aan  $\text{NH}_4$ , K en P in het bodemvocht worden verlaagd door kleitoediening. Dit is waarschijnlijk gemakkelijker te realiseren door kleitoediening dan door aanpassing van het bemestingsregime. Er is sprake van grote verschillen tussen de kleien in het effect op de ionconcentraties in bodemvocht. Als de opname van fosfaat geremd wordt zal dit direct de groei van de plant beïnvloeden. Het verder uitwerken van deze eigenschap in relatie tot de groei van bijvoorbeeld perkgoed is de moeite waard. Door dit aspect modelmatig aan te pakken kan de groeiremming beter voorspeld worden en de bemesting kan daarop aangepast worden.

### 5.2.3 Houdbaarheid potplanten door aanleggen vochtstress

De houdbaarheid beïnvloeden door fysische eigenschappen aan te passen is in de pilotproef met Begonia beperkt naar voren gekomen. Als er droog geteeld wordt heeft het toevoegen van klei in vergelijking met geen klei een iets betere sierwaarde in de tijd. Tijdens de teelt zijn verschillende vochttranges aangehouden, maar deze waren niet extreem. De tijd van het jaar speelde hierin ongetwijfeld een rol. Naar het eind van het jaar, in een donkere tijd, hebben planten minder water nodig. Uit eerder onderzoek is al verschillende keren gebleken dat planten die tijdens de teelt regelmatig met droogtestress te maken hebben gehad, een betere houdbaarheid hebben (Hibiscus, potroos, Ficus benjamina). Het aanleggen van drogere behandelingen bij verschillende kleitypes kan hier meer duidelijkheid over geven. De droge behandelingen kunnen nog gevarieerd worden. Er kan aan het einde van de teelt vochtstress aangelegd worden (afharden) of er kan gedurende de teelt continue een lager vochtgehalte aangehouden worden. Geschikte toetsgewassen zijn Cycloam, Geranium, éénjarige zomerbloeiers, Primula en/of Poinsettia.

5.2.4 Houdbaarheid potplanten door de bezetting van het adsorptiecomplex van klei  
De houdbaarheid van Begonia is iets te verbeteren door een hoge K/Ca verhouding in de potgrond aan te leggen in combinatie met het doormengen van klei met een hoge CEC. Er is dan minder bloem- en knopval en daardoor een betere sierwaarde. Dit effect is verder uit te werken bij andere gewassen. Hoe sterk het effect zal zijn is niet duidelijk. Een andere mogelijkheid, nog niet eerder getest, is het verhogen van de ammoniumbezetting aan het adsorptiecomplex zodat de beschikbare hoeveelheid stikstof toe zal nemen en daardoor ook de houdbaarheid. Ammonium zal meer effect op de houdbaarheid hebben, aangezien stikstof eerder limiterend is. Omdat ammonium niet stabiel is en normaalgesproken snel wordt omgezet in nitraat, moet een nitrificatieremmer worden toegediend om die omzetting te voorkomen.



## Literatuur

- Anonymous, 1994. NEN 5753. Bodem - Bepaling van lutumgehalte en korrelgrootte van grondmonsters met behulp van zeef en pipet. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Anonymous, 1996. NEN 5738. Bodem - Bepaling van de actuele kationen-uitwisselingscapaciteit en uitwisselbare basische kationen in grond. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Anonymous, 1997. CEN TC 223 WG 4 N26. Soil improvers and growing media. Determination of particle size. Draft W148.
- Anonymus, 1999a. NEN 13040. Bodemverbeterende middelen en groeimedia - Monstervoorbereiding voor chemische en fysische beproeving, bepaling van het gehalte aan droge stof, het gehalte aan vocht en de samengedrukte bulkdichtheid in een laboratorium. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Anonymus, 1999b. NEN 13037. Bodemverbeterende middelen en groeimedia – Bepaling van de pH. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Anonymus, 1999c. NEN 13038. Bodemverbeterende middelen en groeimedia – Bepaling van de elektrische geleidbaarheid. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Anonymus, 1999d. EN 13039. Soil improvers and growing media - Determination of organic matter content and ash. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Anonymus, 2001. NEN 13652. Bodemverbeterende middelen en groeimedia – Extractie van in water oplosbare voedingsstoffen en elementen. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Anonymus, 1999. EN 13041. Soil improvers and growing media - Determination of physical properties - Dry bulk density, air volume, water volume, shrinkage value and total pore space. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- Bolt G.H. & M.G.M. Bruggenwert (eds.), 1978. Soil Chemistry, A. Basic Elements. Developments in Soil Science 5A, Elsevier, Amsterdam, 281 pp.
- Bulle, A., C. de Kreij, R. Postma, C.G.R. van Uffelen, J.B.G.M. Verhagen en E.J.W. Wattel-Koekkoek, 2002. Klein in potgrond en kwaliteit potplanten, Literatuuronderzoek. Intern verslag PPO-Glastuinbouw.
- Driessen, P.M. & Dudal, R. (Eds.) 1991. The major soils of the world. Lecture notes on their geography, formation, properties and use. Agricultural University Wageningen & Katholieke Universiteit Leuven. Koninklijke Wöhrmann, Zutphen, The Netherlands.
- Genstat 5 Committee, 1994. Reference Manual. Clarendon Press, Oxford, 794 pp.
- Houba, V.J.G., J.J. van der Lee, I. Novozamsky, 1997. Soil and Plant analysis, part 5B, syllabus.
- Koopmans G.F., 2004. Characterization, desorption, and mining of phosphorus in noncalcareous sandy soils. Proefschrift, Wageningen Universiteit, 168 pp.
- Schlichting, E en Blume, E., 1966. Bodenkundliches Praktikum. Verlag Paul Parley, Hamburg und Berlin.
- Van Erp P.J. 2002. The potentials of multi-nutrient soil extraction with 0.01 M CaCl<sub>2</sub> in nutrient management. Proefschrift Wageningen Universiteit, 237 pp.
- Van Genuchten, 1991, M. Th., F.J. Leij, en S.R. Yates, 1992. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soil. EPA/600/2-9/065. 93P. r.s. Kerr Environ. Re. Lab., U.S. Environmental Protection Agency, Ada, OK.
- Verhagen, J.B.G.M., 2004. Effectiveness of clay in peat based growing media. Acta Hort. 644, 115-122.
- Wever, G., A.A. van Leeuwen and M.C. van der Meer, 1997. Saturation rate and hysteresis of substrates. Acta Horticulturae 450. p. 287-295.
- Wever, G. and E. Eymar, 1999. Characterisation of the hydrophysical and mechanical properties of pressed blocks for transplanting. Acta Horticulturae 481. 111-119.
- Wever, G., J.S. Nowak, O.M. De Sousa Oliveira en a. van Winkel, 2004. Determination of hydraulic conductivity in Grwoing Media. Acta Hort. 648, 135-143.



## Bijlage 1 Vochtkarakteristiek en Opzuigkarakteristiek

Tabel: Resultaten fysische karakteristieken model RETC,  $\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / (1 + \alpha h)^n$  ( $r = \text{residu}$ ,  $s = \text{verzadigd}$ ,  $h = \text{drukhoogte (-cm)}$ ).

Monster	Modelparameters			
	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	$n$
V2	20	95	0.09639	1.93176
V2K1/30B	23	93	0.10559	2.15396
V2K2/30B	29	93	0.10279	2.40227
V2K3/30B	23	93	0.09691	2.24276
V2K4/30B	24	93	0.10332	2.41649
V2K5/30B	26	93	0.09762	2.47123
V2K6/30B	24	94	0.07910	2.35371
V2K7/30B	28	94	0.08044	2.48124
V2K1/100B	25	91	0.09497	2.34592
V2K2/100B	29	90	0.10721	2.36045
V2K3/100B	30	89	0.07607	2.4998
V2K4/100B	25	88	0.09525	2.29836
V2K5/100B	24	88	0.08719	2.39418
V2K6/100B	28	91	0.07448	2.36812
V2K7/100B	28	91	0.08109	2.33319

Tabel: Resultaten van de watergehalten (%-v) in de tijd (min) na luchtdrogen en het plaatsen in een laagje water.

Monster	Tijd (min)												
	0	1	2	4	8	15	30	60	120	240	360	1440	3360
V2	0	1	2	2	3	4	6	10	16	24	29	54	60
V2K1/30B	1	1	2	3	5	10	23	39	61	66	67	72	75
V2K2/30B	1	2	2	4	8	17	36	57	62	65	66	70	73
V2K3/30B	1	2	2	3	3	4	5	8	16	32	43	68	72
V2K4/30B	1	2	2	3	4	6	9	16	31	52	62	70	73
V2K5/30B	1	2	2	3	4	6	9	14	26	39	50	63	68
V2K6/30B	1	2	2	3	4	5	7	13	27	48	59	74	76
V2K7/30B	1	2	3	4	7	14	35	62	68	70	71	75	76
V2K1/100B	1	3	7	13	22	33	48	55	58	60	61	65	68
V2K2/100B	1	7	13	19	27	36	46	50	52	54	55	59	61
V2K3/100B	1	3	5	7	13	22	36	55	65	69	70	74	76
V2K4/100B	2	4	6	9	15	24	37	55	65	68	69	73	76
V2K5/100B	1	3	4	6	8	11	17	29	43	61	64	70	73
V2K6/100B	1	6	10	16	26	36	48	59	63	65	66	69	71
V2K7/100B	1	18	26	32	40	47	53	56	57	59	60	63	66

Tabel: Regressieresultaten van de watergehalten (%-v) in de tijd (min) na luchtdrogen en het plaatsen in een laagje water (logistische curve  $Y = C/(1 + EXP(-B*(X - M)))$ , waarin  $Y$ = watergehalte %-v en  $X = \log(1 + \text{Tijd (min)})$ ).

Monster	Regressieparameters				
	B	$M_{\text{wateropname}}$	C	$R_{\text{adj}}$	M (min)
V2	1.914	2.770	75.5	99.7	590
V2K1/30B	3.482	1.724	73.3	99.7	54
V2K2/30B	3.969	1.467	69.3	99.5	30
V2K3/30B	2.898	2.492	77.0	99.6	312
V2K4/30B	3.404	2.134	73.6	99.5	137
V2K5/30B	2.437	2.289	71.7	99.6	195
V2K6/30B	3.313	2.239	77.2	99.6	175
V2K7/30B	4.727	1.492	73.7	99.6	32
V2K1/100B	2.935	1.174	64.0	99.4	16
V2K2/100B	2.547	1.006	57.5	99.1	11
V2K3/100B	3.007	1.481	74.8	99.8	31
V2K4/100B	2.735	1.454	74.5	99.8	29
V2K5/100B	2.520	1.924	75.2	99.4	85
V2K6/100B	2.613	1.166	69.0	99.7	16
V2K7/100B	2.520	0.700	61.2	97.0	6

$R_{\text{adj}}$  – percentage verklaarde variantie

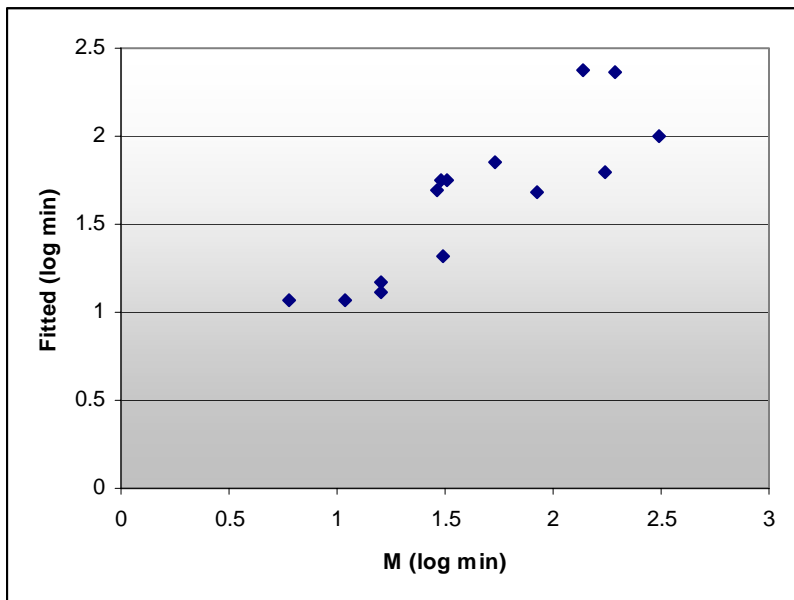


Fig. Relatie tussen de voorspelde snelheid van wat op basis van model ( $M_{\text{wateropname}} = -0.00973 \times \text{Hoeveelheid (kg/m}^3) + 0.1804 \times M$  (Mediaan zeef) + 2.032,  $R_{\text{adj}} = 69.3$ ) en de bepaalde snelheid van wateropname ( $M_{\text{wateropname}}$ ) voor de mengsels met kleitoevoeging.

## Bijlage 2 Cohesie

*Tabel: Resultaten van de stevigheidsmetingen (S1 is de eerste penetratie en S2 de tweede).*

Omschr.	Hardh S1 N	Hardh S1 Kpa	Plak S2/S1 N/N	Plak S2/S1 Kpa/Kpa
V1	-9	-62	0.14	0.01
V2	-31	-18	0.11	0.11
V3	-19	-11	0.19	0.15
K1	-23	-33	0.11	0.04
K2	*	*	*	*
K3	-14	-18	0.29	0.12
K4	-29	-68	0.09	0.02
K5	-40	-120	0.08	0.02
K6	*	*	*	*
K7	*	*	*	*
V2K1/30B	-26	-15	0.28	0.28
V2K2/30B	-14	-11	0.40	0.27
V2K3/30B	-23	-14	0.17	0.16
V2K4/30B	-23	-14	0.10	0.09
V2K5/30B	-33	-19	0.11	0.10
V2K6/30B	-48	-27	0.03	0.03
V2K7/30B	-38	-22	0.03	0.03
V2K1/100B	-25	-18	0.17	0.13
V2K2/100B	-15	-14	0.08	0.05
V2K3/100B	-20	-21	0.11	0.06
V2K4/100B	-18	-20	0.12	0.06
V2K5/100B	-23	-19	0.12	0.08
V2K6/100B	-26	-22	0.03	0.02
V2K7/100B	-20	-20	0.25	0.15
V1K7/30	-8	-51	0.07	0.01
V1K7/100	-8	-42	0.07	0.01

## Bijlage 3 Zeefanalyse

Tabel: Resultaten van de zeefanalyse (Passing %).

<b>Zeefmaaswijdte (mm)</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>K5</b>	<b>K6</b>	<b>K7</b>
16.00	100.0	100.0	94.4	100.0	100.0	100.0	100.0
8.00	99.9	99.9	85.8	99.9	100.0	99.9	99.9
4.00	98.9	99.7	73.7	59.9	58.3	99.5	99.6
2.00	90.2	99.4	57.1	20.6	25.3	99.3	99.3
1.00	68.3	98.9	37.8	11.6	11.3	98.9	98.9
0.500	46.5	97.9	20.8	8.8	5.8	75.4	98.3
0.250	28.9	95.3	11.0	6.0	4.3	47.9	96.9
0.125	15.8	89.6	7.3	3.4	3.1	25.9	94.6
0.063	7.0	56.0	4.8	1.5	1.7	12.0	71.8
0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabel: Regressieresultaten van de zeefanalyse (Passing %), logistische curve  $Y = C/(1 + \text{EXP}(B*(X - M)))$ , waarin  $Y = \text{Passing } (\%)$  en  $X = \log(1 + \text{Zeef } (\text{mm}))$ .

<b>Parameter</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>K5</b>	<b>K6</b>	<b>K7</b>
B	10.8	127.8	6.4	7.0	6.7	21.6	221.4
M	0.206	0.025	0.389	0.653	0.650	0.109	0.022
C	98.4	98.1	89.8	105.8	106.0	99.3	98.5
$R_{\text{adj}}$	98.2	99.1	98.3	99	99.3	98.8	99.7
Mediaan (M in mm)	0.61	0.06	1.45	3.49	3.47	0.28	0.05

## Bijlage 4 Bulkdichtheid, vochtgehalte, pH en kalkgehalte

Tabel 1. Bulkdichtheid in gram per liter vers (ongedroogd) substraat en vochtgehalte.

monste nr	Omschrijving object	korrel grootte	bulkdichtheid, g/l vers substraat			gemiddeld
			meting 1	meting 2	meting 3	
1	Klei 1 (K1) onbemest	< 2 mm	1161	1149	1154	1155
2	Klei 2 (K2) onbemest	< 2 mm	854	848	848	850
3	Klei 3 (K3) onbemest	< 8 mm	944	939	935	940
4	Klei 4 (K4) onbemest	< 8 mm	1113	1121	1116	1117
5	Klei 5 (K5) onbemest	< 8 mm	1347	1345	1350	1347
8	Tuinturf (V1) onbemest	< 25 mm	408	412	414	411
9	Veenmosveen (V2) onbemest	< 25 mm	144	140	142	142
11	V2/K1/100 onbemest	< 25 mm	239	241	242	240
12	V2/K2/100 onbemest	< 25 mm	229	231	232	230
13	V2/K3/100 onbemest	< 25 mm	239	228	231	233
14	V2/K4/100 onbemest	< 25 mm	291	282	283	286
15	V2/K5/100 onbemest	< 25 mm	256	248	260	255
16	V2/K1/30 bemest	< 25 mm	165	168	169	168
17	V2/K2/30 bemest	< 25 mm	162	163	164	163
18	V2/K3/30 bemest	< 25 mm	159	156	164	160
19	V2/K4/30 bemest	< 25 mm	180	176	177	178
20	V2/K5/30 bemest	< 25 mm	163	161	164	163
23	V2/K1/100 bemest	< 25 mm	218	209	210	212
24	V2/K2/100 bemest	< 25 mm	210	218	217	215
25	V2/K3/100 bemest	< 25 mm	264	272	274	270
26	V2/K4/100 bemest	< 25 mm	248	256	259	254
27	V2/K5/100 bemest	< 25 mm	205	214	211	210
30	Veenmosveen (V2) bemest	< 25 mm	124	132	132	129

Tabel 2. Vocht- en drogestofgehalten

nr	vochtgehalte g/100 g droog (40°C)	droge stofgehalte g d.s./100 g droog (40°C)	vochtgehalte g/100 g droog (70°C)	droge stofgehalte g d.s./100 g droog (70°C)
1	10.8 <sup>a</sup>	89.2		
2	0.8	99.2		
3	16.6	83.4		
4	15.8	84.2		
5	4.5	95.5		
8	67.3	32.7	72.7	27.3
9	52.1	47.9	54.9	45.1
11	31.3 <sup>b</sup>	68.7	35.9	64.1
12	30.8	69.2	35.9	64.1
13	31.0	69.0	35.7	64.3
14	32.3	67.7	34.6	65.4
15	32.8	67.2	33.5	66.5
16	39.6	60.4	44.8	55.2
17	38.3	61.7	43.0	57.0
18	39.9	60.1	41.1	58.9
19	38.0	62.0	42.4	57.6
20	38.2	61.8	41.8	58.2
23	27.3	72.7	28.8	71.2
24	27.7	72.3	30.2	69.8
25	36.7	63.3	37.6	62.4
26	30.4	69.6	35.3	64.7
27	23.6	76.4	30.8	69.2
30	49.3	50.7	52.8	47.2



Tabel 3. pH en kalkgehalte.

Monster nr	pH (gemeten in 1:5 (v/v) met vers substraat)			CaCO <sub>3</sub> gram / 100 gram d.s. (40 °C)		
	meting 1	meting 2	gemiddeld	meting 1	meting 2	gemiddeld
1	6.99	7.14	7.07	0.313	0.149	0.231
2	6.70	6.75	6.73	0.225	0.233	0.229
3	7.15	7.05	7.10	0.050	0.061	0.055
4	7.45	7.48	7.47	0.025	0.037	0.031
5	7.36	7.55	7.46	0.000	0.148	0.074
8	3.72	3.93	3.83			
9	4.09	4.13	4.11			
11	4.36	4.41	4.39	0.0	0.0	0.000
12	4.13	4.16	4.15	0.0	0.1	0.054
13	4.28	4.28	4.28	0.0	0.0	0.000
14	4.36	4.37	4.37	0.0	0.0	0.000
15	4.42	4.49	4.46	0.0	0.0	0.033
16	5.35	5.36	5.36	0.4	0.7	0.525
17	5.26	5.36	5.31	0.1	0.3	0.187
18	5.34	5.34	5.34	0.4	0.5	0.457
19	5.12	5.13	5.13	0.3	0.4	0.383
20	5.23	5.42	5.33	0.3	0.1	0.239
23	5.08	5.08	5.08	0.6	0.3	0.419
24	5.41	5.5	5.46	0.5	0.3	0.441
25	5.36	5.37	5.37	0.3	0.4	0.352
26	5.15	5.2	5.18	0.6	0.5	0.547
27	5.34	5.21	5.28	0.9	0.7	0.825
30	4.99	5.1	5.05	0.4	0.7	0.520

## Bijlage 5. Korrelgrootteverdeling en kleimineralogie

Tabel 1. Korrelgrootteverdeling van de vijf kleimonsters uitgedrukt in gram per 100 gram gedroogd materiaal.

fractie	korrelgrootte	K1	K2	K3	K4	K5
zand	>50 $\mu\text{m}$	15.1	2.6	10.5	24.5	10.9
silt	2 tot 50 $\mu\text{m}$	54.5	49.4	70.8	37.5	41.7
klei	< 2 $\mu\text{m}$	30.4	48.0	18.7	38.0	47.4

Tabel 2. Kleimineralogie.

kleimineraal		K1	K2	K3	K4	K5
smectiet	g per 100 g kleifractie	0	20	45	5	40
vermiculiet	g per 100 g kleifractie	15	5	10	0	10
illiet	g per 100 g kleifractie	70	35	30	40	40
kaolinet	g per 100 g kleifractie	15	40	15	55	10
kleigehalte	g klei per 100 g gedroogd materiaal	30.4	48	18.7	38	47.4
smectiet	g per 100 g gedroogd materiaal	0	9.6	8.415	1.9	18.96
vermiculiet	g per 100 g gedroogd materiaal	4.56	2.4	1.87	0	4.74
illiet	g per 100 g gedroogd materiaal	21.28	16.8	5.61	15.2	18.96
kaolinet	g per 100 g gedroogd materiaal	4.56	19.2	2.805	20.9	4.74

## Bijlage 6 CEC en kationenbezetting

Tabel 1. Kationuitwisselcapaciteit (CEC) van kleien en venen, bepaald door middel van ongebufferde BaCl<sub>2</sub>-oplossing.

monster		CEC			cmol(+)/liter vers substraat
		Cmol(+)/kg gedroogd substraat			
		meting 1	meting 2	gemiddeld	
pH actueel					
klei	1	9.52	8.57	9.05	9.32
klei	2	16.44	16.65	16.55	13.95
klei	3	10.19	10.49	10.34	8.10
klei	4	32.46	32.35	32.40	30.48
klei	5	18.05	15.59	16.82	21.64
veen	8	9.71	12.01	10.86	1.22
veen	9	8.34	3.09**	5.71	0.37
pH 5.5					
klei	1	8.65	8.72	8.68	8.94
klei	2	11.65	14.58	13.12	11.06
klei	3	9.50	8.93	9.22	7.22
klei	4	34.55	34.77	34.66	32.61
klei	5	16.63	18.33	17.48	22.49
veen	8	20.11	16.91	18.51	2.08
veen	9	16.34	12.45	14.40	0.92

\*\* Een CEC van veen 9 bij actuele pH van 3.1 cmol/kg is waarschijnlijk een meetfout volgens de laborant die de proef uitgevoerd heeft.

Tabel 2. Kationuitwisselcapaciteit van klei/veen-mengsels, bepaald door middel van ongebufferde BaCl<sub>2</sub>-oplossing.

Monster		CEC			cmol(+)/liter vers substraat
nr		Cmol(+)/kg gedroogd substraat			
		meting 1	meting 2	gemiddelde	
	11	13.65	12.07	12.86	1.98
	12	18.80	15.36	17.08	2.52
	13	12.77	13.86	13.32	1.99
	14	28.51	28.83	28.67	5.35
	15	20.14	21.27	20.71	3.51
	16	19.36	22.32	20.84	1.93
	17	21.07	22.81	21.94	2.04
	18	21.45	18.93	20.19	1.90
	19	16.42	15.04	15.73	1.61
	20	16.60	17.86	17.23	1.63
	23	19.13	18.14	18.63	2.82
	24	18.78	21.29	20.04	3.01
	25	24.71	22.78	23.75	4.00
	26	24.13	27.85	25.99	4.27
	27	21.92	19.05	20.49	2.97
	30	21.76	23.84	22.80	1.39

Tabel 3. Gemiddelden kationbezetting cmol(+)/kg gedroogd materiaal.

nr.	Na <sup>+</sup> cmol+/kg	K <sup>+</sup> cmol+/kg	Ca <sup>2+</sup> cmol+/kg	Mg <sup>2+</sup> cmol+/kg	Al <sup>3+</sup> cmol+/kg	Mn <sup>2+</sup> cmol+/kg
Actuele pH						
1	0.06	0.07	9.50	1.48	0.00	0.01
2	0.22	0.43	16.32	2.58	0.02	0.04
3	0.09	0.22	10.16	1.60	0.06	0.04
4	0.20	0.76	31.25	13.24	0.01	0.01
5	0.14	0.44	18.96	2.05	0.00	0.01
8	0.90	0.11	5.81	9.37	1.66	0.07
9	0.51	0.18	3.95	6.25	1.48	0.03
pH 5.5						
1	0.09	0.11	9.55	1.52	0.16	0.03
2	0.31	0.42	18.66	3.25	0.01	0.18
3	0.21	0.26	10.16	1.71	0.06	0.19
4	0.28	0.75	31.27	13.30	0.02	0.07
5	0.29	0.64	19.26	2.29	0.02	0.16
8	0.87	0.10	61.37	9.72	0.00	0.08
9	0.49	0.11	59.30	6.62	0.07	0.04

Tabel 4. Gemiddelde waarden kationbezetting in cmol(+)/kg gedroogd materiaal voor mengsels van klei en veen.

nr.	Na <sup>+</sup> cmol+/kg	K <sup>+</sup> cmol+/kg	Ca <sup>2+</sup> cmol+/kg	Mg <sup>2+</sup> cmol+/kg	Al <sup>3+</sup> cmol+/kg	Mn <sup>2+</sup> cmol+/kg
11	0.2	-0.3	8.2	3.7	2.5	0.2
12	0.3	0.2	12.9	4.1	1.8	0.2
13	0.2	-0.1	9.0	3.5	2.2	0.4
14	0.3	0.5	24.2	10.8	2.7	0.3
15	0.2	-0.1	13.3	3.4	2.6	0.3
16	0.5	5.9	36.4	18.2	-0.1	0.2
17	0.6	6.6	39.2	18.7	0.0	0.2
18	0.5	6.4	36.8	17.3	-0.1	0.3
19	0.5	5.9	39.3	20.1	-0.1	0.2
20	0.5	6.1	36.1	17.5	0.0	0.2
23	0.2	1.8	24.1	10.5	0.0	0.2
24	0.4	3.8	31.7	12.9	0.0	0.2
25	0.3	3.6	26.2	11.7	-0.1	0.3
26	0.4	3.7	38.1	18.4	0.0	0.2
27	0.4	3.3	31.1	11.6	0.0	0.2
30	0.8	9.8	47.6	26.5	-0.2	0.2

## Bijlage 7 Samenstelling bodemvocht

Tabel 1. Gemiddelde waarden samenstelling bodemvocht, mg per l bodemvocht.

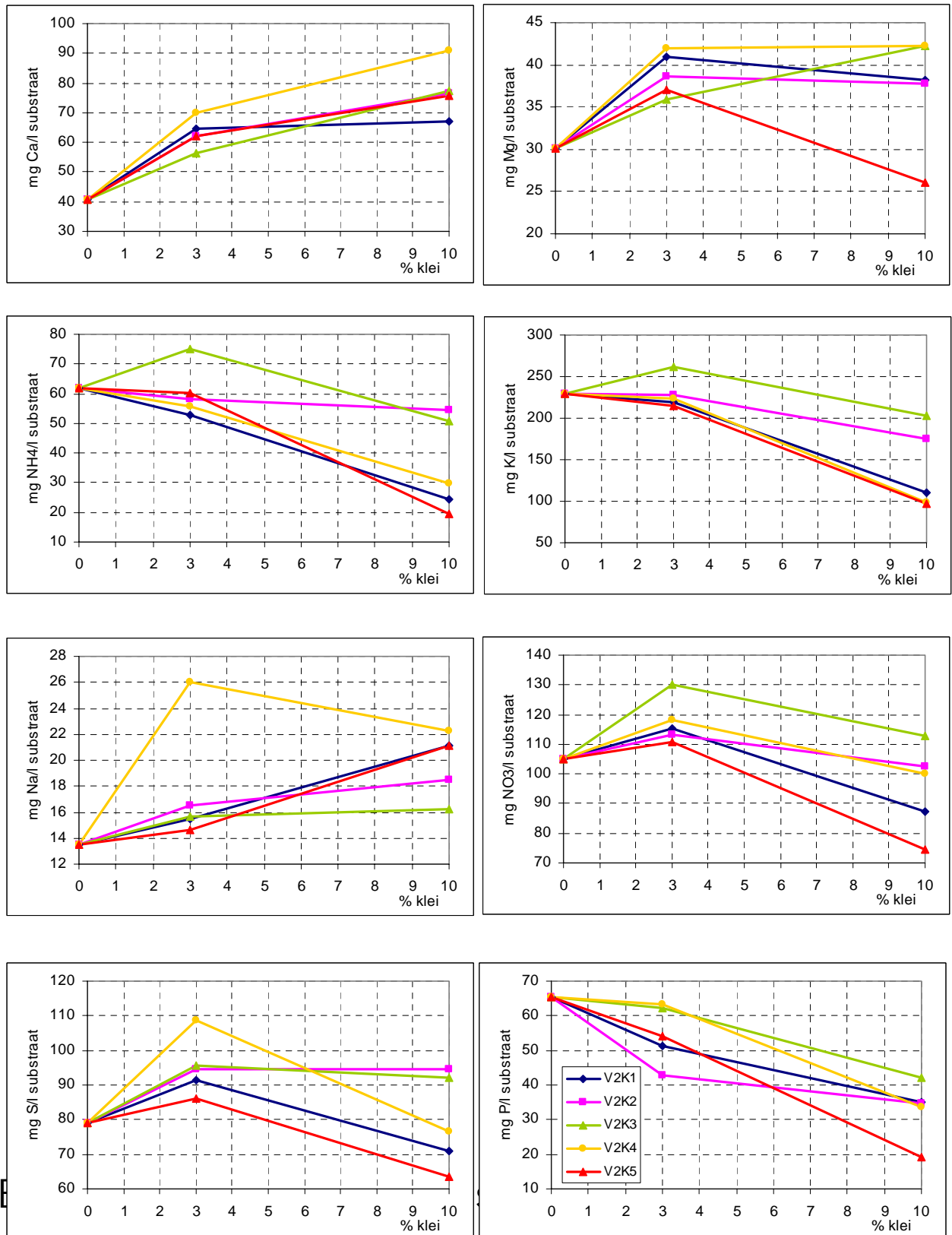
nr	pH	EC µs/cm	N-NO3 (mg/l)	N-NH4 (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	P (mg/l)	S (mg/l)
Actuele pH										
1	7.1	27.5	0.53	0.12	2.80	1.45	0.73	0.76	0.05	0.68
2	6.7	260.0	0.48	0.30	36.14	5.29	4.80	6.62	0.04	29.13
3	7.1	45.0	0.02	0.02	4.38	1.50	1.24	2.67	0.25	1.56
4	7.5	19.5	0.05	-0.03	1.83	1.08	1.12	1.35	0.14	1.43
5	7.5	64.5	0.40	-0.03	11.02	2.07	1.62	2.68	0.07	0.99
8	3.8	57.0	1.15	1.17	0.12	1.27	0.17	3.14	0.15	2.93
9	4.1	41.5	0.15	0.57	0.11	1.88	0.02	1.24	0.08	2.52
pH 5.5										
1	5.3	351.0	0.50	0.08	38.63	1.64	5.17	1.67	0.01	0.95
2	5.5	1463.5	0.43	0.26	200.58	10.02	24.22	8.97	0.02	33.81
3	5.4	459.0	0.12	0.12	53.11	3.34	6.99	3.35	0.05	2.20
4	5.5	555.5	0.15	0.11	51.39	5.45	16.14	5.33	0.05	0.72
5	5.4	893.0	0.34	0.12	115.52	6.52	9.76	5.42	0.03	1.50
8	5.5	100.5	3.47	0.24	4.28	6.11	1.03	4.48	0.12	3.20
9	5.5	36.5	0.21	0.84	0.97	1.36	0.17	1.90	0.09	2.73

Tabel 2. Gemiddelde waarden samenstelling bodemvocht uitgedrukt in mg per l bodemvocht.

code	pH	EC µs/cm	N-NO3 (mg/l)	N-NH4 (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	P (mg/l)	S (mg/l)
11	4.4	29	0.08	0.01	0.39	0.44	0.21	1.46	0.68	0.39
12	4.1	78	0.15	0.63	2.21	3.18	0.84	2.30	0.32	4.79
13	4.3	28	0.08	0.14	0.63	2.60	0.44	1.25	0.67	0.63
14	4.4	69	0.08	1.10	1.55	1.63	0.72	2.09	4.78	0.72
15	4.5	46	0.14	0.27	0.86	1.22	0.56	1.61	0.57	0.77
16	5.4	415	26.53	12.00	12.59	42.85	8.04	2.91	10.60	17.96
17	5.3	409	26.16	13.27	12.12	44.72	7.61	3.13	10.40	18.64
18	5.3	453	30.01	17.13	10.99	51.50	7.06	2.94	12.10	18.83
19	5.1	444	27.16	12.65	13.65	43.88	8.22	4.97	12.00	21.39
20	5.3	393	25.57	13.68	12.10	42.10	7.26	2.73	10.38	16.96
23	5.1	322	20.17	5.47	13.11	21.51	7.53	4.04	6.53	14.03
24	5.5	374	23.74	12.40	14.97	34.27	7.46	3.50	6.44	18.67
25	5.4	387	25.85	11.44	14.98	39.51	8.27	3.04	7.86	17.99
26	5.2	338	23.04	6.75	17.77	19.16	8.29	4.25	6.25	15.07
27	5.3	267	17.24	4.33	14.89	18.87	5.11	4.04	3.48	12.50
30	5.0	400	24.26	14.10	7.87	45.03	5.93	2.53	12.66	15.60

# Bijlage 8 Relatie kleigehalte en nutriëntengehalte

Fig. Relatie tussen kleigehalte in veen-klei mengsels en nutriëntengehalte in bodemvocht voor vijf kleien



Hoeveelheid uitgespoelde vloeistof per object per spoelbeurt, ml

object	spoelbeurt									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1	47.3	46.8	50.9	54.7	49.8	47.9	51.4	48.9	56.2	50.6
V2K5	43.0	42.2	44.1	54.7	47.4	58.9	40.9	60.6	48.8	50.9
V2	39.9	40.8	48.4	53.0	46.8	54.4	48.9	51.1	52.6	46.9

Cl-concentratie; mmol Cl/l

object		spoelbeurt									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1	0.5	0.4	0.5	0.8	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.4
V2K5	0.5	0.4	0.5	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.3
V2	0.5	0.4	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2

NO3-concentratie; mmol NO3/l

object		spoelbeurt									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1	23.6	20.6	14.9	6.6	3.3	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V2K5	23.7	20.8	15.0	6.6	2.8	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V2	23.9	22.1	17.2	8.6	4.8	2.9	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0

NH4-concentratie; mmol NH4/l

object		spoelbeurt									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1	2.8	2.5	2.0	1.3	1.0	0.8	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4
V2K5	3.0	2.8	2.3	1.5	1.1	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
V2	5.5	5.0	4.1	2.7	2.0	1.5	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6

P-concentratie; mmol P/l

object		spoelbeurt									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1	2.3	2.3	2.0	1.4	0.9	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
V2K5	1.4	1.4	1.3	1.0	0.7	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
V2	4.6	4.4	3.6	2.2	1.4	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3

S-concentratie; mmol S/l

object		spoelbeurt									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1	5.4	4.5	3.4	2.1	1.5	1.3	1.3	1.1	1.1	1.0	1.0
V2K5	5.3	4.5	3.5	2.2	1.5	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0
V2	5.6	5.0	3.9	2.5	1.7	1.4	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0

Mg-concentratie; mmol Mg/l

object	voedings opl	spoelbeurt									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1	6.6	5.8	4.3	2.2	1.3	0.9	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6
V2K5	5.6	4.9	3.6	1.9	1.1	0.8	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
V2	6.1	5.6	4.4	2.5	1.5	1.0	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6

Ca-concentratie; mmol Ca/l

object	voedings opl	spoelbeurt									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1	7.5	6.6	4.8	2.4	1.4	1.0	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6
V2K5	7.5	6.7	4.8	2.5	1.4	1.0	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
V2	6.0	5.4	4.2	2.3	1.4	1.0	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6

K-concentratie; mmol K/l

object	voedings opl	spoelbeurt									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1	5.3	4.9	4.2	2.7	2.1	1.7	1.5	1.3	1.3	1.2	1.2
V2K5	6.3	5.8	4.9	3.3	2.3	1.9	1.6	1.5	1.5	1.8	1.2
V2	10.6	9.8	8.3	5.5	4.0	3.1	2.3	2.0	1.8	1.6	1.4

Cumulatieve uitspoeling gedurende de uitspoelingsproef

Cumulatieve Cl-uitspoeling;  $\mu\text{mol}$

object	spoelbeurt										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1		21	45	87	140	190	241	297	351	416	485
V2K5		16	38	73	123	169	230	273	340	395	462
V2		16	34	67	111	155	208	259	314	373	431

Cumulatieve NO<sub>3</sub>-uitspoeling;  $\mu\text{mol}$

object	spoelbeurt										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1		971	1663	1998	2180	2259	2260	2260	2260	2260	2260
V2K5		894	1522	1817	1969	2031	2032	2032	2032	2032	2032
V2		884	1589	2007	2263	2396	2406	2411	2415	2419	2420

Cumulatieve NH<sub>4</sub>-uitspoeling;  $\mu\text{mol}$

object	spoelbeurt										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1		118	214	281	336	374	404	433	459	486	509
V2K5		121	219	286	345	384	424	450	485	511	536
V2		201	367	497	601	671	727	772	814	853	882



Cumulative P-uitspoeling;  $\mu\text{mol}$

object	spoelbeurt									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1	107	199	268	318	351	385	415	438	460	476
V2K5	59	113	158	195	220	250	268	290	304	317
V2	177	323	431	503	545	586	616	640	659	673

Cumulative S-uitspoeling;  $\mu\text{mol}$

object	spoelbeurt									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1	214	373	482	564	626	689	745	797	856	907
V2K5	194	339	436	516	574	640	685	749	802	852
V2	198	360	480	570	635	698	753	809	866	913

Cumulative Mg-uitspoeling;  $\mu\text{mol}$

object	spoelbeurt									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1	273	471	584	658	705	738	771	800	832	862
V2K5	209	361	446	503	538	573	596	627	652	679
V2	226	407	528	608	657	695	726	757	788	817

Cumulative Ca-uitspoeling;  $\mu\text{mol}$

object	spoelbeurt									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1	310	534	657	736	787	825	861	894	929	962
V2K5	284	486	596	670	717	764	796	837	871	906
V2	218	391	502	576	622	660	691	721	750	777

Cumulative K-uitspoeling;  $\mu\text{mol}$

object	spoelbeurt									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V2K1	231	429	568	683	769	840	908	971	1039	1098
V2K5	249	455	601	729	820	914	976	1067	1156	1218
V2	393	731	996	1209	1354	1478	1575	1667	1750	1817

## Bijlage 10 Uitspoelingsproef; balansen voor NH<sub>4</sub>, K en P

### Algemeen

	object		eenheid
	V2/K1/100	V2/K5/100	V2
Potten werden gevuld met 300 ml vers substraat			
bulkdichtheid per object:	212	210	129 g/l
gewicht vers substraat:	64	63	39 g
reeds aanwezig vocht:	18	19	20 ml
totaal toegediend vocht met voedingsoplossing:	175	175	220 ml
uitgelekt vocht (voedingsoplossing):	64	68	91 ml
Uitgangshoeveelheid vocht:	129	126	149 ml
CEC, onbemest:	1.98	3.51	0.95 cmol/l
K-bezetting:	0	0	0.01 cmol/l
Ca-bezetting:	1.26	2.26	0.25 cmol/l
Mg-bezetting:	0.57	0.57	0.4 cmol/l
K-bezetting:	0	0	30 µmol
Ca-bezetting:	3780	6780	750 µmol
Mg-bezetting:	1710	1710	1200 µmol

**Bemesting:** 0.5 kg PG-mix 12+14+24 + 2 MgO per m<sup>3</sup> substraat (12% N bevat 5% NH<sub>4</sub>-N + 7% NO<sub>3</sub>-N)  
Per 300 ml substraat is 0.5 \* 0.3 g PG-mix toegediend. Daarmee is toegediend:

7.5	Mg NH <sub>4</sub> -N	, ofwel 0.536	mmol NH <sub>4</sub> -N	
21	Mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	, ofwel 0.148	mmol P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	, ofwel 0.296 mmol P
36	Mg K <sub>2</sub> O	, ofwel 0.383	mmol K <sub>2</sub> O	, ofwel 0.766 mmol K
3	Mg MgO	, ofwel 0.075	mmol MgO	, ofwel 0.075 mmol Mg

**Bekalking:** 3 kg Dolokal PG per m<sup>3</sup> veen: 10% MgO en 40% CaO

<b>Voedingsoplossing:</b> netto toeged. per 300 ml substraat		111	107	129 ml
1.0 mM NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> :	NH <sub>4</sub> -toediening per object	0.111	0.107	0.129 mmol NH <sub>4</sub>
4.0 mM Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>				
1.0 mM MgSO <sub>4</sub>				
1.5 mM KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> :	K- en PO <sub>4</sub> -toediening per object	0.167	0.161	0.194 mmol K en PO <sub>4</sub>
5.0 mM KNO <sub>3</sub> :	K-toediening per object	0.555	0.535	0.645 mmol K

### NH<sub>4</sub>-Balans per object

	Object		
	V2K1	V2K5	V2
Aanvoer hvh aangevoerd met bemesting	536	536	536 µmol
hvh aangevoerd met voedingsoplossing	111	107	129 µmol
Uitgespoelde hoeveelheid	506	536	882 µmol
Aanvoer - afvoer	141	107	-217 µmol

### K-balans per object

Aanvoer hvh aangevoerd met bemesting	766	766	766 µmol
hvh aangevoerd met voedingsoplossing	722	696	839 µmol
Uitgespoelde hoeveelheid	1098	1218	1817 µmol
Aanvoer - afvoer	389	243	-213 µmol

### P-balans per object

Aanvoer hvh aangevoerd met bemesting	296	296	296 µmol
hvh aangevoerd met voedingsoplossing	167	161	194 µmol
Uitgespoelde hoeveelheid	476	317	673 µmol
Aanvoer - afvoer	-14	139	-184 µmol

## Bijlage 11 Ionconcentraties in bodemvocht

Tabel. Resultaten van afzonderlijke bepalingen van de ionconcentraties in bodemvocht van bemeste mengsels; duplo-metingen. Het betreft ongecorrigeerde meetgegevens. Een correctie dient nog toegepast te worden voor de meting met de ICP (vermenigvuldiging met 1.17) en voor blanco's. De gegevens van  $NH_4$ , Ca, K en Mg zijn gebruikt voor statistische analyse (zie bijlage 10).

Object	her-haling	Concentratie in bodemvocht van bemeste mengsels van veen en klei, mg/l vocht								
		NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Ca	K	Mg	Na	P	S	
V2/K1/30	1	22.3	10.3	10.9	36.2	6.8	2.6	9.0	15.3	
V2/K1/30	2	23.1	10.6	10.9	37.8	7.0	2.7	9.2	15.5	
V2/K2/30	1	21.9	11.3	10.8	38.0	6.6	2.7	9.1	16.2	
V2/K2/30	2	22.8	11.7	10.2	39.2	6.5	2.9	8.8	15.8	
V2/K3/30	1	25.1	14.1	9.7	44.5	6.1	2.6	10.6	16.4	
V2/K3/30	2	26.2	15.5	9.4	44.3	6.0	2.8	10.2	16.0	
V2/K4/30	1	23.8	11.1	12.5	44.9	7.5	4.4	10.5	21.2	
V2/K4/30	2	22.7	10.8	11.2	30.9	6.7	4.4	10.1	15.5	
V2/K5/30	1	21.4	11.5	10.3	35.3	6.1	2.4	8.6	14.3	
V2/K5/30	2	22.4	12.2	10.7	37.4	6.4	2.6	9.2	14.9	
V2/K1/100	1	17.8	4.9	11.8	19.4	6.6	3.2	5.6	12.2	
V2/K1/100	2	16.7	4.7	10.9	18.0	6.3	4.0	5.6	11.9	
V2/K2/100	1	20.9	10.7	12.7	29.2	6.3	3.2	5.3	15.5	
V2/K2/100	2	19.7	10.8	13.2	30.1	6.5	3.1	5.8	16.6	
V2/K3/100	1	21.7	10.6	13.0	33.7	7.0	2.6	6.5	15.6	
V2/K3/100	2	22.6	9.3	13.0	34.6	7.2	2.8	7.0	15.3	
V2/K4/100	1	19.8	5.9	16.2	16.7	7.4	3.1	5.4	13.0	
V2/K4/100	2	19.6	5.9	14.6	16.6	6.8	4.5	5.3	13.0	
V2/K5/100	1	15.2	4.0	14.9	16.7	4.9	2.5	3.1	11.1	
V2/K5/100	2	14.2	3.7	10.9	16.2	3.9	4.7	2.8	10.5	

## Bijlage 12. Multiple lineaire regressie

Resultaten van de multiple lineaire regressie met gegevens uit 3.1.2.6.

Genstat-uitdraai. De gebruikte gegevens zijn concentraties in het bodemvocht van bemeste mengsels met 10% klei (bijlage 8), de CEC van de onbemeste kleien (tabel 6) en de bezetting van de CEC met Na+K (afgeleid uit tabel 6 van de hoofdtekst).

\*\*\*\*\* Regression Analysis \*\*\*\*\*

Response variate: K

Fitted terms: Constant, CECact, K\_bezet\_act

\*\*\* Summary of analysis \*\*\*

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regression	2	409.6	204.79	10.92	0.007
Residual	7	131.3	18.76		
Total	9	540.9	60.10		

Percentage variance accounted for 68.8

Standard error of observations is estimated to be 4.33

\*\*\* Estimates of parameters \*\*\*

	estimate	s.e.	t(7)	t pr.
Constant	22.29	4.57	4.88	0.002
CECact	-0.864	0.189	-4.58	0.003
K_bezet_act	7.24	2.36	3.07	0.018

\*\*\*\*\* Regression Analysis \*\*\*\*\*

Response variate: NH4\_N

Fitted terms: Constant, CECact

\*\*\* Summary of analysis \*\*\*

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regression	1	14.36	14.362	1.79	0.217
Residual	8	64.06	8.007		
Total	9	78.42	8.713		

Percentage variance accounted for 8.1

Standard error of observations is estimated to be 2.83

\*\*\* Estimates of parameters \*\*\*

	estimate	s.e.	t(8)	t pr.
Constant	9.43	2.00	4.72	0.001
CECact	-0.143	0.107	-1.34	0.217

\*\*\*\*\* Regression Analysis \*\*\*\*\*

Response variate: Mg

Fitted terms: Constant, CECact, Mg\_bezet\_act

\*\*\* Summary of analysis \*\*\*

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regression	2	9.8380	4.9190	36.00	<.001
Residual	7	0.9564	0.1366		
Total	9	10.7944	1.1994		

Percentage variance accounted for 88.6

Standard error of observations is estimated to be 0.370

\* MESSAGE: The following units have large standardized residuals:

Unit	Response	Residual
10	3.890	-2.03

\*\*\* Estimates of parameters \*\*\*

	estimate	s.e.	t(7)	t pr.
Constant	20.01	1.62	12.36	<.001
CECact	-0.1552	0.0215	-7.23	<.001
Mg_bezet_act	-0.1449	0.0173	-8.38	<.001

\*\*\*\*\* Regression Analysis \*\*\*\*\*

Response variate: Ca

Fitted terms: Constant, CECact, Ca\_bezet\_act

\*\*\* Summary of analysis \*\*\*

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regression	2	13.04	6.519	3.56	0.086
Residual	7	12.83	1.833		
Total	9	25.87	2.874		

Percentage variance accounted for 36.2

Standard error of observations is estimated to be 1.35

\* MESSAGE: The following units have large standardized residuals:

Unit	Response	Residual
10	10.94	-2.04

\*\*\* Estimates of parameters \*\*\*

	estimate	s.e.	t(7)	t pr.
Constant	10.730	0.994	10.79	<.001
CECact	0.0695	0.0767	0.91	0.395
Ca_bezet_act	0.0610	0.0612	1.00	0.352

## Bijlage 13. P-concentratie en P-fixerend vermogen

*Tabel. Resultaten van afzonderlijke waarnemingen van P-concentratie in uitspoelingswater en P-fixerend vermogen van substraten in uitspoelingsproef. Gegevens zijn gebruikt voor de statistische analyse (bijlage 12).*

object	herhaling	P-concentratie in uitgespoelde water, mg P/l vocht	Ammonium oxalaat oxaalzuur extractie van substraten	
			Alox(mg/l)	Feox(mg/l)
V2/K1/100	1	69	97	199
V2/K1/100	2	74	91	131
V2/K1/100	3	68	94	150
V2/K5/100	1	45	215	532
V2/K5/100	2	39	213	593
V2/K5/100	3	46	216	567
V2	1	131	50	112
V2	2	141	48	111
V2	3	140	53	116

## Bijlage 14 Multiple lineaire regressie uitspoelingsproef

Resultaten van de multiple lineaire regressie met P-data uit uitspoelingsproef.  
Genstat-uitdraai.

\*\*\*\*\* Regression Analysis \*\*\*\*\*

Response variate: mg\_P\_1

Fitted terms: Constant, Alox\_mg\_1, Feox\_mg\_1

\*\*\* Summary of analysis \*\*\*

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regression	2	13004.	6502.1	33.07	<.001
Residual	6	1180.	196.6		
Total	8	14184.	1773.0		

Percentage variance accounted for 88.9

Standard error of observations is estimated to be 14.0

\*\*\* Estimates of parameters \*\*\*

	estimate	s.e.	t(6)	t pr.
Constant	169.2	12.1	13.94	<.001
Alox_mg_1	-1.663	0.355	-4.68	0.003
Feox_mg_1	0.406	0.121	3.34	0.016

## Bijlage 15 Fysische eigenschappen potten

*Tabel . Resultaten van de bulkdichtheid (Bulkd.), poriëvolume (Por.) en lucht en watergehalten bij verschillende drukhoogten van de potten na de teelt met Begonia.*

Omschrijving	Droog/ Nat	Bulkd. kg m <sup>-3</sup>	Por. %-v	Lucht (%-v) Water (%-v) bij drukhoogte (cm) bij					
				uitlek	uitlek	-10	-32	-50	-100
V2	Droog	92	94	10	84	66	50	44	36
V2/K5/100	Droog	204	90	14	76	62	50	45	38
V2/K7/100	Droog	217	89	14	75	63	53	49	44
V2	Nat	90	95	12	83	67	52	46	37
V2/K5/100	Nat	206	90	12	78	65	53	48	42
V2/K7/100	Nat	211	90	16	74	60	50	47	42



## Bijlage 16 Chemische analyses volgens 1:1.5 teelt begonia

Tabel . Resultaten van de 1:1.5 bepaling tijdens de Begonia teelt.

	K/Ca	datum	pH	EC	NH <sub>4</sub>	K	Na	Ca	Mg	Si	NO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	P	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
				mS/cm	mmol/l											µmol/l					
-	Standaard	08-09-03	5.5	0.4	0.9	0.8	0.3	0.3	0.4		1.2	0.2	0.6	0.1	0.51	16	0.9	0.7	1.1	0.3	
		17-10-03	5.5	0.5	<0.1	1.3	0.2	0.8	0.5	<0.05	2.7	0.3	0.6	<0.1	0.5	5.7	1.2	1.8	8	0.3	<0.1
CEC laag	Standaard	08-09-03	5.4	0.4	0.7	0.7	0.3	0.5	0.5		1.5	0.2	0.7	0.1	0.31	61	1.7	0.6	1	0.2	
		17-10-03	5.4	0.5	<0.1	1.2	0.2	0.7	0.4	0.1	2.3	0.3	0.5	<0.1	0.4	48.8	2.2	1	9	0.3	<0.1
CEC hoog	Standaard	08-09-03	5.8	0.5	0.5	0.6	0.4	0.6	0.5		1.5	0.2	0.7	0.1	0.18	10	2.2	0.5	1.7	0.3	
		17-10-03	5.8	0.3	<0.1	1.1	0.3	0.5	0.4	0.4	1.4	0.4	0.4	<0.1	0.5	48.6	0	0.8	8	0.3	<0.1
CEC hoog gegranuleerd	Standaard	08-09-03	5.6	0.4	0.7	0.5	0.4	0.6	0.4		1.6	0.2	0.6	0.1	0.13	7	1.6	0.3	1.4	0.2	
		17-10-03	5.5	0.5	<0.1	1.1	0.2	0.8	0.5	0.4	2.2	0.3	0.5	<0.1	0.6	27.2	2.4	1	8	0.3	<0.1
-	Hoog	08-09-03	5.6	0.5	0.8	2.3	0.3	0.3	0.2		1.7	0.2	0.4	0.1	0.52	12	0.4	0.6	2.5	0.2	
		17-10-03	5.4	0.6	<0.1	2.8	0.3	0.5	0.4	0.1	2.8	0.3	0.8	<0.1	0.6	14.4	1	1.7	11	0.3	<0.1
CEC laag	Hoog	08-09-03	5.4	0.4	0.5	1.3	0.3	0.3	0.3		1.4	0.2	0.6	0.1	0.29	74	1.4	0.4	2.1	0.7	
		17-10-03	5.2	0.5	<0.1	1.8	0.2	0.3	0.3	0.3	2.1	0.3	0.2	<0.1	0.5	102	2	0.7	8	0.3	<0.1
CEC hoog	Hoog	08-09-03	5.4	0.4	0.9	1.3	0.4	0.3	0.2		1.3	0.2	0.6	0.1	0.15	11	1.6	0.2	2.2	0.1	
		17-10-03	5.3	0.5	<0.1	2.2	0.3	0.3	0.5	0.8	2.4	0.3	0.3	<0.1	0.5	104.8	3.7	0.6	11	0.3	<0.1
CEC hoog gegranuleerd	Hoog	08-09-03	5.3	0.6	0.4	1.2	0.3	0.3	0.2		1.2	0.2	0.6	0.1	0.19	12	1.4	0.2	1.9	0.1	
		17-10-03	5.1	0.5	<0.1	2.2	0.4	0.3	0.6	1.2	2	0.4	0.3	<0.1	0.5	169.1	2	0.8	11	0.6	<0.1

## Bijlage 17 CEC en bezetting complex teelt begonia

Tabel . Resultaten van de bepaling van de CEC en de bezetting van het complex van het substraat van de Begonia planten aan het begin van de teelt (Houba et al., 1997).

	K/Ca	CEC	Na	K	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	Mn
Klei		cmol/kg						
-	Standaard	71	1.3	6	85	16	0.2	0.1
CEC laag	Standaard	40	0.8	2	42	8	0.0	0.1
CEC hoog	Standaard	50	0.7	2	47	9	0.2	0.1
CEC hoog gegranuleerd	Standaard	45	0.8	3	44	8	0.1	0.1
-	Hoog	72	1.0	14	61	14	0.3	0.1
CEC laag	Hoog	29	0.8	7	31	6	0.1	0.2
CEC hoog	Hoog	48	0.8	8	34	8	0.2	0.2
CEC hoog gegranuleerd	Hoog	45	1.1	9	33	7	0.2	0.2

Tabel . Resultaten van de schatting van de CEC en de bezetting van het complex van de Begonia planten aan het begin van de teelt (Houba et al., 1997).

	K/Ca	Bulkdicht heid	CEC	Na	K	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	Mn
Klei		kg/m <sup>3</sup>	mol/m <sup>3</sup>						
-	Standaard	77	55	1	5	65	12	0.1	0.1
CEC laag	Standaard	187	74	1	4	79	14	0.0	0.2
CEC hoog	Standaard	253	125	2	5	118	23	0.5	0.3
CEC hoog gegranuleerd	Standaard	186	83	1	6	82	15	0.1	0.2
-	Hoog	77	55	1	10	47	11	0.2	0.1
CEC laag	Hoog	187	54	1	13	58	11	0.1	0.3
CEC hoog	Hoog	253	120	2	20	85	20	0.4	0.5
CEC hoog gegranuleerd	Hoog	186	84	2	16	61	13	0.4	0.4

Tabel . Resultaten van de bepaling van de bezetting van het complex van het substraat van de Begonia planten aan het eind van de houdbaarheid (Houba et al., 1997).

	K/Ca	Na	K	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	Mn
Klei							
-	Standaard	2.1	3.0	72.8	19.8	0.2	0.0
CEC laag	Standaard	1.0	0.7	37.7	9.6	0.0	0.0
CEC hoog	Standaard	0.8	1.1	42.6	12.6	0.0	0.1
CEC hoog gegranuleerd	Standaard	0.8	1.5	39.9	9.8	-0.1	0.1
-	Hoog	1.6	5.7	61.6	15.9	0.0	0.1
CEC laag	Hoog	0.3	2.8	25.5	6.6	0.3	0.1
CEC hoog	Hoog	1.0	4.2	33.6	8.6	0.2	0.2
CEC hoog gegranuleerd	Hoog	0.8	3.8	31.1	8.3	0.4	0.2

## Bijlage 18 Resultaten uitbloeiproeven

Tabel . Gemiddelde van Bloem/knopval van Begonia in de uitbloeiproef.

Omschrijving	Droog/Nat	Gemiddelde van Bloem/knopval					Eindtotaal
		17-nov	20-nov	27-nov	04-dec	11-dec	
V2	Droog	0.0	0.0	0.2	3.3	3.8	1.3
V2/K5/100	Droog	0.0	0.0	0.0	3.1	4.0	1.3
V2/K7/100	Droog	0.0	0.0	0.4	2.5	4.0	1.2
V2	Nat	0.0	0.0	0.3	2.2	4.0	1.2
V2/K5/100	Nat	0.0	0.0	0.1	2.1	4.0	1.1
V2/K7/100	Nat	0.0	0.0	0.1	1.8	3.9	1.1

Tabel . Gemiddelde van Bloem/knopval van Begonia in de uitbloeiproef.

Klei	K/Ca	Gemiddelde van Bloem/knopval					Eindtotaal
		17-nov	20-nov	27-nov	04-dec	11-dec	
-	Standaard	0.0	0.0	0.1	2.3	4.0	1.2
CEC laag	Standaard	0.0	0.0	0.1	1.7	4.0	1.0
CEC hoog	Standaard	0.0	0.0	0.2	1.9	4.0	1.2
CEC hoog gegranuleerd	Standaard	0.0	0.0	0.0	1.5	3.9	1.1
-	Hoog	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	1.1
CEC laag	Hoog	0.0	0.0	0.0	1.5	4.0	1.1
CEC hoog	Hoog	0.0	0.0	0.1	1.3	4.0	1.1
CEC hoog gegranuleerd	Hoog	0.0	0.0	0.1	1.8	4.0	1.2

Tabel . Gemiddelde van bruine bloemen van Begonia in de uitbloeiproef.

Omschrijving	Droog/Nat	Gemiddelde van Bruine bloemen					Eindtotaal
		17-nov	20-nov	27-nov	04-dec	11-dec	
V2	Droog	0.0	0.0	0.1	2.3	1.5	0.7
V2/K5/100	Droog	0.0	0.0	0.0	2.1	1.3	0.6
V2/K7/100	Droog	0.0	0.0	0.0	1.9	1.3	0.6
V2	Nat	0.0	0.0	0.1	2.1	0.4	0.5
V2/K5/100	Nat	0.0	0.0	0.1	2.6	1.0	0.7
V2/K7/100	Nat	0.0	0.0	0.2	2.0	0.7	0.6

Tabel . Gemiddelde van bruine bloemen van Begonia in de uitbloeiproef.

Klei	K/Ca	Gemiddelde van Bruine bloemen					Eindtotaal
		17-nov	20-nov	27-nov	04-dec	11-dec	
-	Standaard	0.0	0.0	0.1	2.1	1.2	0.7
CEC laag	Standaard	0.0	0.0	0.0	2.2	0.8	0.6
CEC hoog	Standaard	0.0	0.0	0.1	2.1	1.3	0.7
CEC hoog gegranuleerd	Standaard	0.0	0.0	0.1	2.3	1.5	0.8
-	Hoog	0.0	0.0	0.2	2.3	0.7	0.6
CEC laag	Hoog	0.0	0.0	0.0	2.1	1.2	0.6
CEC hoog	Hoog	0.0	0.0	0.3	1.8	1.2	0.6
CEC hoog gegranuleerd	Hoog	0.0	0.0	0.2	1.9	1.0	0.6

Tabel . Gemiddelde van de sierwaarde van Begonia in de uitbloeioproef.

Omschrijving	Droog/Nat	Gemiddelde van de Sierwaarde					Eindtotaal
		17-nov	20-nov	27-nov	04-dec	11-dec	
V2	Droog	5.0	5.0	5.0	1.8	1.0	3.6
V2/K5/100	Droog	5.0	5.0	5.0	2.7	1.0	3.7
V2/K7/100	Droog	5.0	5.0	5.0	2.3	1.0	3.7
V2	Nat	5.0	5.0	5.0	3.0	1.0	3.8
V2/K5/100	Nat	5.0	5.0	5.0	2.8	1.0	3.8
V2/K7/100	Nat	5.0	5.0	5.0	2.7	1.0	3.7

Tabel . Gemiddelde van de sierwaarde van Begonia in de uitbloeioproef.

Klei	K/Ca	Gemiddelde van de Sierwaarde					Eindtotaal
		17-nov	20-nov	27-nov	04-dec	11-dec	
-	Standaard	5.0	5.0	4.9	2.9	1.0	3.8
CEC laag	Standaard	5.0	5.0	5.0	2.7	1.0	3.7
CEC hoog	Standaard	5.0	5.0	4.9	2.8	1.0	3.8
CEC hoog gegranuleerd	Standaard	5.0	5.0	5.0	2.9	1.0	3.8
-	Hoog	5.0	5.0	4.9	2.7	1.0	3.7
CEC laag	Hoog	5.0	5.0	4.8	2.9	1.0	3.8
CEC hoog	Hoog	5.0	5.0	4.7	3.6	1.0	3.9
CEC hoog gegranuleerd	Hoog	5.0	5.0	4.9	4.3	1.0	4.1

Tabel . Aantal bloemen aan het einde van de houdbaarheid en het aantal dagen voor slapgaan.

Omschrijving	Droog/Nat	Aantal bloemen	Aantal dagen voor slapgaan
			d
V2	Droog	16	12.5
V2/K5/100	Droog	27	9.9
V2/K7/100	Droog	29	11.2
V2	Nat	33	10.9
V2/K5/100	Nat	33	11.0
V2/K7/100	Nat	43	9.5

Tabel . Gemiddelde van de sierwaarde van Begonia in de uitbloeioproef.

Klei	K/Ca	Aantal bloemen	Aantal dagen voor slapgaan
			d
-	Standaard	36	12.8
CEC laag	Standaard	32	11.9
CEC hoog	Standaard	23	10.5
CEC hoog gegranuleerd	Standaard	10	12.0
-	Hoog	17	11.7
CEC laag	Hoog	21	10.8
CEC hoog	Hoog	29	10.0
CEC hoog gegranuleerd	Hoog	37	9.4