

De pH-buffer bepaling van teeltmedia

Opkweek in steenwol- en perlietpotten

Chris Blok (WUR Glastuinbouw)
Ruud Kaarsemaker (Groen Agro Control)

© 2008 Wageningen UR Glastuinbouw.

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

Wageningen UR Glastuinbouw is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.



Dit project is gefinancierd door Grodan, Cultilene, Plantum en het Productschap Tuinbouw.

Projectnummer: 3241606100

WUR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1
: 2665 MV Bleiswijk
Tel. : 0317 – 485 606
Fax : 010 – 5225 193
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.greenhousehorticulture.wur.nl
www.ppoglastuinbouwlabdiensten.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Doel	7
1.3 Aanpak	7
1.4 Organisatie.....	8
2 MATERIAAL EN METHODEN	9
2.1 Labmethode (WUR Glastuinbouw)	9
2.1.1 Opstelling.....	9
2.1.2 Monsters.....	9
2.1.3 Meting	10
2.2 PH in de plantenproef (van der Lugt).....	10
2.3 PH in de pottenproef (Groen Agro Control).....	10
2.4 PH-trappenproef (GAC)	11
3 RESULTATEN	13
3.1 Labproef.....	13
3.1.1 Vast ingestelde PH.....	13
3.1.2 De volumes van systeem, monsterhouder en mengvat.....	13
3.1.3 De pompsnelheid	13
3.1.4 De terugregel pH	14
3.1.5 Een doseervrije periode.....	14
3.2 Opkweek bij van der Lugt en de pH-trappenproef bij GAC	15
3.2.1 Overzicht van de gemeten processen.....	15
3.2.2 De Plant.....	16
3.2.3 De meetbare buffer.....	16
3.2.4 De buffer in neerslag.....	17
3.2.5 Microbiële omzettingen	18
3.3 PH-balans.....	19
3.3.1 Invloed van de tijd	19
3.3.2 Invloed van de steenwolsubstraten	20
3.3.3 Invloed van het watergehalte.....	21
3.3.4 Invloed van de EC	21
3.4 PH-trappenproef	22
3.4.1 PH effecten	22
3.4.2 Deelprocessen	23
3.4.3 PH en productie.....	23
4 DISCUSSIE EN CONCLUSIE	25
4.1 Discussie	25
4.2 Conclusies	26
BIJLAGE 1 BEHANDELINGEN IN DE PLANTPROEF (VD LUGT).....	27
BIJLAGE 2 UITKOMSTEN VAN LABMETINGEN.....	28
BIJLAGE 3 METHODE “BEPALING ZUURBINDENDE WAARDE”.....	29

Samenvatting

Materialen als steenwol en perliet hebben in waterige oplossingen een licht pH verhogend effect. Omdat jonge planten in substraatpotten bij plantenkwekers weinig water opnemen, en de potten tussen de watergeefbeurten in nat blijven, kan de pH in de opweefase niet goed gestuurd worden. Het is voor plantenkwekers en substraatleveranciers moeilijk afspraken te maken over welke pH stijging door het substraat nog aanvaardbaar is. Daarom is besloten gezamenlijk een meetmethode te laten ontwikkelen en tegelijk in de praktijk vast te stellen bij welke pH-waarden problemen met het telen van planten te verwachten zijn.

Dit verslag beschrijft de ontwikkeling van een laboratorium meetmethode bij Wageningen UR Glastuinbouw, een plantenproef bij plantenkwekerij van der Lugt, een pottenproef bij Groen Agro Control en een pH-trappenproef in opweefpotten bij groen Agro Control. Labproef: Een bestaande meetopstelling voor het meten van pH-effecten van grond en bouwmaterialen is nagebouwd. De opstelling is getest met tuinbouwsubstraten en zo aangepast dat de methode geschikt is voor het snel en situatie onafhankelijk karakteriseren van het pH-gedrag van opweefpotten. Plantproef: Bij plantenkwekerij van der Lugt werd een partij planten opgekweekt in potten van verschillende leveranciers en verschillende productiepartijen. PH-waarden van de beteelde potten werden vergeleken met de gevonden labwaarden. De voedingsanalyses werden gebruikt om een pH balans op te stellen waarin rekening werd gehouden met;

- de plant
- de meetbare buffer door HCO_3^- en HPO_4^{2-}
- het restant zuurverbruik (verschil tussen meting en berekening van zuurbuffer)
- de buffer in neerslag van calciumfosfaat
- de microbiële omzetting van ammonium
- de microbiële omzetting van nitraat

Pottenproef: Weer met potten van verschillende leveranciers en verschillende productiepartijen, maar zonder planten en deels met het chemisch stil leggen van elke microbiële activiteit. Ook hier is weer een pH balans opgesteld als bij plantenkwekerij van der Lugt. Hierdoor konden conclusies worden getrokken over de rol van de plant, de invloed van passieve verdamping en de rol van microbiologische activiteit.

PH-trappenproef: Een groeitest door GAC naar de invloed van startverschillen in pH op groei.

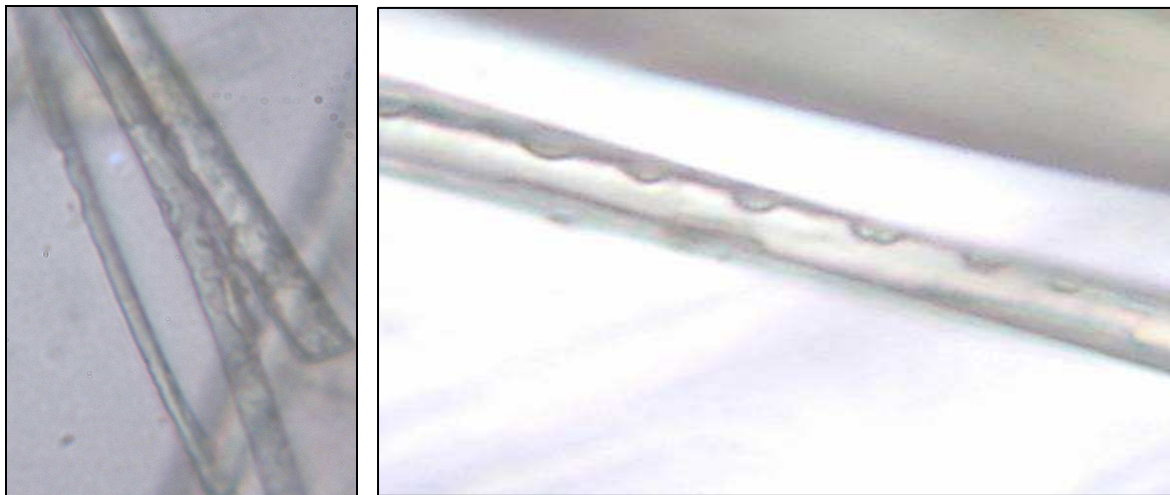
De conclusies zijn;

- Er is een robuuste methode voor het meten van het pH-bufferend vermogen van opweefpotten.
- Er is een relatie tussen de ontwikkelde laboratoriummeting en in de praktijk gevonden pH waarden.
- Er is een norm voorgesteld voor grenswaarden voor pH en zuurverbruik.
- De rol van normale steenwolpotten is ongeveer 10% van de invloed die de plant in 3-4 weken kan uitoefenen en ook 5-10 keer kleiner dan de soms aanwezige microbiële invloed.
- De plantengroei verloopt ongestoord bij pH waarden onder pH 7.0 maar:
- Boven een pH van 6.5 kan denitrificatie een zelfstandig verloopend pH opdrijvend proces worden. Het lijkt dus verstandig een pH van hoger dan 6.5 te mijden om onbeheersbare pH stijging te voorkomen.
- Het verdwijnen van nitraat, hier toegeschreven aan denitrificatie (door micro-organismen), moet verder nagemeten worden met nadruk op het leren kennen en voorkomen van omstandigheden waarbij het denitrificatieproces zelf invloed krijgt op de pH ontwikkeling.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In de praktijk van de plantenkwekerij loopt de pH in substraatpotten gedurende de eerste fase van de opkweek op. Op zich is bekend dat materialen als steenwol en perliet in waterige oplossingen een licht pH verhogend effect hebben en bij pH's onder de 4.5 enigszins oplossen waarbij ze de pH verhogen (Figuur 1 en 2). Omdat jonge planten weinig water opnemen, en de potten tussen de watergeefbeurten in nat blijven, kan de pH in de opkweekfase niet goed gestuurd worden. In de praktijk wordt niet alleen gesproken van verschillen in pH-gedrag tussen verschillende typen substraat maar ook tussen individuele partijen van een bepaald pottype. Het is voor plantenkwekers en substraatleveranciers moeilijk afspraken over dit probleem te maken omdat een betrouwbare testmethode ontbreekt. Bij problemen is het bovendien vaak niet meer mogelijk de rol van een pot te onderscheiden van die van de plant en de voedingsoplossing.



Figuur 1 en 2. Steenwolvezels met aangetast oppervlak na langdurig spoelen met pH 4.

1.2 Doel

- A) Een meetmethode opstellen voor het vaststellen van het pH-bufferend vermogen van een opkweekpot.
- B) Het leggen van een relatie tussen de standaardmeting en in de praktijk gevonden pH waarden.
- C) Het vaststellen van de bandbreedte waarbinnen de pH kan variëren zonder dat de groei verstoord wordt.
- D) Een norm opstellen, gebaseerd op praktijkwaarden voor veilige pH, in termen van de methode onder A.

In dit project is niet onderhandeld over de afkeurgrens die plantenkwekers en substraatfabrikanten moeten afspreken. Daar dient het al bestaande KIWA overleg voor. Wel is in juni 2008 een op dit onderzoek gebaseerd voorstel voor een norm via KIWA aan de deelnemers voorgelegd.

1.3 Aanpak

Labproef: De meetmethode is in een laboratorium van WUR Glastuinbouw ontwikkeld. Een bestaande meetopstelling voor het meten van pH-effecten van grond en bouwmaterialen is hiervoor nagebouwd (NEN 7341 "Uitloogkarakteristieken van vaste grond- en steenachtige bouwmaterialen en afvalstoffen. Uitloogproeven. Bepaling van de beschikbaarheid voor uitloging van organische componenten"). De opstelling is getest met tuinbouwmaterialen en zo aangepast dat er een methode ontstond die geschikt is voor het snel en situatie onafhankelijk karakteriseren van het pH-gedrag van opkweekpotten.

Plantproef: Tegelijk werd bij plantenkwekerij van der Lugt een partij planten opgekweekt in potten van verschillende leveranciers en verschillende productiepartijen. PH-waarden van de beteelde potten werden vergeleken met de gevonden labwaarden.

Pottenproef: Over de uitkomsten tot dan toe is op 13 maart 2007 overlegd met Grodan, Cultilene en Plantum. Daar is besloten dat een tweede meer gecontroleerde proef nodig was. Weer met potten van verschillende leveranciers en verschillende productiepartijen, maar zonder planten. De pottenproef is uitgevoerd door en bij GAC. Hierbij is geprobeerd om de gevolgen van reacties in de voeding te volgen die werden veroorzaakt door verdamping en microbiologische activiteit.

PH-trappenproef: De uitkomsten van de pottenproef zijn weer besproken met Grodan, Cultilene en Plantum. De uitkomsten waren verrassend genoeg voor Plantum om een afsluitende test door GAC naar de invloed van start-pH op de groei te laten uitbreiden zodat de rol van denitrificatie kon worden meegenomen.

In dit verslag vindt u dus een beschrijving van een labonderzoek, een plantenproef bij van der Lugt, een pottenproef bij GAC en een pH-trappenproef in opkweekpotten. Van de opkweekproef bij van der Lugt en de pottenproef bij GAC bestaat een apart verslag (Kaarsemaker, 2007), evenals van de pH-trappenproef (Kaarsemaker, 2008).

1.4 Organisatie

Het projectidee kwam voort uit het overleg tussen Plantum, Grodan en Cultilene bij de keurmerkorganisatie KIWA. KIWA beheert voor IGPA een kwaliteitskeurmerk voor substraat voor de glastuinbouw. De projectaanvraag is opgesteld door Gerrit Wever en later Chris Blok van WUR Glastuinbouw, in opdracht van Plantum. Claudia den Braver van Plantum fungeerde hierbij als aanspreekpunt en de technische commissie van Plantum als klankbordgroep. Vanuit IGPA namen de bedrijven Grodan en Cultilene op eigen titel deel aan het project. Aanspreekpunten voor Grodan en Cultilene waren respectievelijk Paul Bouwens en Henri Beekers. Op initiatief van Plantum is Groen Agrocontrol, later in de persoon van Ruud Kaarsemaker, gevraagd voor de teeltproeven. Chris Blok fungeerde als projectleider en Aat van Winkel en Ard van Leeuwen voerden de laboratoriummetingen uit. Voor de proeven bij Plantenkwekerij van der Lugt was Jilles Koornneef aanspreekpunt. Het project is gefinancierd door Grodan, Cultilene, Plantum en het Productschap Tuinbouw.

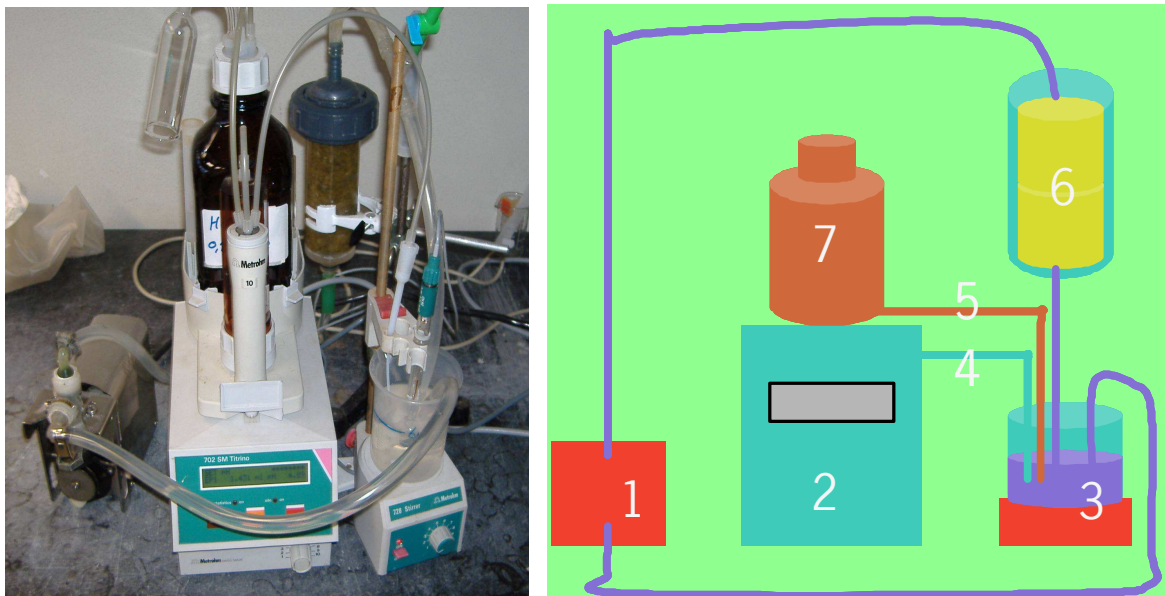
2 Materiaal en Methoden

2.1 Labmethode (WUR Glastuinbouw)

2.1.1 Opstelling

In 2001 is een concept geschreven voor een methode waarbij water door een substraat gepompt wordt en waarbij de pH op een stabiel niveau gehouden wordt door automatische titratie. Met deze methode kan een indruk verkregen worden van de snelheid waarmee zuur/base gebonden wordt. De basis voor het concept was NEN 7341 "Uitloogkarakteristieken van vaste grond- en steenachtige bouwmaterialen en afvalstoffen. Uitloogproeven. Bepaling van de beschikbaarheid voor uitloging van organische componenten".

Figuur 3 en 4 tonen respectievelijk een foto en een schema van de uiteindelijke opstelling. De aangegeven onderdelen worden besproken.



Figuur 3 en 4. De nummers staan voor de pomp (1), de titrino (2), het mengvat op een magneetroerder (3), een aan de titrino verbonden pH meter (4), een via de titrino gestuurde zuurdosering (5), een monsterhouder (6) en een zuurvoorraadvat (7). Buiten beeld staat een computer met de uitleessoftware.

De pomp is een in debiet instelbare pomp. De titrino is een commerciële zuur controle en microdoseerunit. Hiermee is de pH in een mengvat binnen zeer nauwe grenzen te sturen. Met de controle software is in te stellen hoe vaak wordt gedoseerd en met welke stapgrootte. Het mengvat en de roerder zijn nodig om a) eventuele koolzuur te laten ontsnappen en b) het gedoseerde zuur snel en volledig met de aangevoerde vloeistof te vermengen. De monsterhouder moet voldoende monster bevatten a) voor een meetbare reactie en b) om representatief voor de praktijk te zijn. De monsterhouder mag niet zo groot zijn dat de pH in het monster sterk afwijkt van de pH in het mengvat. Ook moet het monster in de monsterhouder zonder holten langs de zijkant geperst of geklemd zitten omdat anders de vloeistof ongelijk door het monster gepompt wordt (de zuurbindende waarde van het monster zou dan onderschat kunnen worden). Het zuurvat moet een oplossing bevatten die niet al te zuur is omdat anders de druppels als ruis terug te zien zijn in de pH meting en de eind pH (miniem) hoger dan ingesteld kan uitvallen.

2.1.2 Monsters

Er is gewerkt met Grodan en Cultilene potten uit de laboratoriumvoorraad (onbekende partijen van maximaal 1 jaar oud). Later zijn potten uit de praktijkproef genomen. Om de methode universeler te maken is besloten

ook perliet te testen. Omdat er geen potten met een problematisch hoge pH werden binnengebracht in het seizoen 2006-2007 is gezocht naar een materiaal dat een problematische hoge pH heeft maar na spoelen toch nog bruikbaar in de tuinbouw zou kunnen zijn. De keuze viel op een licht kalkhoudend zandsteengranulaat.

2.1.3 Meting

Tijdens de meting werden de pH in het mengvat, de hoeveelheid gedoseerd zuur in het mengvat en de tijd genoteerd. Verder werd naar bevind van zaken gemeten aan

- Het systeemvolume
- Het volume van de monsterhouder
- Het volume in het mengvat
- De pompsnelheid in ml/min
- De terugregel pH
- Een doseervrije periode

Argumenten om het bovenstaande te meten zijn: Het systeemvolume bepaalt hoe snel de oplossing kan worden rondgepompt en daarmee de responstijd van de meting. Het volume van de monsterhouder bepaalt naast het systeemvolume ook de hoeveelheid monster. De hoeveelheid monster bepaald direct hoeveel zuur wordt verbruikt. Het volume van het mengvat bepaalt naast het systeemvolume ook de hoeveelheid zuur die zonder schommelingen in de uitlezing verwerkt kan worden. De pompsnelheid heeft, bij lage pompsnelheden, invloed op de oplossnelheid van het monster. De terugregel pH bepaald aan welke pH de monsters worden blootgesteld en daarmee de oplossnelheid. Een doseervrije periode, zoals later toegepast, laat zien hoe het materiaal ook zonder doseren doorreageert. De pH loopt in een doseervrije periode op in de richting van een materiaalbepaalde evenwichts-pH.

2.2 PH in de plantenproef (van der Lugt)

De invloed van plantengroei op de pH is vastgesteld in de plantenproef bij plantenkwekerij van der Lugt.

Op een praktijkbedrijf zijn niet alle factoren vrij instelbaar. De watergift en voeding vinden plaats volgens de standaardwijze van de plantenkweker, de ammoniumgift kan niet gevarieerd worden en luchtgehalten zijn afhankelijk van de watergiftstrategie en het feit of er wel of geen planten aanwezig zijn. Ook is het niet mogelijk om bij de plantenkweker te experimenteren met een middel dat het microbiologische leven stil legt. Daarom is in overleg besloten een ondersteunende proef uit te voeren bij GAC waar onder gecontroleerde omstandigheden voeding en waterhuishouding in potten zonder planten gevolgd werden.

Omdat er voorafgaande aan het onderzoek geen verdachte partijen steenwol werden gevonden, is het onderzoek uitgevoerd met gangbare steenwolpotten die door de substraatproducenten zijn aangeleverd. Er zijn vier soorten steenwol onderzocht: Cultilene, Agrow, Vitagreen (Grodan) en Delta (Grodan). Perliet en water zijn als referentie meegenomen.

Vier behandelingen zijn uitgevoerd met de standaard voedingsoplossingen van de plantenkweker. Komkommers werden gezaaid op 31 januari in steenwolpotten met 0.3 mmol/l NH_4 . Paprika's werden opgepot op 31 januari in steenwolpotten met 1.4 mmol/l NH_4 . Daarnaast zijn steenwolpotten met dezelfde voedingsoplossing zonder planten meegenomen. Tijdens de opkweek is voor beide gewassen NH_4 meegegeven. De potten zijn bemonsterd 1, 14 en 28 dagen na zaaien. De planten kregen na de tweede bemonstering voor de eerste keer water. De proef bij de plantenkweker bestond uit 4 (steenwol partijen) * 10 (potten) * 2 (gewassen) * 2 (wel/geen plant) = 160 potten (Bijlage 1).

2.3 PH in de pottenproef (Groen Agro Control)

Voor het pH-gedrag in de praktijk zijn naast de directe substraateigenschappen en de plantengroei ook andere factoren van belang, zoals;

- Vochtgehalte in relatie met gasuitwisseling (CO_2)
- Samenstelling voedingsoplossing (meststoffen en water)

- Plantgroei
- Algengroei
- Microbiologische activiteit (schimmels en bacteriën)

De invloed van plantengroei op de pH is vastgesteld in het eerste deel van de proef bij plantenkwekerij van der Lugt. Bij GAC is specifiek gekeken naar de factoren in Tabel 1. Door het pH verloop in de pottenproef te vergelijken met het pH verloop in potten zonder plant in de plantenproef werd bovendien een indruk verkregen van de invloed van de betonvloer op het pH verloop.

Tabel 1 Met onderdelen en ingestelde waarden voor deel twee van de proef (n=10)

Behandeling	1	2	3	4	5
Water%	75	62	50	62	62
Ammonium	1.25	1.25	1.25	0	1.25
Algen+micro	Y	Y	Y	Y	N

Basiswater demi; EC 3.0; pH 5.5; ondergrond afgeschermd; T>20; potten met folie; randrij; n=10.

De behandelingen 1 t/m 5 zijn uitgevoerd voor 4 partijen steenwol (Cultilene, Agrow, Vitagreen en Delta). De behandelingen 1, 4 en 5 werden ook uitgevoerd in een bakje water en in perliet (in 1 cm water).

Het watergehalte is ingesteld door de potten te verzadigen en daarna middels onderdruk water te onttrekken tot net beneden het streefgehalte, vervolgens werd de exacte hoeveelheid toegediend tot het streefgewicht bereikt is. Tijdens de proef is wekelijks water toegevoegd om alle potten weer op hetzelfde gewicht te brengen. De eerste en derde week is gemiddeld per pot 70 ml toegediend en na de tweede week gemiddeld 100 ml voedingsoplossing per pot.

Voor de berekening van het streefwatergehalte is het gewicht van water in een 100% verzadigde pot gesteld op 600 gram. Het streefgewicht is berekend door het drooggewicht van de pot op te tellen bij het gewenste watergewicht. Bij 50% water is het streefgewicht 300 (gewicht water) + 45 (gewicht pot) = 345 gram.

Alle potten zijn voorzien van folie en tegen elkaar weggezet. De proef werd omringd door een randrij van potten. De proef is uitgevoerd op plastic folie zodat interactie met de ondergrond is uitgesloten. De pH en EC zijn gedurende de proef per substraattypen per behandeling in het verzamelmonster gemeten omdat meten per pot de EC en pH in de potten teveel zou beïnvloeden. Aan het eind van de proef zijn de pH en EC wel afzonderlijk per pot gemeten. De monsters zijn 1, 14 en 28 dagen na inzetten van de proef genomen.

2.4 PH-trappenproef (GAC)

Om de invloed van de pH in steenwolpotten op de groei van een gewas te bepalen zijn er proeven uitgevoerd met verschillende start-pH's. De testen werden uitgevoerd in steenwol- en perlietpotten zonder plant en in steenwolpotten met komkommer en paprika. Er zijn los van de pH-trappen acht verschillende behandelingen uitgevoerd (Tabel 2) in vijf herhalingen. De proef duurde 4 weken.

Er zijn vijf voedingsoplossingen voor start-pH's gemaakt door zuur of base toe te voegen (Tabel 3). Aan de helft van de voedingsoplossingen werd 1 mmol/l NH₄ toegevoegd. Elke voedingsoplossing werd geënt met een voedingsoplossing uit de praktijk (1 ml/l). De voedingsoplossingen werden toegediend door de potten vol te laten lopen. De perliet behandelingen werden gevuld met 450 ml voedingsoplossing.

De volgende dag werden komkommers gezaaid en kiemplantjes van paprika in de steenwolpotten geplaatst. Monsters van de voedingsoplossingen werden om de twee weken genomen (met behulp van een spuit) door een mengmonster te maken van de herhalingen. De monsters werden hierna geanalyseerd op samenstelling.

Tabel 2 Verschillende behandelingen van pH-trappenproef uitgevoerd voor elke voedingsoplossing.

Behandeling	Substraat	Plant	NH ₄ (mmol/l)
1	Steenwol	Komkommer	0
2	Steenwol	Komkommer	1
3	Steenwol	Paprika	0
4	Steenwol	Paprika	1
5	Steenwol	X	0
6	Steenwol	X	1
7	Perliet	X	0
8	Perliet	X	1

Tabel 3 Verschillende voedingsoplossingen voor pH-trappenproef, met start pH en EC.

Voedings-oplossing	Start-volume (l)	Toegevoegd Zuur/base (meq/l)	Zonder NH ₄		Met NH ₄	
			Start EC	Start pH	Start EC	Start pH
A	30	1 (HCl)	2.50	3.16	2.50	3.16
B	30	-	2.50	4.98	2.50	5.24
C	30	1 NaOH	2.49	6.48	2.51	6.57
D	30	4 NaOH	2.47	9.30	2.50	9.0
E	30	5.3 NaOH	2.50	11.3	2.51	10.6

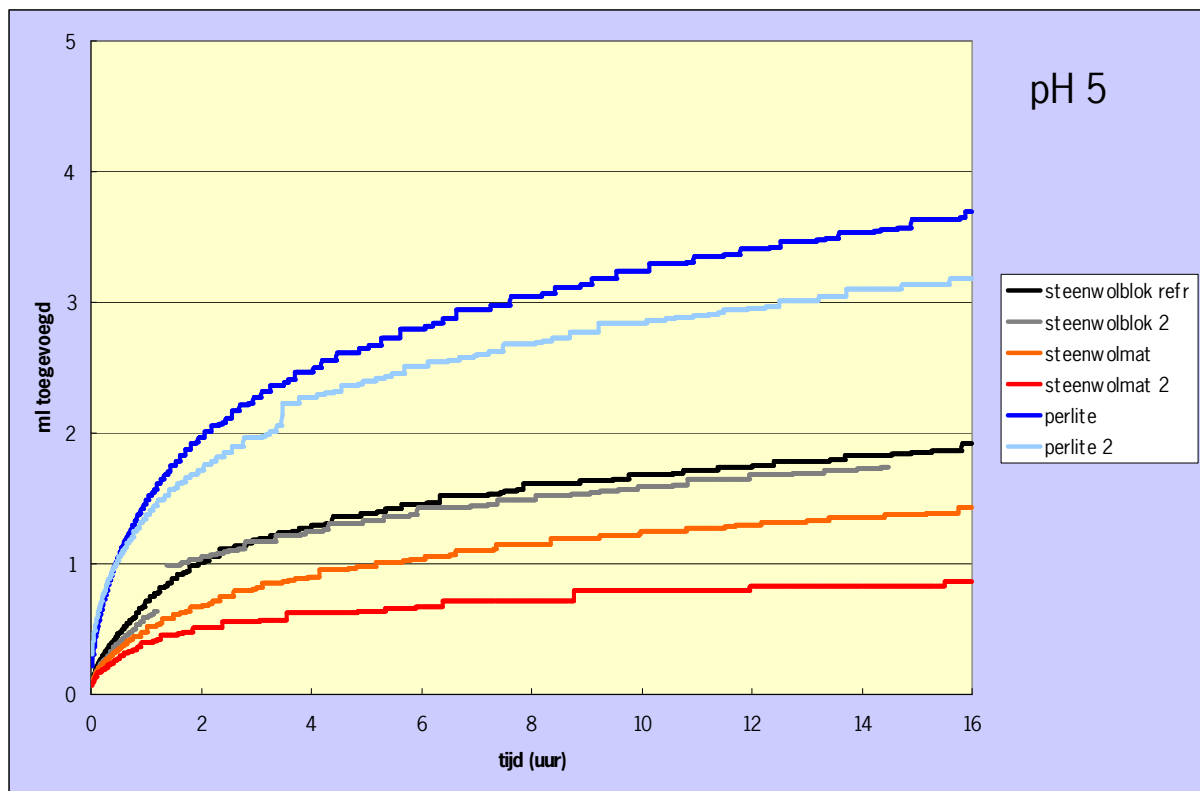
De behandelingen werden regelmatig aangevuld met voeding (EC = 2.5 en pH = 5.4). Deze voeding bestond voor de NH₄ behandelingen uit standaard voedingsoplossing met 1.33 meq/l Na OH en 1.0 mmol/l NH₄. De voeding zonder NH₄ werd aangevuld met 1.33 meq/l base. Deze voeding werd toegevoegd als de potten droger werden. Door weging werd bepaald hoeveel voeding extra toegevoegd moest worden.

3 Resultaten

3.1 Labproef

3.1.1 Vast ingestelde PH

Bij een vast ingestelde pH levert de labmethode uitkomsten als in Figuur 5. Langs de Y as staat het zuurverbruik in milliliter en lang de X-as staan uren. Het verband is een typerende kromme die zich goed laat beschrijven met een kwadratische functie. De methode kan steenwol en perliet goed onderscheiden. Zelfs matten en potten geven andere lijnen geven, zij het grotendeels door dichtheidsverschillen. Een groot aantal metingen is samengevat in Bijlage 2.



Figuur 5. Het aantal ml zuur van 0.1 M toegevoegd aan een circulerend systeem met 650 ml inhoud en 300 ml monster om de pH constant op een waarde van 4.0 te houden gedurende 16 uur.

3.1.2 De volumes van systeem, monsterhouder en mengvat

Het systeemvolume is 650 ml. De monsterhouder heeft een watergevuld volume van 360 ml, het vat bevat 250 ml vloeistof en de resterende 40 ml zit in de slangen. Het monstervervuld volume van de monsterhouder is 300 ml.

3.1.3 De pompsnelheid

De eerste testen zijn gedaan bij een pompsnelheid $< 0.5 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$. Uit andere testen was al bekend dat bij het oplossen van materiaal de stroomsnelheid van invloed is. Een hogere stroomsnelheid maakt de aanvoer van zuur naar een oppervlakte sneller en maakt de laag met hogere pH rond een oplozend vlak dunner. Bij steeds hogere pompsnelheden wordt de toename in oplossnelheid steeds geringer. Er is gemeten aan pompsnelheden van 0.36, 0.72, 1.0, 2.0 en 10.0 ml/minuut. Tot 1.0 ml/minuut neemt de oplossnelheid toe met 30-40%, van 1.0 ml/minuut naar 10 ml/minuut nog maar met 10%. Er is gekozen voor 10 ml/minuut omdat de bepaling hierbij nauwelijks nog gevoelig is voor fluctuaties in doorstroomsnelheid (veiliger). Omdat bij hogere snelheden de benodigde druk ook toeneemt is een snelheid van $10.0 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$

een praktisch maximum. Bij fijnere substraten als perliet springen bij hogere pompsnelheden de laboratoriumslangen van de slangpilaren. Het gebruik van klemmen zou de installatie onveilig maken.

3.1.4 De terugregel pH

Uit Tabel 4 blijkt dat kalkhoudende zandsteen sterk basisch reageert (pH 9-11). Het zuurverbruik bij terugregelen naar pH 4.0 is bij steenwol ruim twee keer zo hoog als voor perliet en bijna drie keer lager dan voor kalkzandsteen. Uitgedrukt per kilogram materiaal is het zuurverbruik van steenwol gelijk aan dat in kalkzandsteen en ruim drie maal zo hoog als voor perliet.

Tabel 4 Ingestelde en gemeten waarden in een systeem dat is teruggeregeld naar pH 4.0.

Materiaal	Terugregel waarde	Evenwichts-waarde	Duur	Titer	Debiet	Gedoseerd	Gewicht	Verbruik
Eenheid	pH	pH	uur	mol.L ⁻¹	ml.min ⁻¹	ml	g	mmol/kg
Grodan pot	4	6.1	16	1.0	0.1	17	24	71
Grodan mat	4	5.9	14.5	1.0	0.1	18	18	103
Perliet	4	6.6	16	1.0	0.1	7	33	20
Zandsteen grof	4	11.3	16	1.0	0.1	42	60	69
Zandsteen fijn	4	9.5	16	1.0	0.1	48	43	112

Om te zorgen dat de uitkomsten van de proef niet afhankelijk zijn van de dichtheid van de gebruikte producten, wordt het zuurverbruik uiteindelijk uitgedrukt per kilogram product.

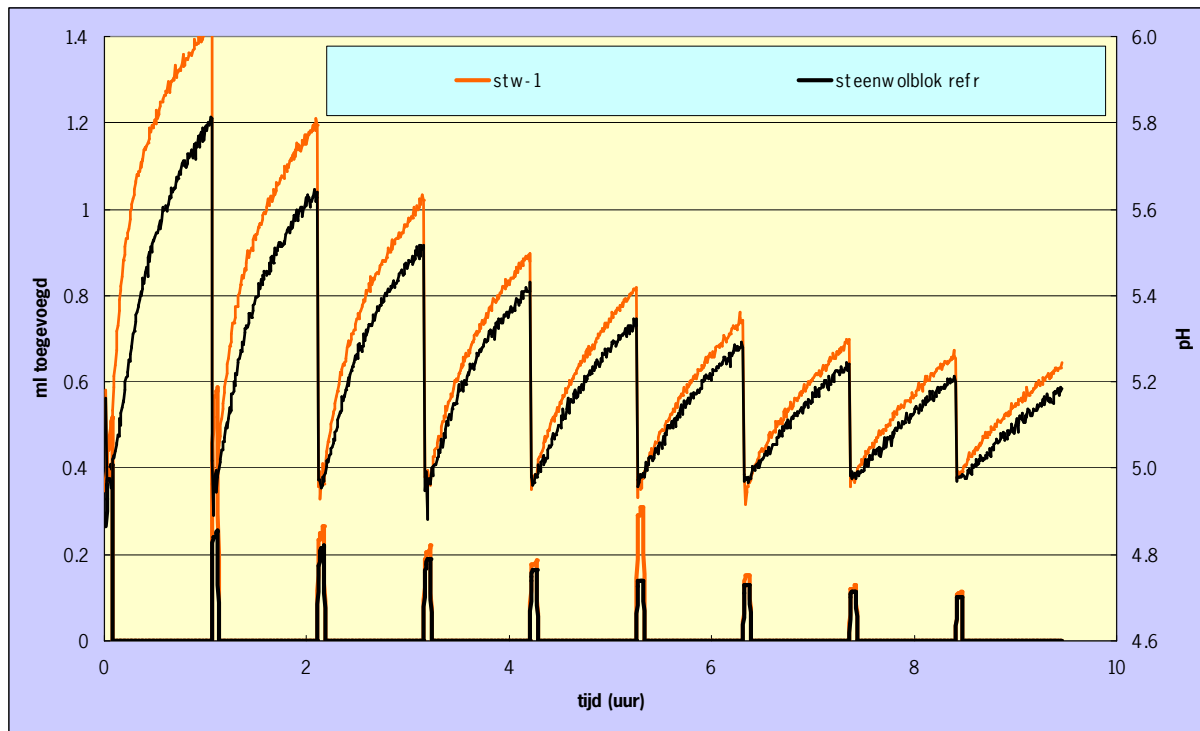
Als de proef bij pH 5.0 wordt uitgevoerd verandert de uitkomst (Tabel 5). Nu lost perliet iets sneller op dan steenwol en reageert kalkzandsteen 10 keer zo hevig. Verder is te zien dat de reactiesnelheid van steenwol van pH 5.0 naar pH 4.0 met een factor 10 toeneemt terwijl dat voor perliet en kalkzandsteen een factor twee bedraagt. Steenwol is bij pH 5.0 (en hoger) dus relatief stabiel maar is gevoeliger voor het verlagen van de pH dan perliet en kalkzandsteen.

Tabel 5 Vergelijking van uitkomsten bij terugregel pH 4.0 en pH 5.0.

Materiaal	Evenwichts-waarde	Gedoseerd	Verbruik	Materiaal	Evenwichts-waarde	Gedoseerd	Verbruik
Eenheid	pH	ml, 1 mol.L ⁻¹	mmol/kg	Eenheid	pH	ml	mmol/kg
Cultilene pot					5.0	2.6	12
Grodan ***	4.0	21	93	Grodan ***	5.0	1.8	8
Grodan expertmat	4.0	18	103	Grodan expertmat	5.0	1.6	9
Perliet	4.0	7	20	Perliet	5.0	3.3	10
Zandsteen fijn	4.0	48	112	Zandsteen fijn	5.0	29.1	67
Zandsteen grof	4.0	42	69	Zandsteen grof	5.0	26.2	44

3.1.5 Een doseervrije periode

Na overleg over de uitkomsten werd begin 2007 besloten de terugregel-pH meer praktijkconform in te stellen op 5.0. Tevens werd besloten de oplossing niet voortdurend te recirculeren maar te werken met spoelbeurten van 5 minuten en deze om het uur te herhalen. Ook dit weer om een meer praktijkconform systeem te maken. In de praktijk krijgen potten aanvankelijk eens per 7 dagen een beurt, later wordt dit vaker tot 1 keer per dag een beurt waarbij water van onderaf in de pot komt en gedurende 5-10 minuten kan inwerken voor het water deels weer wordt afgevoerd. De methode probeert dit proces binnen een voor een laboratoriumbepaling redelijke termijn na te bootsen.



Figuur 6. Het aantal ml zuur van 0.1 M toegevoegd aan een circulerend systeem met 650 ml inhoud en 300 ml monster om de pH 5 minuten per uur op een waarde van 5.0 te brengen gedurende 10 uur. De pH staat op de rechter Y-as.

Figuur 6 geeft op de Y-as links het cumulatief aantal ml zuur per dosering. Op de rechter Y-as staat de pH terwijl de X-as de tijd weergeeft. Er zijn negen perioden van een uur die steeds beginnen met 5 minuten waarin zuur wordt gedoseerd tot de ingestelde pH van 5.0 is bereikt. Er ontstaat een beeld dat overeenkomst vertoont met de grafieken van een weeggoot waarmee de verdamping en de watergiften worden gemonitord. De Figuur 6 toont een steeds minder hoog oplopende pH tussen de zuurdoseringen en een steeds afnemend zuurgebruik per dosering. Een belangrijk detail is dat de oplossing in het systeem ook tussen de zuurdoseringen in wordt rondgepompt waardoor processen aanzienlijk sneller veropen dan tijdens een echte opkweek. De ingestelde pH wordt binnen 30 seconden bereikt, het zuurverbruik neemt in de 4.5 minuten daarna nauwelijks nog toe. Voor deze methode is een laboratoriumvoorschrift opgesteld dat in zijn geheel in Bijlage 3 is opgenomen.

3.2 Opkweek bij van der Lugt en de pH-trappenproef bij GAC

3.2.1 Overzicht van de gemeten processen

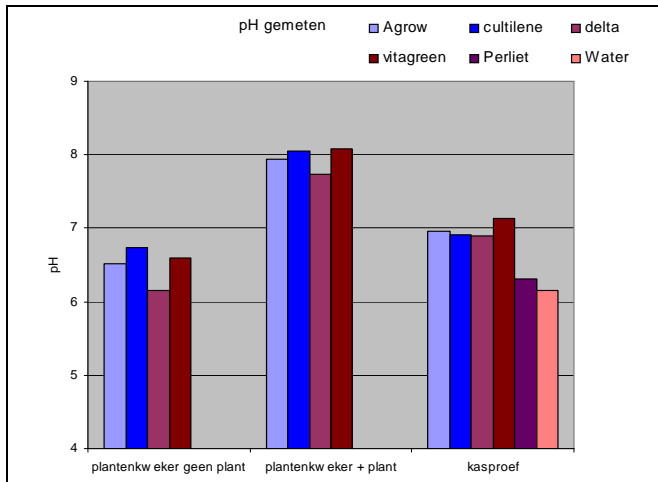
Er is gekeken naar afzonderlijk meetbare deelprocessen:

1. De invloed van de plant door het verschil met en zonder plant te meten.
2. De meetbare buffer is gemeten door terugtitreren naar een pH van 5.5. Door bovendien de buffer te berekenen uit de meting van de concentraties HCO_3^- en HPO_4^{2-} en de pH, kan het verschil tussen gemeten en berekende waarde als restant zuurverbruik worden genoteerd.
3. De buffer in neerslag wordt berekend uit de gemeten afname van de concentraties calcium en fosfaat. De afname van calcium en fosfaat wordt als CaHPO_4 neerslag geïnterpreteerd.
4. De microbiële omzetting van ammonium en nitraat; ook deze processen volgen uit de gemeten afname van de concentraties in oplossing. Bij omzetting van ammonium komt H^+ vrij, bij omzetting van NO_3^- wordt H^+ onttrokken.

Het zal duidelijk zijn dat de plant door opname van elementen en het uitscheiden van koolzuur en zuur of base een grote invloed op alle reacties hierboven kan uitoefenen en dat het niet mogelijk is plantreacties te onderscheiden van de andere reacties; vandaar dat de testen zonder plant hier tegelijk met de proef bij van der Lugt worden behandeld en dat de behandeling van de totale balans in paragraaf 3.3 alleen de pottenproef betreft.

3.2.2 De Plant

De pH is na 1, 14 en 28 dagen bepaald. Figuur 7 toont de uitkomsten na 28 dagen. De standaardafwijking tussen de potten is relatief klein en de pH's van de verschillende steenwolpotten liggen vrij dicht bij elkaar. Als er planten op de pot staan zorgt dat voor een forse pH toename. De toename bij paprika (pH = 8.2) is iets hoger dan bij komkommer (pH = 7.8) (niet in de figuur). In de proef zonder planten is de pH in perliet en water iets lager dan in de steenwolbehandelingen.



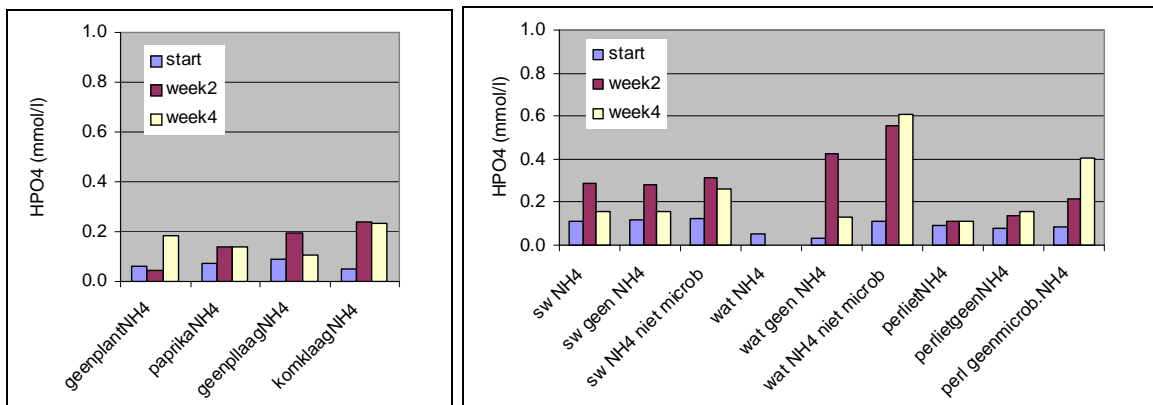
Figuur 7. De gemiddelde pH na 4 weken van vier substraten met en zonder planten bij de plantproef en zonder planten in de pottenproef (kasproef in de legenda) waarbij ook perliet en water zijn opgenomen.

3.2.3 De meetbare buffer

De meetbare buffer is samengesteld uit de omzetting van fosfaatvorm en uit de omzetting van bicarbonaat. Deze kunnen worden berekend uit de pH en de concentraties fosfaat en bicarbonaat in de oplossing. Ze kunnen ook worden gemeten als zuurbuffer in de oplossing. Een verschil tussen gemeten en berekende waarde wordt als restant zuurverbruik genoteerd.

3.2.3.1 HPO₄ Buffer

Als de pH oploopt wordt H₂PO₄⁻ omgezet in HPO₄²⁻. Tijdens de bepaling van het zuurverbruik wordt HPO₄²⁻ weer omgezet in H₂PO₄⁻. Het verschil in fosfaatvorm is niet zichtbaar in de routinemetingen. Er is daarom een berekende waarde gebruikt gebaseerd op het oplosbaarheidsproduct en de gemeten pH (Figuur 8).

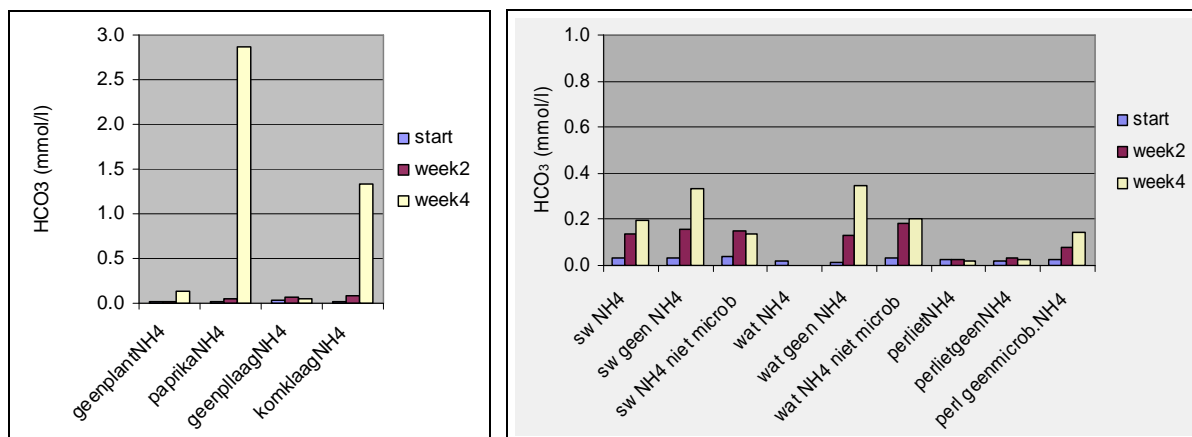


Figuur 8. Berekende concentratie HPO₄ uit P-totaal en de gemeten pH, in de plantproef (links) en in de pottenproef (rechts).

3.2.3.2 HCO₃ en oplosbaar CO₂ in de mat

De hoeveelheid opgelost CO₂ is afhankelijk van de concentratie CO₂ in de bodemlucht. Afhankelijk van de pH wordt CO₂ omgezet in H₂CO₃. Per molecuul H₂CO₃ wordt één molecuul H⁺ afgescheiden of opgenomen volgens CO₂ + H₂O → H₂CO₃ en H₂CO₃ + H₂O → HCO₃⁻ + H₂O + H⁺.

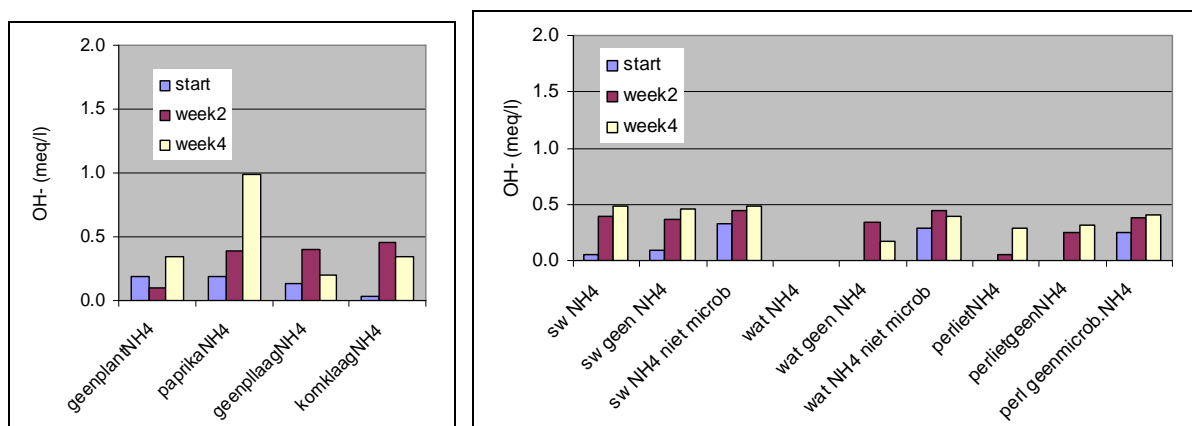
Op basis van de gemeten pH en een aangenomen concentratie van CO₂ in de bodemoplossing van 1000 ppm is de maximaal oplosbare hoeveelheid HCO₃ berekend (Figuur 9, gecorrigeerd voor de invloed van de EC op de ionenactiviteit van HCO₃ volgens de extended Debye-Hückel methode).



Figuur 9. Maximale oplosbaarheid van HCO₃ bij de heersende pH in evenwicht met 1000 ppm CO₂ in de bodemlucht in de plantproef (links) en in de pottenproef (rechts).

3.2.3.3 Restant zuurverbruik

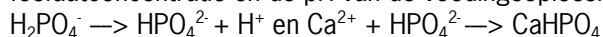
Het gemeten zuurverbruik lag vaak hoger dan de som van de HPO₄ buffer en de maximale oplosbare HCO₃ concentratie. Mogelijk zijn er nog andere stoffen die een bijdrage leveren aan het titreerbaar zuur, zijn de chemische reacties nog niet in evenwicht, of was de CO₂ concentratie in het substraat hoger dan aangenomen. Bij vrijwel alle behandelingen is het restant dat niet door de chemische reacties verklaard kan worden minder dan 0.5 mmol/l (Figuur 10)! Alleen de behandeling paprika bij de plantenkweker toonde een grotere rest zuurverbruik. De steenwolssubstraten verschilden niet duidelijk van elkaar (niet in de Figuur).



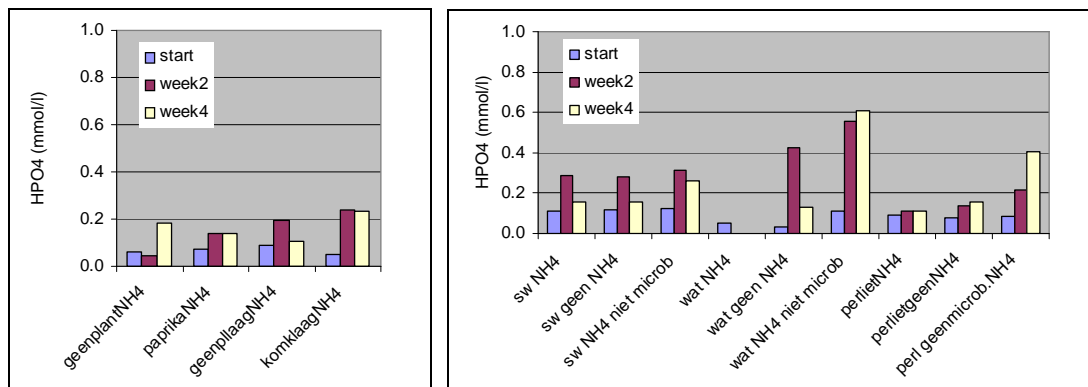
Figuur 10. Onverklaarbaar zuurverbruik bij een CO₂ concentratie in wortelmilieu gesteld op 1000 ppm, in de plantproef (links) en in de pottenproef (rechts).

3.2.4 De buffer in neerslag

Uit analyse van de voedingsoplossingen bleek dat de relatieve concentratie van calcium en fosfaat was afgenomen. Deze afname is veroorzaakt door neerslag van calciumbifosfaat. Ook uit berekeningen van de verschillende oplosbaarheidproducten bij de concentraties in de voedingsoplossing blijkt dat neerslag van calciumbifosfaat kan optreden. De concentratie bifosfaat in de oplossing hangt af van de totale fosfaatconcentratie en de pH van de voedingsoplossing volgens:



Bij neerslag van één mmol calciumbifosfaat wordt 1 mmol OH⁻ aan de voedingsoplossing onttrokken (Figuur 11).

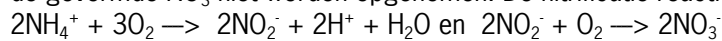


Figuur 11. Berekende buffer aan HPO_4 uit P-totaal en de gemeten pH, in de plantproef (links) en in de pottenproef (rechts).

3.2.5 Microbiële omzettingen

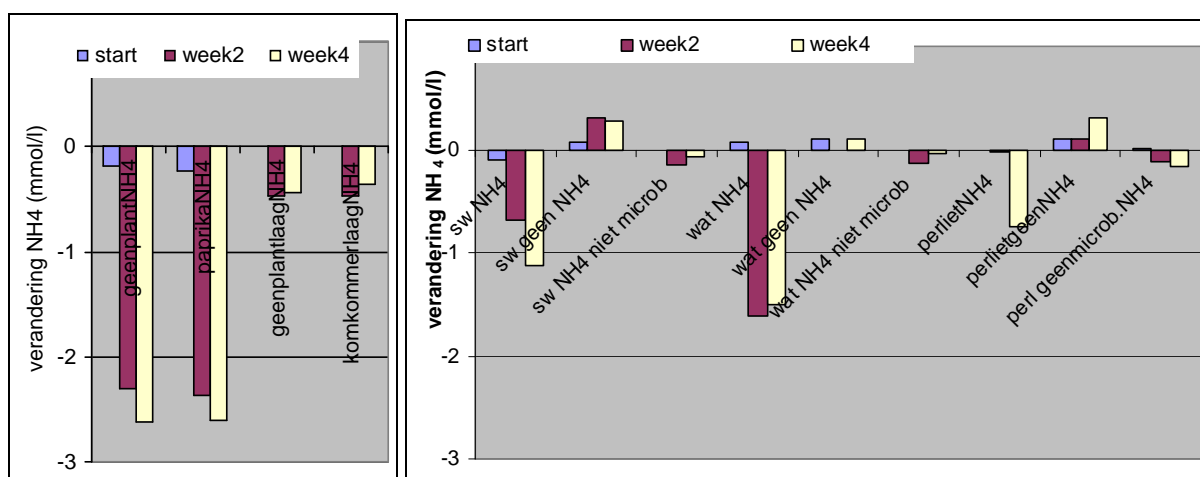
3.2.5.1 NH_4

De concentratie ammonium (NH_4^+) kan afnemen door nitrificatie of opname door planten of algen. In de potten zonder planten en zichtbare algen kan ammonium alleen verdwijnen door middel van nitrificatie en zal de gevormde NO_3^- niet worden opgenomen. De nitrificatie reacties zijn;



Als nitrificatie optreedt komen per verdwenen NH_4^+ molecuul 2 H^+ ionen vrij. Bij directe opname van ammonium door de plant door de plant wordt één H^+ ion afgegeven. Bij opname van de omgezette nitraat door de plant zal één OH^- ion worden afgegeven zodat in dat geval per saldo één H^+ ion overblijft. Als er planten aanwezig zijn maakt het voor de pH verandering dus niet uit of er nitrificatie optreedt of dat de ammonium direct wordt opgenomen. In beide gevallen zal per verdwenen ammonium ion één H^+ ion vrijkomen.

Figuur 12 toont dat bij de plantenkweker na vier weken alle ammonium uit de voedingsoplossing verdwenen is. In de potten zonder planten is alle ammonium genitificeerd. In de pottenproef blijkt dat ammonium in veel behandelingen minder is afgenomen. In de behandeling zonder microbiologische activiteit is de concentratie ammonium niet afgenomen. In de andere behandelingen met ammonium is de microbiologische activiteit mogelijk minder geweest. In de behandeling water met ammonium is alle ammonium verdwenen. Dit heeft tot gevolg dat er in die behandeling na vier weken een zeer lage pH van 4.2 is gemeten. In de steenwol behandelingen is bijna de helft van de ammonium verdwenen en bij perliet ca 30%.



Figuur 12. De verandering van de ammonium concentratie in de steenwolkpotten na vier weken in de plantproef (links) en in de pottenproef (rechts).

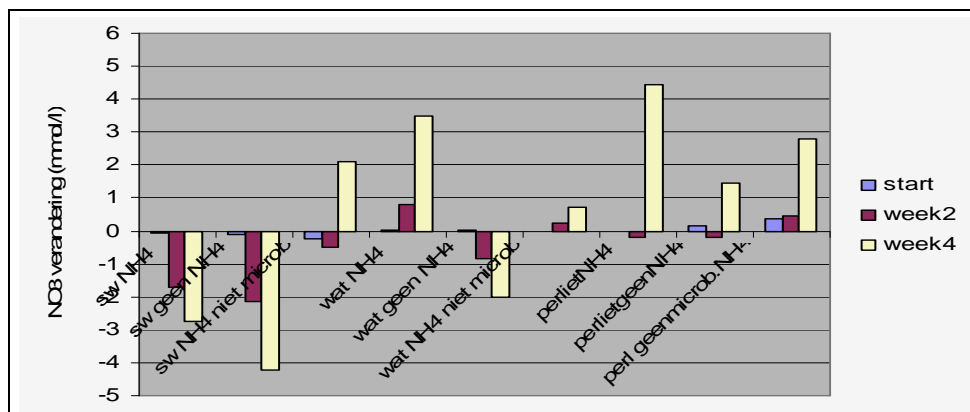
3.2.5.2 Denitrificatie

Bij een aantal behandelingen met biologische activiteit en hoge pH is tamelijk veel nitraat (NO_3^-) verdwenen. Het is waarschijnlijk dat er denitrificatie is opgetreden. Dit betreft de steenwolbehandelingen met

microbiologische activiteit. In veel van de andere behandelingen is –onverklaard- de nitraat concentratie juist iets toegenomen (Figuur 13). Het lijkt erop dat denitrificatie eerder optreedt bij een pH verhogend effect zoals het oplossen van de steenwol. Een pH verlagend effect zoals de aanwezigheid van ammonium voorkomt sterke denitrificatie.

De denitrificatie gebeurt in enkele stappen: nitraat (NO_3^-) → nitriet (NO_2^-) → stikstofmonoxide (NO) → distikstofmonoxide (N_2O) → stikstof (N_2), denitrificatie neemt toe bij toenemende pH, de vergelijking is: $\text{NO}_3^- + \text{CH}_2\text{O} + \text{H}^+ \rightarrow \frac{1}{2} \text{N}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 1\frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$

Met het verdwijnen van de nitraat wordt ook een H^+ aan het wortelmilieu onttrokken.



Figuur 13. De verandering van de nitraat concentratie in de voedingsoplossingen zonder planten.

3.3 PH-balans

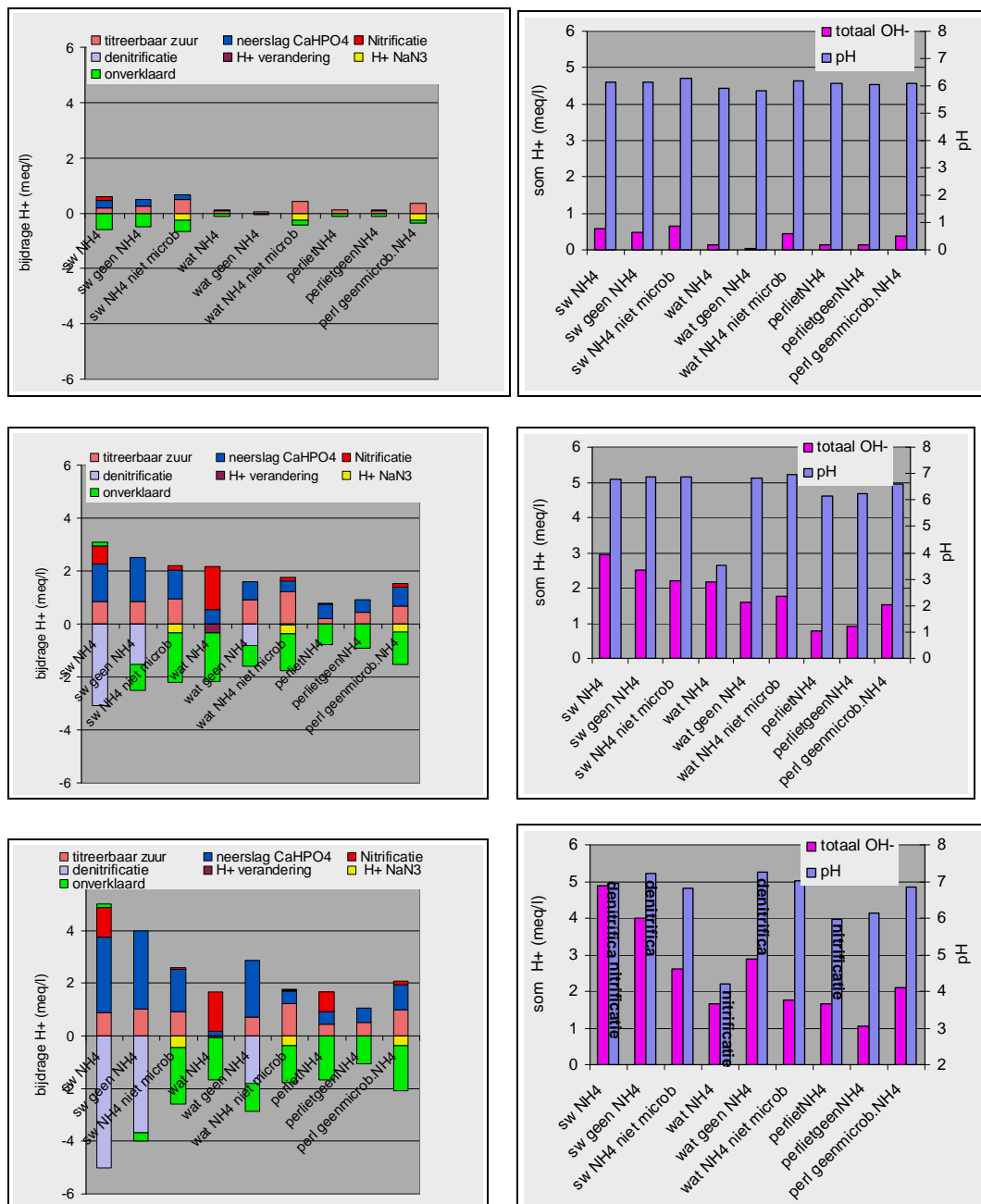
In deze paragraaf wordt de totale buffer van de verschillende behandelingen beschreven. Van alle bovenbeschreven processen is gemeten in hoeverre ze bijdragen aan het binden of vrijkomen van waterstof ionen. Het verschil van de zo berekende en de gemeten pH wordt in de figuren toegevoegd als een restwaarde. Zo ontstaan er kleurige staafkolommen die bijzonder veel informatie bundelen. Deze figuren staan aan de linkerkant. Deze balans is alleen op te stellen voor behandelingen zonder planten uit de pottenproef. Aan de rechterkant wordt meestal het totaal aantal gevormde meq OH^-/H^+ weergegeven.

De legenda bij de figuren bevat;

- titreerbaar zuur, een maat voor de hoeveelheid buffer in de vorm van bifosfaat en bicarbonaat.
- neergeslagen buffer, geschat uit de gemeten calciumafname
- denitrificatie, geschat uit de verdwenen hoeveelheid nitraat
- onverklaard, het verschil tussen de berekende en gemeten pH in oplossing
- pH toe of afname ten opzichte van de startsituatie
- nitrificatie, de hoeveelheid verdwenen ammonium
- H^+NaNO_3 is de hoeveelheid zuur verbruikt door het toevoegen van een algendoder.

3.3.1 Invloed van de tijd

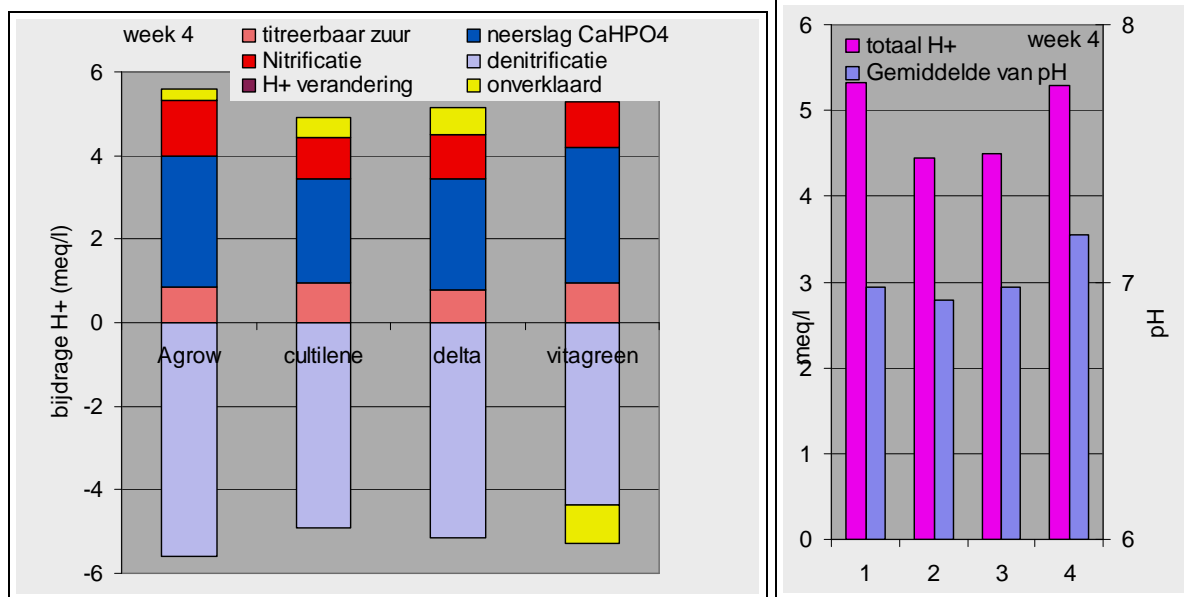
Opvallend is dat er veel verzurende processen zijn opgetreden terwijl de pH juist is gestegen (Figuur 14). Alleen bij nitrificatie wordt zuur aan het systeem onttrokken en dit is dus bovendien een in omvang belangrijk proces. Als de H^+ verandering per behandeling wordt opgeteld blijkt dat er vaak H^+ ionen zijn verdwenen. Dit onverklaarde deel wordt in de regel toegeschreven aan de steenwol, er van uitgaande dat steenwol een basisch effect heeft. Het is daarom opmerkelijk dat ook in de behandelingen met water en perliet een flinke hoeveelheid H^+ is verdwenen. Daarbij maakt het niet uit of er wel of geen microbiologische activiteit is geweest.



Figuur 14. Aan de linkerkant de invloed van de deelprocessen op de H⁺ balans op van onder naar boven dag 1, dag 14 en dag 28. Rechts het totaal aantal meq OH⁻/H⁺ in relatie tot de pH op dag 1, ook weer op dag 1, 14 en 28.

3.3.2 Invloed van de steenwolssubstraten

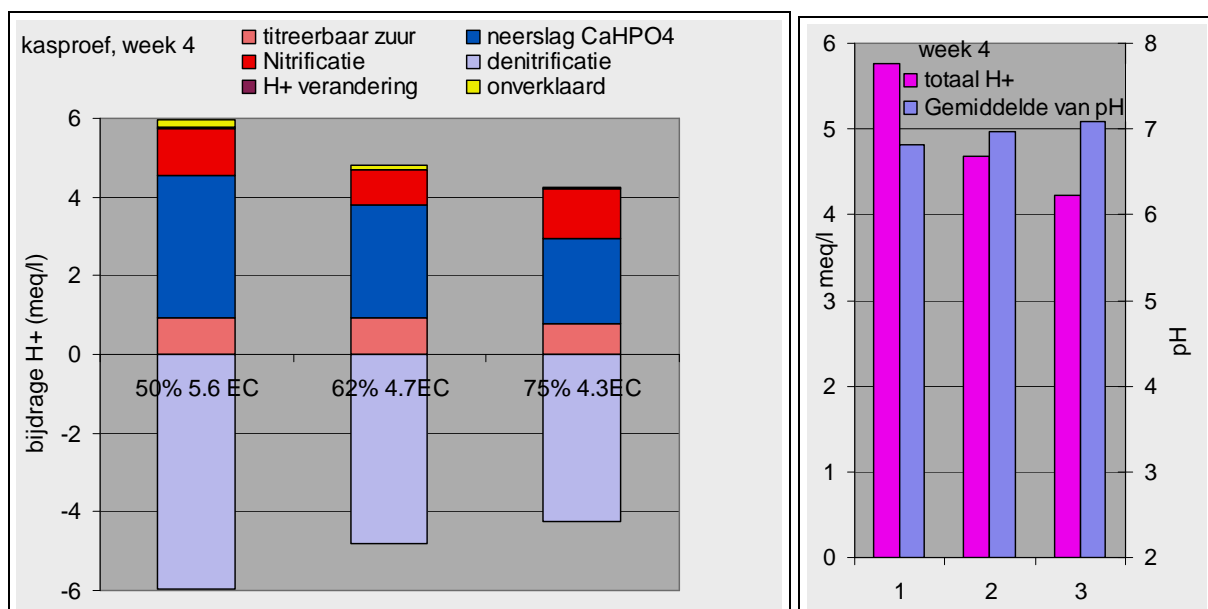
De H⁺ balans in de steenwolssubstraten met microbiologische activiteit is vrijwel volledig te verklaren door chemische en microbiologische processen die uit de verandering van de voedingssamenstelling zijn afgeleid. De beperkte hoeveelheid onverklaard H⁺ zou veroorzaakt kunnen zijn door onnauwkeurigheden in de voedingsanalyses (Figuur 15). Opvallend is dat er bij alle substraten ca 5 mmol/l nitraat is verdwenen door middel van denitrificatie. Dit betekent dat er 5 mmol H⁺ uit de voedingsoplossing is verdwenen. Als reactie hierop worden ca. 3 meq/l CaHPO₄ en 1 meq/l titreerbaar zuur gevormd en verdwijnt 1 mmol/l NH₄⁺ ten gevolge van nitrificatie. Nitrificatie is dus een in omvang belangrijk proces dat ook nog eens meerdere gevolgen heeft.



Figuur 15. Links de invloed van de deelprocessen en steenwolsoort op hoeveelheid H⁺, rechte het totaal aan meq OH⁻/H⁺ bij de vier steenwolsoorten (alles op dag 28).

3.3.3 Invloed van het watergehalte

Door het kleinere watervolume in de potten met laag watergehalte is er relatief meer water verdampt en is er na 4 weken een hogere EC bereikt (Figuur 16). Verschillende deelprocessen zijn proportioneel met de EC toegenomen. Het is niet duidelijk waarom er meer nitrificatie is opgetreden bij de lagere water gehalten. Dit zou door het lagere watergehalte of de hogere EC of een hogere pH veroorzaakt kunnen zijn. Bij de behandeling met 50% water is per liter voedingsoplossing meer H⁺ door denitrificatie verdwenen (fig 11). Dit heeft geleid tot meer neerslag van CaHPO₄ terwijl de nitrificatie en het titreerbaar zuur vrijwel gelijk zijn gebleven. Dit is eenvoudig te verklaren omdat het oplosbaarheidproduct van CaHPO₄ eerder wordt overschreden bij hogere calcium en fosfaat concentraties. Doordat er bij hoge EC relatief meer CaHPO₄ is neergeslagen blijft de pH ondanks de hogere nitrificatie 0.3 eenheden lager dan in de andere behandelingen.

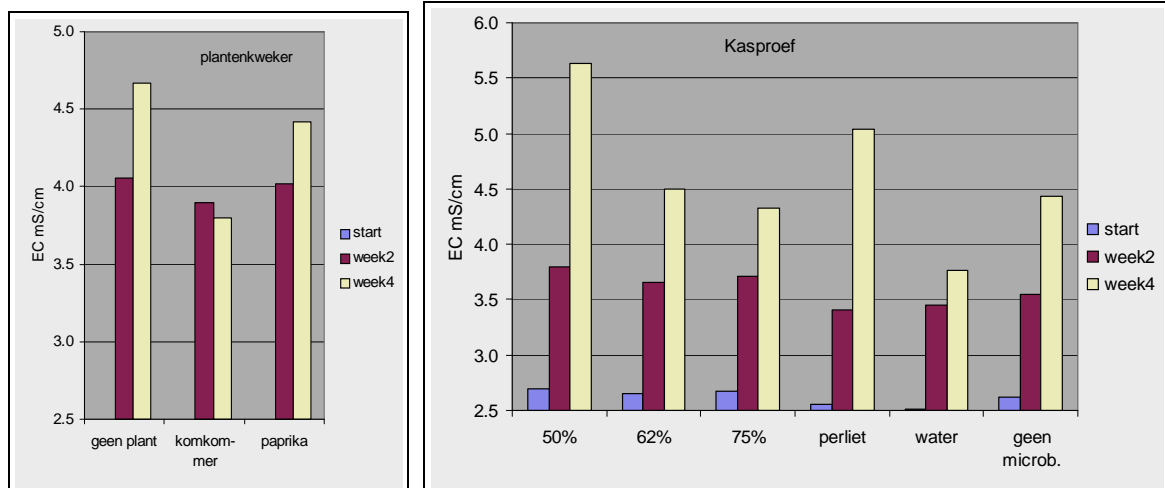


Figuur 16. Links de interactie tussen de deelprocessen en vochtgehalte/EC combinaties op H⁺, rechts het totaal aan meq OH⁻/H⁺ bij de drie vocht/EC combinaties (alles op dag 28).

3.3.4 Invloed van de EC

De EC was bij aanvang van de proef ongeveer 2.5 mS bij alle behandelingen. Om het waterverlies door

verdamping te compenseren en het vochtgehalte op peil te houden is wekelijks 70 – 100 ml voedingsoplossing aan iedere pot toegevoegd. Dit was dezelfde voedingsoplossing waarmee de potten zijn volgezet. Dit had tot gevolg dat de EC gedurende de proef geleidelijk steeg (Figuur 17). Naarmate een substraat minder water bevatte en relatief meer verdampte nam de EC sterker toe. Perliet stond in een laagje water en was aan het oppervlak vrij droog waardoor de EC in dit droge substraat minder sterk opliep dan steenwol met 50% water.

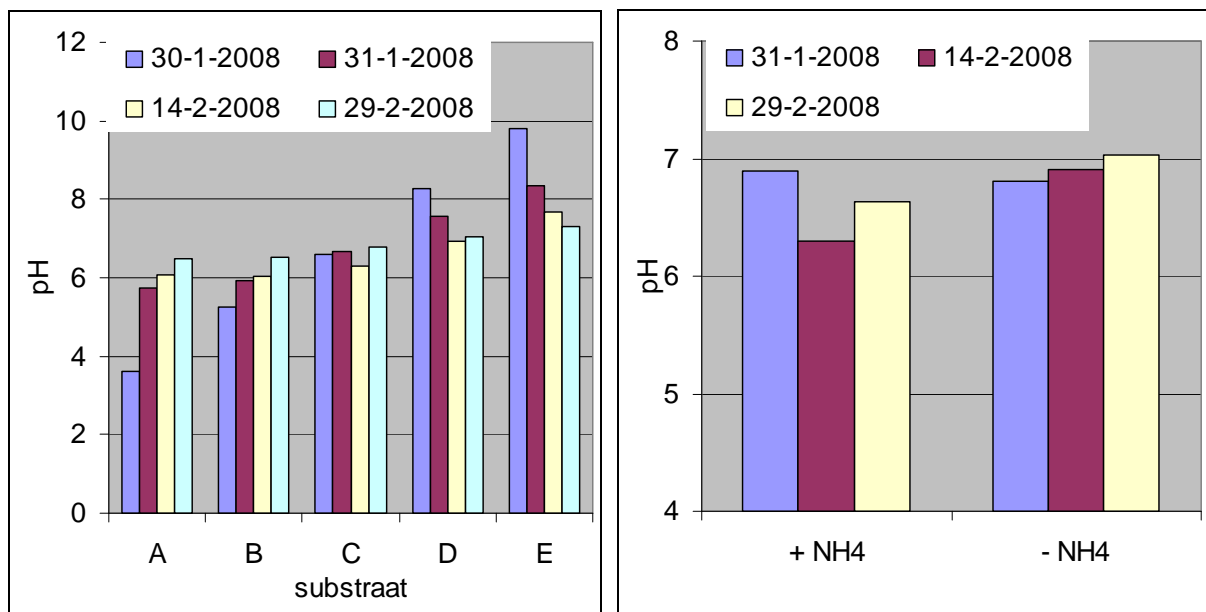


Figuur 17. Ontwikkeling van de EC (mS/cm) bij de plantenweker en in de pottenproef.

3.4 PH-trappenproef

3.4.1 PH effecten

De ingestelde pH's veranderden snel waardoor de verschillen in de pH reeks in de loop van de tijd kleiner werden (Figuur 18). Er is zowel een snelle toename in de tijd voor pH's < 6 als een geleidelijke afname voor pH's > 6. De pH bij de behandeling C (start pH 6.5) blijft in de tijd stabiel. Het toevoegen van ammonium resulteerde in een snelle maar tijdelijke daling van de pH (Figuur 19).

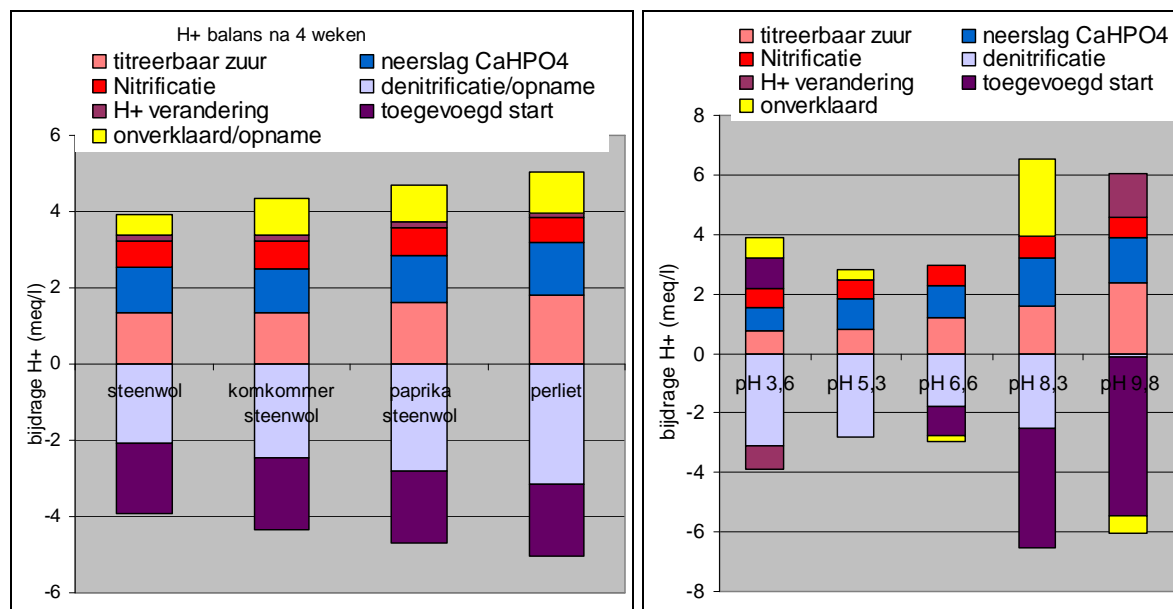


Figuur 18. Het gemiddelde pH-verloop in steenwolpotten zonder plant.

Figuur 19. De invloed van ammonium op het pH verloop in steenwolpotten zonder plant.

3.4.2 Deelprocessen

Figuur 20 toont dat de invloed van paprika en komkommer op de H⁺ balans na 4 weken relatief gering is, circa 0.6 mmol/l op een totaal van 4.5 mmol/l. De H⁺ balans klopt, zie het deel onverklaard in Figuren 20 en 21, redelijk voor de verschillende start-pH's. De deelprocessen laten zien dat naast de toegevoegde hoeveelheid base bij de start van de teelt ook de denitrificatie van invloed is op de H⁺ balans. Bij de hoogste start pH is geen afname in nitraat gemeten, zodat er in die behandeling geen denitrificatiedeel is aangegeven. Opmerkelijk is de denitrificatie bij pH's <6.5. Denitrificatie is namelijk een microbiële omzetting die optreedt bij anaerobe omstandigheden en pH boven de 6.5.



Figuur 20. De deelprocessen in steenwol en perliet zonder planten en in steenwol met komkommer respectievelijk paprika.

Figuur 21. De deelprocessen bij de verschillende pH-trappen (start-pH's).

3.4.3 PH en productie

Komkommer groeide beter in de voedingsoplossing met ammonium, maar paprika lijkt geen voorkeur voor ammonium stikstof te tonen (Tabel 6). De groei van komkommer werd minder bij een start-pH van 11.0 en een gemiddelde pH van 7.8 terwijl paprika hier (nog) geen last van leek te hebben (Tabel 7).

Tabel 6 De invloed van ammonium op het versgewicht in g/plant na 4 weken¹.

Gewas	Komkommer	Paprika
NH ₄ = 0	3.60(b)	4.46 (a)
NH ₄ = 1 mmol/l	4.57(a)	4.34(a)

¹Een verschil is betrouwbaar als behandelingen geen gemeenschappelijke letters hebben.

Tabel 7 De invloed van de start-pH op de gemiddelde pH en op het versgewicht (g/plant) na 4 weken¹.

Start pH	Gem pH proef	Komkommer	Paprika
3.2	6.1	4.08(a)	4.41(a)
5.1	6.2	4.29(a)	4.30(a)
6.5	6.6	4.00(a)	4.50(a)
9.1	7.2	4.48(a)	4.38(a)
11.0	7.8	3.24(b)	4.48(a)

¹Een verschil is betrouwbaar als behandelingen geen gemeenschappelijke letters hebben.

4 Discussie en conclusie

4.1 Discussie

De ontwikkelde methode (Bijlage 3) is werkbaar, robuust, onderscheidend en heeft een relatie met de praktijk.

De werkbaarheid betreft;

- De meting wordt verricht met standaard apparatuur die bekend is bij de routinelabs.
- De bepaling is af te ronden binnen 24 uur.
- In de nachtperiode is geen toezicht nodig.
- De grafiek is leesbaar voor een niet chemisch opgeleide klant.

De robuustheid betreft;

- Herhalingen geven dezelfde waarden +/- 10%, zowel in pH als in zuurverbruik.
- De gevonden waarden zijn door derden te controleren.

Het onderscheidend vermogen betreft;

- Het verschil tussen potten van verschillende producenten is meetbaar.
- Het verschil tussen dezelfde producten met verschillende dichtheden is meetbaar (zolang de dichtheid niet in het resultaat wordt verrekend natuurlijk).

Relatie met de praktijk;

- De meting regelt de pH terug naar pH 5.0.
- De zuurdosering komt in "beurten" van 5 minuten per uur (9 maal herhaald).
- De gevonden pH waarden komen overeen met de waarden gevonden voor potten zonder planten voor perioden tussen 1 en 28 dagen bij de plantenkweker en bij GAC.

Voor het ontwikkelen van de methode is het natuurlijk jammer dat er in de tijd dat het project liep, er geen partijen substraat zijn aangeleverd die een problematisch hoge pH veroorzaakten. Hierdoor zou een beter idee verkregen zijn van de nog af te spreken grenswaarden. Dit is door het gebruik van kalkzandsteen deels ondervangen. Het is nu aan de betrokken partijen (IGPA en Plantum) om grenswaarden voor afkeur op te stellen.

De pH van planten op steenwol loopt bij de plantenkweker op tot pH 8.0, 2.5 pH eenheid boven de pH van het uitgangswater. Het is niet uitgesloten dat de nieuwe betonvloer een deel van de pH verhoging verklaart. De pH in steenwolpotten zonder planten ligt op 6.5, vergelijkbaar met de pH 7,0 op steenwol in de pottenproef. Perliet en water hebben een pH van 6.0 tot gevolg. De conclusie is dat de plant een invloed op de pH heeft die 2-10 keer zo groot is dan de invloed van de steenwolpotten waarbij de grote spreiding de mogelijke rol van de betonvloer betreft. Elke pH eenheid staat zoals bekend voor een factor 10 in de concentratie van H⁺ ionen. De rol van de plant op de pH is grotendeels indirect via invloed de reacties die in paragraaf 3.2 afzonderlijk zijn besproken.

De rol van de hoeveelheid fosfaatbuffer in oplossing is in de orde van 0-0.5 meq/l zuur. De rol van bicarbonaat was in deze proef 0-0.3 meq/l zonder plant maar 3.0 meq/l met plant. De plant vertienvoudig de invloed van bicarbonaat! Het restzuurverbruik is bijna altijd minder dan 0.5 meq/l en dit bevestigt dat de invloed van de steenwol relatief bescheiden is. Er zijn ook geen verschillen tussen de verschillende soorten steenwolpotten gevonden in restzuurverbruik of in eind-pH zonder planten.

De neerslag van bicarbonaat verklaart 0-0.6 meq/l zuurbinding.

De omzetting van ammonium levert 0-2.0 meq/l zuur door microbiële activiteit alleen en 0-3.0 meq/l met planten. Ook hier blijkt dus dat de invloed van biologische factoren (microbiologisch leven of de plant) al snel 5-10 keer groter is dan die van de substraatmaterialen.

De denitrificatie blijkt het in omvang belangrijkste proces te zijn met een effect tot 6.0 meq/l zuurbinding.

Hier horen echter een aantal kanttekeningen van verschillende aard bij.

- a) Het verdwijnen van nitraat is toegeschreven aan denitrificatie. Dit is een hypothese die nog bewezen moet worden! Aanwijzingen zijn dat het proces alleen optreedt als er microbieel leven mogelijk is en dat de berekende pH-effecten ook optreden. Tegenwerpingen zijn dat denitrificatie alleen optreedt onder anaerobe omstandigheden terwijl er geen toename van denitrificatie met vochtgehalte is gevonden. Een andere tegenwerping is dat denitrificatie optimaal is tussen pH 7 en 8 terwijl hier al bij gemeten pH's van 6.0 denitrificatie werd gevonden. Zonder iets af te doen aan het belang van de gemeten effecten moet geconcludeerd worden dat de verklaring nog onvolledig is.
- b) De effecten van denitrificatie zijn zo groot dat ze ook de andere processen die op de pH reageren (neerslag van calciumfosfaat, bicarbonaat, fosfaatbuffer) kunnen sturen. Hierdoor kunnen ook bijeffecten ontstaan die indirect het gevolg van de denitrificatie zijn.
- c) Een eigenaardigheid van denitrificatie of beter gezegd de (nog niet onomstotelijk aangetoonde) denitrificerende bacteriën is dat ze pas actief worden bij pH waarden boven de 6.5.
- d) Een belangrijke gevolg van de vorige conclusie is dat als denitrificatie op gang komt, de pH stijging zelf een versnelling van de denitrificatie kan veroorzaken. Er is dus een pH-grens waarboven een zelfversnellend proces op gang komt. Omdat het aantal watergeefmomenten in de opkweek beperkt is tussen eens per 1 tot 10 dagen betekent dit dat de mogelijkheden van de plantenkweker om het proces als het op gang komt nog te onderbreken beperkt zijn. Het is daarom belangrijk te voorkomen dat denitrificatie op kan treden door de pH onder de 6.5 te houden.

De gegevens tonen verder de omvang van bekende processen. Zo neemt de EC toe bij toenemende verdamping en heeft dat invloed op een flink aantal van de beschreven reacties en dus ook de pH (toename). Ook het watergehalte heeft los van de EC nog invloed op de schommelingen in allerlei concentraties en daarmee weer indirect op de pH.

4.2 Conclusies

Samenvattend in termen van de doelstelling;

- A) Er is een methode voor het meten van het pH-bufferend vermogen van opkweekpotten (Bijlage 3).
- B) Er is een relatie tussen de ontwikkelde laboratoriummeting en in de praktijk gevonden pH waarden voor dat deel dat met steenwol te verklaren is (Figuur 16 het deel onverklaard). In de praktijk komt dit neer op maximaal 1.5 tot 2.0 pH punt boven pH 5.0, mogelijk minder. De labmethode geeft pH 6.1 (Figuur 6).
- C) De bandbreedte waarbinnen de pH kan variëren zonder dat de groei verstoord wordt, ligt boven pH 7.0-7.5. De reden dat deze schadedrempel als minder relevant wordt gezien is dat het vermijden van denitrificatie belangrijker lijkt. Een belangrijke nevenuitkomst van dit onderzoek is dat boven een pH van 6.5 denitrificatie een zelfstandig verlopend pH opdrijvend proces wordt.
- D) Er is een norm voorgesteld van , gebaseerd op praktijkwaarden voor veilige pH, in termen van de methode onder A. Het voorstel betreft grenswaarden voor pH en zuurverbruik bij zowel puls 1 als puls 9. Er is voorgesteld de pH gemeten vlak voor puls 1 op maximaal pH 7.5 te stellen en het zuurverbruik in puls 1 op maximaal 5 ml 1 M zuur. Gemeten vlak voor puls negen is voorgesteld dat de pH nog maximaal pH 6.0 mag zijn en het zuurverbruik in puls negen nog maximaal 0.5 ml 1 M zuur.

Boven de doelstellingen in het plan zijn er nog enkele belangrijke conclusies getrokken;

- De rol van normale steenwolpotten is ongeveer 10% van de invloed die de plant in 3-4 weken kan uitoefenen en ook 5-10 keer kleiner dan de soms aanwezige microbiële invloed.
- In deze proef zijn geen effecten van algen waargenomen of gemeten.
- Boven een pH van 6.5 kan denitrificatie een zelfstandig verlopend pH opdrijvend proces worden.
- Het verdwijnen van nitraat, hier toegeschreven aan denitrificatie, moet verder nagemeten worden met nadruk op het leren kennen en voorkomen van omstandigheden waarbij het denitrificatieproces zelf invloed krijgt op de pH ontwikkeling.

Bijlage 1 Behandelingen in de plantproef (vd Lugt)

Tabel 1 Proefopzet bij plantenkwekerij van der Lugt.

Gewas		Ammonium bij start	Bemonstering
Komkommer	Cultilene	0.3	1, 14 28 DAS
Komkommer	Agrow	0.3	1, 14 28 DAS
Komkommer	Vitagreen (Grodan)	0.3	1, 14 28 DAS
Komkommer	Delta (Grodan)	0.3	1, 14 28 DAS
Tomaat	Cultilene	1.4	1, 14 28 DAS
Tomaat	Agrow	1.4	1, 14 28 DAS
Tomaat	Vitagreen (Grodan)	1.4	1, 14 28 DAS
Tomaat	Delta (Grodan)	1.4	1, 14 28 DAS
Leeg	Cultilene	0.3	1, 14 28 DAS
Leeg	Agrow	0.3	1, 14 28 DAS
Leeg	Vitagreen (Grodan)	0.3	1, 14 28 DAS
Leeg	Delta (Grodan)	0.3	1, 14 28 DAS
Leeg	Cultilene	1.4	1, 14 28 DAS
Leeg	Agrow	1.4	1, 14 28 DAS
Leeg	Vitagreen (Grodan)	1.4	1, 14 28 DAS
Leeg	Delta (Grodan)	1.4	1, 14 28 DAS


Bijlage 2 Uitkomsten van labmetingen

Tabel 1 Kentallen van een groot aantal labmetingen

Materiaal	Ingesteld pH	Start-	Tijd uur	Debiet l.min ⁻¹	Titer mol.L ⁻¹	Gedoseerd ml	Gewicht g	Verbruik mmol/kg
		pH						
Grodan ***	4	6.2	16	1	0.1	15.70	26.54	59.2
Grodan ***	4	6.0	16	1	0.1	18.32	22.29	82.2
Grodan xpt*	4	5.9	13	1	0.1	17.60	17.5	100.6
Grodan xpt*	4		16	1	0.1	18.40	17.5	105.1
Zandsteen grof	4	11.3	16	1	0.1	41.58	60	69.3
Zandsteen fijn	4	9.5	16	1	0.1	48.22	43	112.1
Perliet	4	6.3	16	1	0.1	7.28	34.75	20.9
Perliet	4	7.0	16	1	0.1	6.23	31.09	20.0
Grodan ***	4	6.6	16	0.36	0.1	12.51	21.13	59.2
Grodan ***	4	6.4	16	0.36	0.1	14.03	21.18	66.2
Grodan ***	4	6.4	16	0.72	0.1	22.81	21.5	106.1
Grodan expertmat	5	5.7	16	1.0	0.1	1.43	17.5	8.2
Grodan xpt*	5	5.6	16	1.0	0.1	0.87	17.71	4.9
Grodan ***	5	6.0	16	1.0	0.1	1.74	24.06	7.2
Grodan ***	5	6.2	16	1.0	0.1	1.92	22.08	8.7
Perliet	5	7.6	16	1.0	0.1	3.70	31.09	11.9
Perliet	5	8.4	16	1.0	0.1	3.18	32.84	9.7
Perliet	5	7.2	16	1.0	0.1	4.33	35.51	12.2
Cultilene pot	5	6.3	16	10.0	0.1	2.27	21.16	10.7
Cultilene pot	5	6.5	16	10.0	0.1	3.73	21.54	17.3
Cultilene pot	5	6.4	16	10.0	0.1	2.50	20.98	11.9
Grodan ***	5	6.4	16	10.0	0.1	1.72	24.08	7.2
Perliet	5	7.2	16	10.0	0.1	2.32	36.71	6.3
Cultilene pot	5	6.4	16	10.0	0.1	2.08	22.12	9.4
Grodan ***	5	6.3	16	10.0	0.1	1.67	22.79	7.3
Perliet	5	7.4	16	10.0	0.1	2.75	33.41	8.2
Zandsteen grof	5	10.8	16	10.0	0.1	26.53	60.87	43.6
Zandsteen fijn	5	10.0	16	10.0	0.1	28.48	43.8	65.0
Zandsteen grof	5	10.8	16	10.0	0.1	25.96	59.3	43.8
Zandsteen fijn	5	9.9	16	10.0	0.1	29.78	43.23	68.9
Grodan ***	4	6.2	65	1.0	0.1	33.73	21.96	153.6
Grodan ***	4	6.4	65	2.0	0.1	28.31	22.88	123.7
Cultilene pot	4	6.1	65	10.0	0.1	100.00	21.82	458.3
Cultilene pot	4	6.2	65	10.0	0.1	250.00	21.87	1143.1
Cultilene pot	5 naar 4	6.4	65	10.0	0.1	124.97	22.81	547.9
Cultilene pot	5 naar 4.5	6.4	23	10.0	0.1	8.86	22.29	39.7
Grodan ***	5 naar 4.5	6.3	23	10.0	0.1	4.25	20.95	20.3
Grodan xpt*	5	6.4	65	10.0	0.1	2.48	19.01	13.0

Xpt* = expertmat

Bijlage 3 Methode “Bepaling zuurbindende waarde”

Bijlage 1		<u>Analysereeks WUR</u> Bepaling zuurbindende waarde (KIWA)	
1	Onderwerp Dit voorschrift beschrijft de bepaling van de zuurbindende waarde van substraten.		
2	Toepassingsgebied Dit voorschrift is van toepassing op alle soorten substraten.		
3	Termen en definities <i>Zuurbindende waarde</i> : de mate waarmee een substraat de toegediende pH waarde terugbufferd naar de pH van het substraat.		
4	Beginsel Een vast volume van een vers monster substraat wordt in een cilinder gebracht en met demiwater verzadigd in een gesloten systeem. Het water in het systeem wordt voortdurend rondgepompt. De pH in het rondstromende water wordt gemeten en gedurende 5 minuten continu gecorrigeerd naar een vooraf ingestelde waarde, pH 5.0. De pH wordt vervolgens 55 minuten vrij gelaten. Hierna volgt nog 8 keer een periode van 5 minuten terugbrengen op pH 5.0 gevolg door 55 minuten zonder doseren. De hoeveelheid verbruikt zuur per eenheid droog gewicht is een maat voor de zuurbindende waarde.		
5	Reagentia Gebruik water met een geleidbaarheid kleiner dan 50 $\mu\text{S m}^{-1}$.		
6	Toestellen en hulpmiddelen Gebruikelijke toestellen en hulpmiddelen en in het bijzonder de volgende: 6.1 Titrimo opstelling met pH meting, voorraadvat en pomp (Totaal systeemvolume ca 630 ml) 6.2 Software voor uitvoering van de methode 6.3 Monstercilinder (ca 360 ml) 6.4 Vat voor de pH-meting en doseren van het zuur 6.5 Pomp (Masterflex console drive) instelbare pompsnelheid 6.6 Buffer 7 en buffer 4 6.7 HCl oplossing 0.1 M.		
7	Werkwijze Voor los materiaal : Bescherm de in en uitstroomopening van de monstercilinder met een filter(doek) bijv Agratex. Vul de getareerde cilinder en weeg het verse substraat. Sluit vervolgens de cilinder af met het deksel. Voor vast materiaal: Gebruik een holle boor, \varnothing gelijk aan \varnothing cilinder, en boor genoeg materiaal om de getareerde monstercilinder te vullen en weeg het verse substraat. Sluit vervolgens de cilinder af met het deksel. De metingen dienen plaats te vinden bij kamertemperatuur.		
geschreven door	: C. Blok	onderwerp:	Analyse zuurbindende waarde
versie	: 4	datum	: 6-7-2008 20:09:00
voor akkoord	:	pagina	: 1 van 2
© WUR Glastuinbouw Eigendom van WUR Glastuinbouw. Niets uit dit document mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van WUR Glastuinbouw. WUR Glastuinbouw aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid, ook niet voor directe of indirecte schade, ontstaan door of verband houdende met toepassing van deze uitgave.			



Bouw de monstercilinder in het systeem in en sluit de slangen aan. Vul het vat (6.4) tot de streep met demiwater en zorg dat de pomp op 0.00 staat ingesteld.

Zorg dat er zich nergens luchtbelletjes bevinden in de slangetjes van de Titrimo 702 SM en dat er voldoende HCl-oplossing (6.7) in de voorraadfles zit.

Start het Tinet 2.4 softwareprogramma op en druk vervolgens op "Titration".

Vul de velden "User", Method (kies pHKIWA), Id1 (korte omschrijving), Id2 (gewicht vers substraat) en Smpl Size (volume) in. Druk op de rode "START"-knop en volg de instructies voor het instellen van de buffers 7 en 4.

Start de pomp (6.5) en voer de snelheid langzaam op zodat het demiwater uit het vat (6.4) op gecontroleerde wijze de monstercilinder vult. Voer de snelheid langzaam op tot stand 5.00 en zorg dat het demiwatervolume in het vat (6.4) gevuld blijft tot de streep totdat het water rondgepompt is.

Vervolg de meetmethode door de instructies op het beeldscherm te volgen en <F9> in te toetsen op het toetsenbord.

De meting is afgelopen als de rode "START"-knop op het beeldscherm weer actief is. Druk vervolgens via het Tinet startmenu op de knop "Results". Selecteer de juiste databaseregel en selecteer via "File" en "Export data" de optie "Measuring point lists". Geef het exportbestand een naam en druk op de "Export"-knop. Er wordt een CSV-file opgeslagen voor verdere verwerking in Excel.

8 Berekeningen

De resultaten worden uitgedrukt in zuurverbruik per gewicht in mmol per gram of mol per kilo.

$$D = \frac{(A * B)}{C}$$

A=Hoeveelheid gedoseerd zuur in ml

B= concentratie H van het zuur in mol/l

C=massa van het substraat in kilo's

D=zuurverbruik in mmol per kilo substraat

9 Nauwkeurigheid

10 Verslag

11 Literatuur

NEN 7341 "Uitloogkarakteristieken van vaste grond- en steenachtige bouwmaterialen en afvalstoffen. Uitloogproeven.

geschreven door : C. Blok
 versie : 4
 voor akkoord :

onderwerp: Analyse zuurbindende waarde
 datum : 6-7-2008 20:09:00
 pagina : 2 van 2

© WUR Glastuinbouw
 Eigendom van WUR Glastuinbouw. Niets uit dit document mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van WUR Glastuinbouw. WUR Glastuinbouw aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid, ook niet voor directe of indirecte schade, ontstaan door of verband houdende met toepassing van deze uitgave.