

# Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentegewassen

## 1. Bemesting en rendement

P.A.I. Ehlert<sup>1</sup>, C.A.Ph. van Wijk<sup>2</sup> & W. van den Berg<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ALTERRA

<sup>2</sup> PAV

© Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt én ALTERRA

PAV

Edelhertweg 1, Lelystad

Postbus 430, 8200 AK Lelystad

0320 29 11 11

0320 23 04 79

info@pav.agro.nl

www.agro.nl/pav

ALTERRA

Droevendaaisesteeg 3, Wageningen

Postbus 47, 6700 AA Wageningen

0317-474700

0317-419000

postkamer@alterra.wag-ur.nl

www.alterra.wageningen-ur.nl



# **Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentegewassen**

## **1. Bemesting en rendement**

P.A.I. Ehlert, C.A.Ph. van Wijk, W. van den Berg

# Inhoud

Samenvatting .....	5
1. Aanleiding .....	6
1.1. Doel.....	8
1.2. Integratie met het bemestingsadvies voor de akkerbouw .....	8
2.1. Opzet .....	11
2.2. Gewaskeuze .....	11
2.3. Proefopzet.....	11
2.4. Methoden.....	12
3. Bewerking en analyse van gegevens.....	14
3.1. Inleiding .....	14
3.2. Wiskundige beschrijving van de opbrengstreactie.....	14
3.3. Neerslag en temperatuur.....	17
4. Resultaten .....	18
4.1. Effect van neerslag en temperatuur op opbrengst.....	18
4.2. Gewasreactie.....	18
4.2.1. Prei.....	19
4.2.2. Peen.....	20
4.2.3. Sla .....	21
4.2.4. Aardappel.....	23
4.2.5. Bloemkool.....	24
5. Discussie.....	26
5.1. Landbouwkundige betekenis van P-AI-getal .....	26
5.2. Differentiatie naar grondsoort.....	27
5.3. Waardering van de fosfaattoestand .....	28
5.4. Gewasgroep .....	29
5.5. Maximale opbrengst versus economisch rendabele opbrengst .....	29
6. Landbouwkundig fosfaatbemestingsadvies voor vollegrondsgroenten .....	30
6.1. Waardering van de fosfaattoestand van de bodem voor akkerbouw en vollegrondsgroenten ...	30
6.2. Grondgericht advies .....	30
6.3. Gewasgericht advies.....	31
6.4. Toelichting op nieuwe kolom .....	31
Bronvermelding .....	34

Bijlage 1. Algemeen grondonderzoek per proefjaar voor de laag 0-30 cm.....	38
Bijlage 2. Marktbaar opbrengst per gewas per locatie bij twee fosfaatgiften. ....	39
Bijlage 3. Aardappel, toestanden-hoeveelheden veldproef te Lelystad. ....	40
Bijlage 4. Teelt- en weersgegevens van kropsla. ....	41
Bijlage 5. Teelt- en weersgegevens van peen .....	42
Bijlage 6. Toelichting keuze responscurve .....	43

# Samenvatting

De gewasreactie van intensief geteelde vollegronds groentegewassen op fosfaatbemesting en fosfaattoestand is door middel van veldonderzoek op zand-, dal- en kleigrond in 1996-1998 vastgesteld.

Toetsgewassen waren vroege sla, zomersla, bloemkool peen, prei en aardappel. De groentegewassen zijn gekozen op grond van hun verwachte fosfaatreactie en hun belang voor de sector. Aardappel is gekozen als vertegenwoordiger van het fosfaatbemestingsadvies voor akkerbouwland. Prei en bloemkool zijn niet fosfaatbehoefstig. Sla en peen zijn daarentegen ten opzichte van aardappel duidelijk fosfaatbehoeftiger.

De reactie van sla en peen op fosfaatbemesting en fosfaattoestand was sterker dan die voor aardappel. De opbrengstreactie van bedekte vroege slateelt was vergelijkbaar met die van de zomerteelt. In de samenvattende bewerking is het onderscheid in teelt niet meegenomen. Prei en bloemkool reageerden niet op fosfaatbemesting. Prei reageerde wel op de fosfaattoestand. Naarmate de fosfaattoestand hoger werd, steeg de opbrengst. Bloemkool reageerde niet op verschillen in fosfaattoestand.

De fosfaattoestand is bepaald met twee methoden van grondonderzoek, nl. het Pw-getal en het P-AL-getal. De correlatie tussen deze twee methoden is hoog.

De reactie van het gewas op fosfaatbemesting en fosfaattoestand is met multivariate regressieanalyse beschreven. Een exponentieel model bleek passender bij de data te zijn dan een tweede graad polynoom, een invers lineair model of een 'broken stick' model. Een integrale analyse op basis van alle data is per gewas uitgevoerd.

Multivariate regressieanalyse met het Pw-getal of het P-AL-getal als maat voor de fosfaattoestand gaf identieke resultaten. Er is geen meerwaarde te geven aan het gebruik van beide methoden van grondonderzoek. Gekozen is om uitsluitend het Pw-getal voor bemestingsdoeleinden bij vollegrondsgroenteteelt te gebruiken. Daarmee wordt integratie met het fosfaatbemestingsadvies voor akkerbouwmatig geteelde gewassen mogelijk gemaakt. Een tweede motief voor deze keuze berust op de multifunctionele betekenis van het Pw-getal.

Een voorstel voor een bemestingsadvies voor vollegrondsgroenten dat geïntegreerd is met het fosfaatbemestingsadvies voor akkerbouwland wordt gegeven. Het advies berust op economisch optimale opbrengsten. Om een renderende opbrengst te krijgen moet aan sla en peen veel meer fosfaat gegeven worden dan aardappel volgens het bemestingsadvies voor akkerbouwland. Het voorstel gaat uit van de uitbreiding van het huidige advies voor akkerbouwland met een extra kolom voor zeer fosfaatbehoefstige gewassen. De minder fosfaatbehoefstige vollegrondsgroentegewassen zijn opgenomen in bestaande gewasgroepen van het bemestingsadvies voor akkerbouwland.

# 1. Aanleiding

De huidige adviesbasis voor fosfaat voor intensief geteelde vollegrondsgroenten kent twee grondslagen, namelijk een:

1. gewasgericht advies en een
2. grondgericht advies voor na te streven fosfaattoestand van de bouwvoor (streefgetal) en reparatie bij te lage fosfaattoestanden;

De grondslag van het huidige advies voor vollegrondsgroenten wordt gevormd door een koppeling van een voorraadmeting van fosfaat (P-AL-getal) met een intensiteitmeting (Pw-getal). Het advies voor de vollegrondsgroenteteelt verschilt van de adviesbasis voor de bemesting van akkerbouwland. Het bemestingsadvies voor akkerbouwland is geheel gebaseerd op de bepaling van de fosfaattoestand door middel van het Pw-getal. Ook het akkerbouw advies kent een gewasgericht en een grondgericht advies. Indien de fosfaattoestand te laag is, wordt volgens beide adviezen aanbevolen om de toestand te repareren.

De na te streven fosfaattoestand en de aanbevolen meststofgift is voor vollegrondsgroenten hoger dan die voor akkerbouwmatig geteelde groenten (Van der Boon, 1973). Daarvoor werden onder meer de volgende redenen aangevoerd:

- Intensieve vollegrondsgroenten worden voor de verse markt geteeld waarbij aan uniformiteit en groeisnelheid hoge tot zeer hoge eisen gesteld kunnen worden (o.a. primeurteelt). Akkerbouwmatig geteelde groenten worden op contract voor industrie geteeld. Hierbij speelt de groeisnelheid geen doorslaggevende rol.
- Het betaalt om op intensieve bedrijven naar maximale opbrengsten te streven, hetgeen onrendabel is bij akkerbouwmatige teelten.

Beide adviezen hebben een verschillende grondslag hetgeen vergelijking van geadviseerde giften bemoeilijkt. De verschillen tussen beide adviesbases vormen al jaren een aandachtspunt. Adviezen voor fosfaatgiften aan een groentegewas op een akkerbouwbedrijf zijn beduidend lager dan een advies voor hetzelfde groentegewas op een intensief bedrijf. Dit roept vragen op in de praktijk. Het advies voor de na te streven fosfaattoestand op een akkerbouwbedrijf is lager dan die op een intensief groentebedrijf. Bovendien verschillen de adviezen in detaillering naar grondsoort. Ook dat roept vragen op. Tenslotte knelt het huidige fosfaatbemestingsadvies met het MIneralen Aangifte Systeem (MINAS), in het bijzonder als dit systeem ook voor kunstmestfosfaat gaat gelden. De huidige adviezen voor de fosfaatbehoeftevolle vollegrondsgroentegewassen leiden tot een onacceptabele overschrijding van toegelaten verliesnormen (dit is het verschil in aanvoer van fosfaat met meststoffen en bodemverbeterende middelen en de afvoer met oogstproducten). Deze onacceptabele overschrijding van de fosfaatoverschotten roept vragen op over de noodzaak van de hoge giften en de betrouwbaarheid ervan voor intensief geteelde vollegrondsgroenten. Dit noopt tot een kritische beschouwing van het advies.

Het huidige advies voor vollegrondsgroenten is gebaseerd op bemestingsonderzoek van beperkte omvang. Het onderzoek dateert veelal van vòòr 1950 (Van der Boon, 1953, 1960a, 1960b, 1973). In die periode werd gebruik gemaakt van de een extractie met citroenzuur om de fosfaatbeschikbaarheid in de grond vast te stellen (P-citroenzuur) en het zogenoemde P-getal (extractie met warm water). Om analytisch-technische redenen werd in 1958 van P-citroenzuur overgegaan naar extractie met ammoniumlactaat-azijnzuur (P-AL-getal). Bij de omzetting van het oude advies op basis van P-citroenzuur naar een advies op basis van P-AL-getal is destijds gebruik gemaakt van grafische verbanden tussen P-citroenzuur en P-AL-getal onder in achtneming van de gehalten aan organische stof en vrije koolzure kalk (Van der Paauw e.a., 1958). Een herijking van het advies op basis van veldproefgegevens heeft toen niet plaatsgevonden. Bij de waardering van het P-AL-getal wordt rekening gehouden met de grondsoort.

In de periode 1969-1970 werd het P-getal vervangen door de toen nieuwe methode voor grondonderzoek op fosfaat: het Pw-getal. Deze invoering vond wederom plaats op grond van analytisch-technische motieven. Het Pw-getal is door Sissingh (1972) ontwikkeld. De voorgenomen vervanging werd getoetst met grondonderzoek aan monsters uit de praktijk ter vaststelling van de relatie tussen het P-getal en het Pw-getal. Daarnaast werden verkenningen met grondmonsters uit de praktijk en een proefplekkenonderzoek met andijvie en bloemkool uitgevoerd om de consequenties van de overgang van P-getal naar Pw-getal te kunnen vaststellen (Bommeljé, 1969; Holland, 1971; Van der Boon e.a. 1971a; Van der Boon en Holland, 1971b). Het onderzoek gaf geen duidelijke aanwijzingen voor een te prefereren methode van fosfaatonderzoek. De relatie tussen het fosfaatgehalte of fosfaatopname en P-getal, Pw-getal of P-AL-getal was niet uitgesproken beter ten gunste van één van de genoemde methoden. De overeenstemming tussen het op P-getal en P-AL-getal gebaseerde fosfaatbemestingsadvies met het advies gebaseerd op Pw-getal en P-AL-getal was zelfs matig. De wijziging in de methode van grondonderzoek werd toch doorgevoerd waarbij analytisch-technische motieven doorslaggevend waren. Die wijziging heeft onder in achtneming van de reeds bestaande differentiatie naar grondsoorten geleid tot de nu bekende kruistabel van het bemestingsadvies voor intensief geteelde groentegewassen. In geen van de gevallen werd een herijking aan de nieuwe methode van grondonderzoek uitgevoerd.

Na invoering van het advies in 1971 zijn er verschillende aanwijzingen verkregen dat – beduidend - lagere fosfaatgiften geen opbrengst- en kwaliteitsverlies geven bij intensief geteelde groenten (Titulaer, Ehlert, niet gepubliceerd). Onderzoek door Prummel (1968, 1971, 1973, 1975 en 1975 en Prummel & Von Barnau Sijthoff (1975) wees uit dat tuinbouwgewassen geteeld op akkerbouwland een fosfaatbehoefte hadden die hooguit vergelijkbaar is met die van het gewas aardappel. Met rijenbemesting kon aanzienlijk op de fosfaatgift gekort worden in vergelijking met breedwerpige toediening van kunstmestfosfaat (ruwweg de helft). Het onderscheid tussen akkerbouwmatig geteelde groentegewassen en intensief geteelde groentegewassen is in de loop der tijd verminderd. De verschillen tussen de bemestingsadviezen voor groenten geteeld op akkerbouwbedrijven en groentebedrijven leidden steeds frequenter tot vragen over de juistheid van de hoge fosfaatbemestingsadviezen bij intensief geteelde vollegrondsgroenten.

Gelet op de zwakke kalibratie van gewasreactie op fosfaatbemesting en fosfaattoestand, de vragen uit de praktijk en de noodzaak om milieuverantwoorder te bemesten is door PAV en ALTEERRA onderzoek uitgevoerd naar de fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentegewassen.

## 1.1. Doel

Het gemeenschappelijke doel van PAV en ALTEERRA is om landbouwkundige en milieukundig verantwoorde bemestingsadviezen voor groentegewassen te ontwikkelen. Doel daarbij is om de meststofbehoefte van vollegrondsgroentegewassen vast te stellen gegeven een bepaalde fosfaattoestand van de grond en gegeven een specifiek teeltdoel. Een tweede doel is om richtwaarde voor de fosfaattoestand te bepalen die noodzakelijk is voor het behalen van een verantwoorde opbrengst- en kwaliteit. Tenslotte dient een bemestingsadvies ontwikkeld te worden waarbij de fosfaatbemesting afgestemd is op de fosfaatbehoefte van het gewas en fosfaattoestand zonder in conflict te komen met milieukwaliteitsdoelstellingen.

Een randvoorwaarde bij het onderzoek werd ingegeven door de wens van de voormalige Commissie Bemesting, thans de Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegrondsgroenteteelt (CBAV), om de bemestingsadviezen voor intensieve vollegrondsgroenteteelt te integreren met het advies voor teelten op akkerbouwland. Deze integratie is een belangrijk uitgangspunt bij dit onderzoek geweest.

## 1.2. Integratie met het bemestingsadvies voor de akkerbouw

Er zijn belangrijke verschillen tussen het advies voor intensieve groenteteelt en het advies voor akkerbouwgewassen. Ook zijn er overeenkomsten.

De bemestingsadviezen voor de akkerbouw en de intensieve groenteteelt kennen beide een gewas- en een grondgericht advies.

Het *gewasgericht advies* geeft een advies voor een specifiek gewas met een bepaald teeltdoel voor een bepaalde - gemeten - fosfaattoestand. De grondslag van het advies voor intensieve groenteteelt is gebaseerd op maximale opbrengst en kwaliteit terwijl de grondslag voor de akkerbouw gebaseerd is op economisch optimale opbrengst.

Het advies voor de intensieve groenteteelt onderscheidt drie gewasgroepen. Het advies voor de akkerbouw onderscheidt vier gewasgroepen.

Het *grondgerichte advies* geeft richtlijnen voor de fosfaattoestand die minimaal noodzakelijk is om een verantwoorde productie te behalen. Deze fosfaattoestand wordt streefgetal genoemd. Is de fosfaattoestand op het gewenste streefgetal, dan wordt bemest volgens onttrekking eventueel aangevuld met een toeslag om onvermijdbare daling van gewasbeschikbaar fosfaat in de grond te voorkomen.



Er zijn verschillen tussen de gewas- en het grondgerichte adviezen voor groenteteelt in de vollegrond en de akkerbouw. De richtlijn voor het streefgetal (Pw-getal) voor akkerbouwland op zeeklei en alluviale zandgrond is 25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter en geadviseerd wordt om de fosfaattoestand te handhaven in het traject 25-45 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter. Het streefgetal voor akkerbouwland op dekzand, rivierklei, löss, dal- en veen- grond is 30 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter en geadviseerd wordt om de fosfaattoestand te handhaven in het traject 30-45 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter (Van Dijk, 1999).

Bij intensieve vollegrondsgroenteteelt is het streefgetal gekoppeld aan de waardering 'goed'. Deze waardering hangt af van de grondsoort en het P-AL-getal en het Pw-getal. Bij een hoge voorraad wordt volstaan met een traject voor het Pw-getal van 31-50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter. Naarmate de voorraad gemeten als P-AL-getal lager is, wordt een hoger Pw-getal nagestreefd: 51-70 of 71-90 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter (Van Dijk, 1999).

De waardering van de fosfaattoestand van de grond verschilt tussen het akkerbouwadvies en het advies voor intensieve groenteteelt.

Een te lage fosfaattoestand dient te worden gerepareerd. In het advies voor de akkerbouw is daarvoor een richtlijn gegeven. Bij het advies voor de vollegrondsgroenteteelt ontbreekt een dergelijke expliciete richtlijn. De hogere fosfaatgiften hebben daarentegen wel een functie bij het op peil houden en het verhogen van de fosfaattoestand (impliciete richtlijn).

In de akkerbouw is het gebruikelijk om eens in de 4 à 5 jaar grondonderzoek te plegen terwijl bij de intensieve vollegrondsgroenteteelt eens in de twee jaar wordt bemonsterd.

De meest in het oog springende verschillen zijn:

- de grondslag van het advies: economisch optimaal of bemesten naar maximale opbrengst. Dit leidt tot verschillen in geadviseerde giften van ca. 1-5 maal hogere adviezen voor de intensief geteelde groenten t.o.v. die akkerbouwmatig geteelde groenten.
- het groenteadvies onderscheidt drie gewasgroepen, het akkerbouwadvies vier.
- de waardering van de fosfaattoestand. Een zelfde fosfaattoestand wordt volgens het advies voor intensieve vollegrondsgroenteteelt lager gewaardeerd dan volgens het advies voor akkerbouwland.
- de na te streven fosfaattoestand van de grond. De streefgetallen voor akkerbouwland zijn lager dan die voor de intensieve vollegrondsgroenteteelt;
- de frequentie van bemonstering. Bij intensieve groenteteelt wordt frequenter bemonsterd dan bij akkerbouwland.

Het advies voor de akkerbouw is goed onderbouwd. Van iedere gewasgroep is de gewasreactie van representatieve gewassen gekalibreerd aan fosfaattoestand en fosfaatbemesting op basis van veld-

proeven. Het advies geeft geen belangrijke knelpunten met milieukundige richtlijnen, de fosfaatgiften zijn daartoe niet te afwijkend van de afvoer met oogstproducten. De grondslag van het advies voor intensieve vollegrondsgroenteteelt is daarentegen zwak en het knelt met MINAS.

Dit rapport vat de resultaten samen van het landbouwkundig onderzoek naar de fosfaatbehoefte van vollegrondsgroenten. In het bijzonder wordt aandacht besteed aan integratie met het advies voor teelten op akkerbouwland. De grondslag van het advies, dat in dit rapport wordt gegeven, is het financieel rendement. In het onderzoek is de relatie tussen bemesting en milieukwaliteit nadrukkelijk meegenomen. Het milieuverantwoord bemestingsadvies is gebaseerd op een conceptueel model van de fosfaatopname door het gewas. De behandeling van deze methode van aanpak vraagt veel toelichting. Om deze reden wordt het milieuverantwoord bemestingsadvies in een tweede rapport behandeld (Ehlert e.a., in prep.).

Het rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 behandelt de opzet van het veldonderzoek, de gewaskeuze, proeftechnische aspecten, verantwoordt de verzameling van data en geeft methoden. De statistische bewerking en analyse van gegevens van de gewasreactie op bemesting en toestand wordt in hoofdstuk 3 gegeven. Hoofdstuk 4 vat de resultaten voor de getoetste gewassen samen. Deze resultaten worden geanalyseerd en bediscussieerd in hoofdstuk 5. Tenslotte wordt in hoofdstuk 6 geeft het landbouwkundige fosfaatbemestingsadvies.

## 2. Opzet, materiaal en methoden

### 2.1. Opzet

De aanpak van het onderzoek berust op een combinatie van processtudies in samenhang met veldonderzoek. Het onderzoek berust op een combinatie van veldonderzoek en processtudie. De opzet en uitvoering van de processtudie wordt door Ehlert e.a. (in prep.) gegeven. Het veldonderzoek wordt in dit rapport samengevat.

Er is bij opzet en uitvoering van het bemestingsonderzoek geconformeerd aan het '*Protocol voor de opzet van veldproeven en hun interpretatie gericht op de vaststelling van bemestingsadviezen door de Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegrondsgroenteteelt: stikstof*' (Schröder e.a., 1998). Afwijking van dit protocol, *N-protocol*, wordt expliciet aangegeven.

### 2.2. Gewaskeuze

Vollegrondsgroentegewassen zijn geselecteerd op grond van hun veronderstelde fosfaatbehoefte, het belang voor de sector en hun representativiteit voor een gewasgroep. Deze gewassen worden in het hierna volgende toetsgewassen genoemd. Kropsla (vroeg en zomerteelt) en peen zijn gekozen als toetsgewas voor de meest fosfaatbehoefte vollegrondsgroentegewassen. Prei en bloemkool vertegenwoordigen vollegrondsgroentegewassen met een lagere dan gemiddelde fosfaatbehoefte. Aardappel is gekozen als vertegenwoordiger voor de meest fosfaatbehoefte gewasgroep van het akkerbouwadvis (groep 1). Het onderzoek is in 1996 gestart met een verkenning bij de toetsgewassen. Deze verkenning heeft vorm gegeven aan de opzet en uitvoering van veldproeven in de periode 1997-1998.

### 2.3. Proefopzet

Per toetsgewas zijn in totaal 12 *P-hoeveelhedenproeven* uitgevoerd op 6 klei- en 6 zandlocaties in het land. De locaties varieerden in P-toestand; het Pw-getal had een bereik van 20 tot 100 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter. De giften waren steeds 0, 60, 120, 180 240 en 300 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha.

Daarnaast zijn op de zeekleigrond van het PAV te Lelystad de toetsgewassen gedurende 2 jaar beproefd bij 4 verschillende *P-toestanden* en twee *P-hoeveelheden* op een speciaal daarvoor aangelegd proefveld. Het bereik in Pw-getal was 15 tot 90 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter. Een overzicht van de gegevens van algemeen grondonderzoek van alle veldproeven is gegeven in bijlage 1. De exacte Pw-getallen per proefeenheid staan vermeld in bijlage 2 en 3. Alle fosfaatgiften zijn als tripelsuperfosfaat (afgewogen op basis van de oplosbaarheid in water en neutraal ammoniumcitraat) breedwerpig toegediend in het voorjaar voor planten,

poten of zaaien van het toetsgewas. Na het bemesten is het perceel op de voor de grondsoort of het gewas gebruikelijke manier zaai- of plantklaar gemaakt.

Sla is geplant met een perspotje, bloemkool is geplant met een perskluitje, prei is met een kaal wortelstelsel geplant en peen is ter plekke gezaaid. De fosfaattoestand van het sla perspotje was hoog tot zeer hoog. De Pw waarden lagen tussen 200 –280 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter luchtdroge grond; de P-Al waarden tussen de 80-110 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter droge grond. Vanwege de geringe inhoud van het perskluitje bij de bloemkool is er geen grondonderzoek uitgevoerd.

De bemesting voor de stikstof en kali is uitgevoerd volgens vigerende adviezen (van Dijk, 1999). De proeven zijn uitgevoerd volgens goede tuinbouwpraktijk. Indien nodig, is er berekend.

## 2.4. Methodes

Zowel van de proeflocaties als van de toetsgewassen zijn alle kenmerken bepaald, die van belang zijn voor de fosfaatreactie van het gewas voor het bepalen van zowel landbouwkundig als milieuverantwoorde bemestingsadviezen. De volgende metingen en analyses zijn uitgevoerd:

- opbrengst (droog, vers en kwaliteitsparameters) in de tijd en bij eind oogst,
- fosforgehalte en fosforopname,
- fosforopname in de tijd,
- totale fosfor opname bij eind oogst,
- gegevens van algemeen grondonderzoek: pH, organische stof, textuur, vrije koolzure kalk, Pw-getal, P-Al-getal, K-getal en Mg. Daarnaast is minerale stikstof bepaald conform huidige bemestingsadviezen (Van Dijk, 1999)
- Fosforparameters: Pi-getal, P-adsorptie-isotherm, P<sub>ox</sub>, Al<sub>ox</sub> en Fe<sub>ox</sub>,
- Bodemfysische parameters: pF-curve, vocht- en temperatuurverloop in de bodem (wekelijks)
- Wortelecologische parameters: wortellengtedichtheid (cm wortel per cm<sup>3</sup> grond, worteldiameter) op een aantal tijdstippen.

Deze proeftechnische handelingen zijn uitgevoerd door het PAV. De opbrengst- en kwaliteitsbepaling is volgens de sorterings- en kwaliteitsvoorschriften van het Productschap Tuinbouw. Bemonsteringen voor gewasanalyse zijn gedaan volgens de PAV laboratorium protocollen voor deze toetsgewassen. Algemeen grondonderzoek inclusief de bepaling van P<sub>ox</sub>, Fe<sub>ox</sub> en Al<sub>ox</sub> en chemisch gewasonderzoek is uitgevoerd door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek (BLGG) te Oosterbeek. Pi-getal is bepaald conform Sissingh (1971); de methoden voor de bepaling van de bodemfysische parameters zijn beschreven door Vos (1997).

Voor sla en peen worden in bijlage 4 en 5 per proefplaats de temperatuursom, neerslag en berekening tijdens de groei gegeven.

Resultaten van de veldproeven zijn afgelopen jaren per gewas en per teeltwijze gepubliceerd in vakbladen en PAV-bulletins. In dit rapport wordt verwezen naar deze publicaties (Ehlert & De Willigen, 1999; Neuvel, 1998; Neuvel & van Wijk, 1998a, 1998b; van Wijk van & Neuvel, 1998a, 1998b; van Wijk, 1999; van Wijk & Neuvel, 1999a, 1999b). Een samenvatting van de resultaten is per gewas, per proefplaats en proefjaar gegeven in bijlage 2 en 3 voor zowel de P hoeveelheden veldproeven als de P toestanden-hoeveelheden veldproeven.

## 3. Bewerking en analyse van gegevens

### 3.1. Inleiding

Bij de bewerking van de gegevens van bemestingsonderzoek en van parametrisatie van het model van Van Noordwijk en De Willigen (1990) kunnen verschillende invalshoeken gebruikt worden. In het gemeenschappelijk onderzoek van Alterra en PAV zullen bemestingsadviezen voor drie onderscheidenlijke grondslagen gegeven worden. Deze zijn:

1. Een landbouwkundige advies conform de grondslag van het akkerbouwadvies. Het financieel rendement van bemesting bepaalt hier de fosfaatbehoefte van het gewas.
2. Een advies dat zowel landbouwkundig als milieukundig verantwoord is. Deze vorm van advisering houdt rekening met zowel landbouwkundige vereisten als milieukwaliteitsdoelstellingen. De milieukwaliteit wordt hierbij bepaald door de zogenoemde vermestingsparameters voor de bovenste meter van het grondwater.
3. Een milieuverantwoord advies. Dit advies gaat uit van milieuverantwoorde fosfaattoestanden van de bewortelde bodemlagen en geeft daarbij toelaatbare fosfaatgiften. De norm voor het zoet oppervlaktewater is hier maatgevend.

Het landbouwkundige advies leidt doorgaans tot hogere fosfaatgiften dan overige twee vormen van bemestingsadvisering. Milieuverantwoorde adviezen kunnen voor met name fosfaatbehoefteige gewassen betekenen dat sub-optimaal (gerekend naar het fysiek opbrengstmaximum of financieel resultaat) wordt bemest.

Dit rapport behandelt het landbouwkundige advies (punt 1), overeenkomstig de in 1998 uitgesproken wens van de CBAV. De methode van aanpak is conform welke beschreven staat in het *N-protocol* (Schröder, 1998).

Effecten van bemesting van vollegrondsgroentegewassen op opbrengst en op de milieukwaliteit en de afstemming van bemesting op emissiedoelen en de gevolgen daarvan voor de opbrengst worden behandeld door Ehlert e.a. (in prep.).

### 3.2. Wiskundige beschrijving van de opbrengstreactie

De grondslag van het huidige bemestingsadvies voor fosfaat voor akkerbouwgewassen is gebaseerd op rendement. De adviezen bij akkerbouwgewassen geven de fosfaatgiften die, gemiddeld genomen, het optimale rendement geven. Om deze adviezen te kunnen opstellen dient de opbrengstreactie op

fosfaatbemesting en fosfaattoestand wiskundige bekend te zijn. Veelal wordt deze opbrengstreactie met een wiskundige vergelijking beschreven. Het *N-protocol* gaat uit van een bewerking per veldproef. Hiervan is afgeweken. Er is gekozen voor een integrale statistische bewerking van de veldproefgegevens in plaats van analyse per veldproef. Deze keuze berust op de volgende motieven.

- Een integrale aanpak biedt de mogelijkheid om P-hoeveelheden veldproeven uniform te analyseren. Effecten van zowel fosfaatbemesting als fosfaattoestand kunnen samen in één analyse worden onderzocht. Fosfaatbemesting en fosfaattoestand zijn in deze analyse verklarende variabelen. Bij een analyse van iedere hoeveelheden veldproef afzonderlijk is fosfaattoestand veelal een conditie maar geen verklarende variabele. Fosfaattoestanden-hoeveelheden veldproeven bieden wel de mogelijkheid om zowel het effect van fosfaattoestand als fosfaatbemesting te toetsen. Dergelijke veldproeven zijn schaars beschikbaar en het aantal gegevens is dan ook te beperkt om hierop een advies te kunnen baseren.
- Het aantal observationele eenheden (‘waarnemingen’) kan aanzienlijk verhoogd worden waardoor robuuster effecten van toestand en bemesting getoetst kunnen worden. Een observationele eenheid wordt in dit kader bepaald door een individueel veldje met bij horende meetgegevens (opbrengst, fosfaatgift, fosfaattoestanden en eventuele overige verklarende variabelen).
- De reactie van vollegrondsgroenten op fosfaatbemesting was – met uitzondering van sla - in het algemeen zwak. Verhoging van het aantal waarnemingen biedt een beter perspectief om voor een dergelijke zwakke gewasreactie een passend wiskundig verband te vinden.

De keuze van het wiskundige verband is bepaald door de volgende overwegingen.

- Onderzoek met akkerbouwgewassen heeft aangetoond dat bij de fosfaatbehoefte akkerbouwgewassen als aardappel en suikerbieten de opbrengsten bij lage fosfaattoestanden achterblijven t.o.v. hogere fosfaattoestanden ondanks ruime bemesting (Prummel, 1981a). Een lage fosfaattoestand kan niet klakkeloos door een hoge fosfaatgift (250-500 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha) worden gecompenseerd. Dit is een gevolg van o.a. de fysisch-chemische eigenschappen van de bodem en van de wortelecologische eigenschappen van het gewas. Aangenomen is dat ook vollegrondsgroentegewassen bij *lage* fosfaattoestanden ondanks royale fosfaatbemesting *niet* die opbrengst bereiken als bij *hoge* fosfaattoestanden. (analoog aan de gewasreactie van akkerbouwgewassen).
- Bij geen van de veldproeven werd een opbrengstdaling door fosfaatbemesting werd waargenomen. Daardoor vervalt de noodzaak om een term in de regressievergelijking op te nemen welke de dalende trend beschrijft.

Op basis van deze kennis van de biologie van groentegewassen en bodemkundige kennis zijn vier wiskundige beschrijvingen getoetst op geschiktheid om de gewasreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting te beschrijven. De vergelijkingen zijn een exponentieel model (1), een tweede graad polynoom (2), een invers lineair model (3) en een zogenoemd ‘broken stick’ model (4).

$$Y = b_0 + b_1 * \text{EXP}(b_2 * P) \quad (1)$$

$$Y = b_0 + b_1 * P + b_2 * P^2 \quad (2)$$

$$Y = P / (a + b * P + c * P^2) + d \quad (3)$$

$$Y = b_0 + b_1 * (P - b_2 - |P - b_2|) \quad (4)$$

In deze vergelijkingen is Y de opbrengst, P de verklarende variabele (P-beschikbaar) en a, b, b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, c en d parameterschattingen. De keuze van een vergelijking is verder gebaseerd op de overweging dat de beschrijving een zo hoog mogelijk percentage van de variatie significant dient te verklaren (R<sup>2</sup><sub>adjusted</sub>). Verkenningen met data van sla en peen afkomstig van de hoeveelheden veldproeven hebben aangetoond dat vergelijkingen (2), (3) en (4) de data slechter beschreven dan vergelijking (1). Een 'broken stickmodel' past slecht bij de data, parameterschattingen werden zelfs niet verkregen indien het intercept op nul werd gesteld. Bijlage 5 geeft nadere informatie over de keuze van het uiteindelijk wiskundige verband. Gekozen is voor het exponentiele verband (1) dat herschreven is tot (1a):

$$Y = \alpha * (1 - e^{-\gamma * P\text{-beschikbaar}}) \quad (1a)$$

Met

Y: marktbaar opbrengst van het gewas

α: maximale opbrengst

γ: parameterschatter

De parameterschatter γ is een negatief getal. Wordt γ sterker negatief dan gaat de marktbaar opbrengst sneller naar α.

De term P-beschikbaar is hier gedefinieerd door de som van de fosfaatmeststofgift en levering van fosfaat uit de bodem. De levering uit de bodem wordt hier evenredig gesteld met het P<sub>w</sub>-getal:

$$P\text{-beschikbaar} = P_2O_5\text{-gift} + \rho * P_w\text{-getal} \quad (5)$$

Vervolgens is op basis van het regressiemodel (1a) de financiële opbrengst berekend volgens (6).

$$\text{Financiële opbrengst} = \text{Marktbaar opbrengst} * \text{prijs}_{\text{product}} - P_2O_5\text{-gift} * \text{prijs}_{P_2O_5} \quad (6)$$

Conform het huidige bemestingsadvies voor akkerbouwgewassen en het N-protocol is uitgegaan van de optimale financiële opbrengst.

Voor de prijs van 1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> is f 1,15 aangehouden. Voor één kg marktbaar sla, peen en prei is respectievelijk f 0,45, f 0,20, en f 1,00 aangehouden. Sla wordt per stuk betaald. In dit rapport zijn de prijzen omgerekend naar kg opbrengst per ha en financiële opbrengst per ha. Bij kropsla bleek er geen



verschil in prijsvorming aanwezig tussen vroege en zomerteelt. Voor één kg aardappelen is  $f$  0,23 aangehouden. Bij aardappel wordt hierdoor een zelfde prijsverhouding gebruikt, als die waarop het huidige bemestingsadvies voor aardappelen op akkerbouwland is gebaseerd, namelijk 5 : 1 (Ris en van Luit, 1973a).

Uit onderzoek bleek dat de fosfaatreactie op zandgrond (inclusief de dalgrond uit Valthermond) afweek van die op zeeklei (andere grondsoorten ontbraken in het onderzoek). Bij de verdere bewerking en analyse is het onderscheid tussen zand- en kleigrond gehandhaafd. Rivierklei, löss en veen zijn niet opgenomen in het onderzoek met veldproeven.

### **3.3. Neerslag en temperatuur**

Neerslag en temperatuur kunnen een groot effect hebben op de fosfaatopname door het gewas en daarmee de gewasreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting. De invloed van neerslag en temperatuur is voor kropsla en peen nagegaan. Kropsla en peen zijn gekozen wegens hun grote reactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting. De observationele eenheden zijn voor deze gewassen samengesteld uit de 12 fosfaat hoeveelhedenproeven. Data van neerslag en temperatuur zijn voor iedere veldproef en ieder proefjaar gecondenseerd tot de totale som van de neerslag inclusief beregening en de temperatuursom gedurende de lineaire groeifase van het gewas. Omdat niveaoverschillen verwacht werden, zijn deze verklarende variabelen opgenomen in het lineaire deel van vergelijking 1a. Het aantal waarnemingen is te laag om effecten van interacties van deze weersfactoren met fosfaattoestand en fosfaatbemesting op marktbaar opbrengst te kunnen wegen.

De analyses zijn uitgevoerd met het statistisch pakket Genstat 5, release 3.2 (Genstat 5 Committee 1993).

## 4. Resultaten

### 4.1. Effect van neerslag en temperatuur op opbrengst

Onderzocht is of opbrengstverschillen tussen de 12 proeven van sla of peen ook uit weersinvloeden verklaard konden worden. Als verklarende variabelen zijn neerslagsom inclusief beregening en de temperatuursom gedurende de lineaire groeifase op de marktbare opbrengst van kropsla en peen van de fosfaathoeveelhedenproeven gebruikt. Het effect van opname van deze verklarende variabelen op het percentage verklaarde variantie:  $R^2_{adj}$  wordt in tabel 1 gegeven.

Tabel 1. Percentage verklaarde variantie ( $R^2_{adj}$ ) van gemiddelde opbrengst door de neerslagsom en temperatuursom bij kropsla en peen; fosfaathoeveelheden proeven 1996-1998.

Gewas	Neerslagsom inclusief beregening	Temperatuursom
Kropsla	7,3	6,2
Peen	0,0	2,0

De percentages verklaarde variantie van beide verklarende variabelen in de tabel zijn laag. Daaruit is geconcludeerd dat bij deze proeven de verschillen in opbrengsten tussen jaren en tussen locatie niet met neerslag en temperatuur zijn te verklaren. Een complex van andere factoren heeft tot verschillen geleid. Bij de definitieve analyses is geen rekening gehouden met weersinvloeden.

### 4.2. Gewasreactie

De opbrengst van de P-hoeveelheden proeven wordt voor ieder gewas per grondsoort als functie van de  $P_2O_5$ -bemesting. De resultaten van de toestanden-hoeveelheden veldproef op kleigrond in Lelystad worden samengevat door bij de vier P-toestanden en bij 0 en 120 kg  $P_2O_5$  per ha de opbrengst te geven. Resultaten worden samengevat voor de gewassen prei, peen, sla, aardappel en bloemkool. Voor de vroege teelt van kropsla zijn bij de bewerking de opbrengsten van de *bedekte* teelt gebruikt, omdat deze teeltwijze algemeen toegepast wordt in de praktijk. Gegevens van de onbedekte teelt worden in dit rapport niet gebruikt. De opbrengsten kropsla van de vroege bedekte teelt en de zomerteelt verschilden weinig. Daarom is geen onderscheid gemaakt naar tijdstip en wijze van de teelt; deze data voor sla zijn afkomstig van beide teelten.

### 4.2.1. Prei

De fosfaathoeveelheden proeven toonden nauwelijks een reactie van de veilbare opbrengst op fosfaatbemesting (tabel 2). Bij de toestandenproeven nam zowel bij een gift van 0 als bij 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha de veilbare opbrengst in gelijke mate toe van laag Pw-getal naar hoog Pw-getal (tabel 3).

**Tabel 2. Prei; gemiddelde marktbaar opbrengst in ton per ha per gift; P-hoeveelheden proeven op zand (6 proeven) en klei (6 proeven); 3 proefjaren 1996-1998.**

Grondsoort	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -gift (kg per ha)						LSD*
	0	60	120	180	240	300	
Klei	52,0	53,2	52,4	52,8	53,0	54,1	2,0
Zand	37,5	36,3	36,0	37,2	36,2	37,3	1,5

\* LSD (P = 0,05) voor vergelijking tussen P-giften per grondsoort

**Tabel 3. Prei; gemiddelde marktbaar opbrengst in ton per ha; P-toestanden-hoeveelheden proeven Lelystad (klei); 1996-1997**

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -gift	Pw-getal (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per liter)				
	17	32	47	89	LSD*
0	53,9	56,4	56,9	59,5	2,9
120	53,8	55,0	55,3	58,8	

\*LSD (P = 0,05) voor vergelijk tussen Pw-getallen en fosfaatgiften

**Tabel 4. Prei; marktbaar opbrengst per Pw-getal en grondsoort, berekend op basis van vergelijking 1a, en het verschil ten opzichte van de financiële opbrengst bij streefwaarde.**

Grondsoort	Pw-getal [mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per liter]	Marktbaar opbrengst t.o.v. streefwaarde [ton/ha]	Financieel verschil [gulden/ha]
zand	20	33,8	- 2700
zand	30	36,5	0
zand	40	37,4	900
zand	50	37,7	1200
klei	15	51,9	-1900
klei	25	53,8	0
klei	35	54,1	300
klei	45	54,1	300

Bij prei heeft fosfaatbemesting geen noemenswaardig effect gehad. De fosfaattoestand heeft wel effect gehad. De fosfaattoestand bij prei is daardoor belangrijk, gewasgericht bemesten heeft bij dit gewas geen betekenis.

## 4.2.2. Peen

Bij peen is er, op zowel zand als klei, een opbrengststijging bij de hoogste P-gift in vergelijking met onbemest (tabel 5). In de toestandenproef gaf een bemesting met 120 kg per ha  $P_2O_5$  geen productietoename meer boven Pw-getal van 34 mg  $P_2O_5$  per liter (tabel 6).

De financiële opbrengst wordt gegeven in tabel 7. Op zandgrond bij het streefgetal (Pw-getal) 30 is een gift van 470 kg  $P_2O_5$  per ha nodig voor het behalen van de optimale financiële opbrengst. Bij een Pw-getal van 40 kan volstaan worden met een gift 190 kg  $P_2O_5$  per ha en bij een Pw-getal van 50 mg  $P_2O_5$  per liter kan fosfaatbemesting achterwege gelaten worden.

**Tabel 5. Peen; gemiddelde marktbaar opbrengst in ton per ha per gift; P-hoeveelheden proeven op zand (6 proeven) en kleigrond (6 proeven); 3 proefjaren 1996-1998**

Grond	$P_2O_5$ -gift (kg per ha)						LSD*
	0	60	120	180	240	300	
Klei	98,6	99,6	98,6	100,4	100,5	101,4	2,5
Zand	105,1	105,8	107,4	107,3	108,4	109,3	3,8

\*LSD (P = 0,05) voor vergelijking van P-giften per grondsoort

**Tabel 6. Peen; gemiddelde marktbaar opbrengst in ton per ha; P-toestanden-hoeveelheden proeven Lelystad (klei); 2 proefjaren 1996-1997**

$P_2O_5$ -gift	Pw-getal				LSD <sup>a</sup>	LSD <sup>b</sup>
	17	34	50	92		
0	115,8	117,8	122,0	125,8	3,4 <sup>a</sup>	3,1 <sup>b</sup>
120	114,4	123,2	122,0	124,1		

\*LSD (P = 0,05) a: voor vergelijking van verschillen tussen Pw-getallen, b: voor vergelijking van verschillen tussen Pw-getallen en P giften.

Tabel 7. Peen, optimale financiële opbrengst en bijbehorende fosfaatgift per Pw-getal voor zand- en kleigrond, berekend op basis van vergelijking 1a.

Grond	Pw-getal, [mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per liter]	Gift [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per ha]	Financiële opbrengst [gulden per ha]	Verskil t.o.v. streefgetal [gulden per ha]
Zand	10	>600 <sup>1</sup>	19980	-1230
	15	>600 <sup>1</sup>	20490	-720
	20	>600 <sup>1</sup>	20830	-380
	25	>600 <sup>1</sup>	21050	-160
	30	470 <sup>1</sup>	21210	0
	35	310 <sup>1</sup>	21360	150
	40	190	21520	310
	45	90	21680	470
	50	0	21830	620
Klei	10	540 <sup>1</sup>	20390	-560
	15	340 <sup>1</sup>	20570	-380
	20	180	20760	-190
	25	30	20950	0
	30	0	21110	160
	35	0	21190	240

<sup>1</sup> Extrapolatie buiten het bereik van de fosfaatgiften van de veldproeven

De fosfaatbehoefte van peen op zandgrond wijkt af van die op kleigrond. Peen op zandgrond vraagt meer fosfaat dan op kleigrond. In vergelijking met het huidige bemestingsadvies voor aardappel op akkerbouwland moet op basis van dit resultaat van peen op zandgrond beduidend meer fosfaat worden toegediend. Op kleigrond kan met minder fosfaat worden volstaan.

#### 4.2.3. Sla

Bij dit gewas waren de verschillen in opbrengsten voor de vroege teelt bedekte teelt en de zomerteelt gering. Daarom is de analyse uitgevoerd met data afkomstig van beide teelten. Sla wordt per stuk uitbetaald. Tussen de gewichtssorteringen bestond geen prijsverschil. Uit de prijsontwikkeling van sla blijkt dat vroeg geteelde kropsla de laatste jaren gemiddeld een zelfde prijsvorming heeft als zomersla (KWIN 2000/2001). Waarschijnlijk door de krimpende markt voor kropsla wordt primeurteelt gemiddeld niet beter betaald.

Bij kropsla op kleigrond neemt het versgewicht slechts gering toe bij een gift hoger dan 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Op zandgrond neemt de opbrengst ook bij hogere giften nog toe (tabel 8). De P-toestandenproef op kleigrond geeft een hogere productie indien de P-toestand toeneemt. Een gift van 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha geeft tot en met een Pw-getal van 52 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter nog een extra productietoename (tabel 9).

Bij Pw-getallen van 30 – 55 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter op *zandgrond* geeft een gift van 400 kg per ha nog steeds een toename in de geldelijke opbrengst. Bij een Pw-getal van 60 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter geeft 300 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha het gunstigste financiële resultaat. Bij Pw-getal van 65 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter wordt met een gift van 240 kg per ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> het gunstigste financiële resultaat bereikt.

Op *kleigrond* bij Pw-getallen van 25, 30, 35 en 40 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter wordt het gunstigste financiële resultaat bereikt bij giften van respectievelijk 330, 230, 170 en 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Bemesting kan van vanaf een Pw-getal van 45 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter achterwege worden gelaten.

**Tabel 8. Kropsla; gemiddelde marktbaar opbrengst in ton per ha van vroege en zomerteelt per gift;**

*P-hoeveelheden proeven op zand (12 proeven) en klei (12 proeven); 3 proeffaren 1996-1998*

Grond	Gift, kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per ha						LSD
	0	60	120	180	240	300	
klei	50,4	52,2	52,1	53,4	52,7	54,1	1,2
zand	55,1	55,3	55,8	59,1	58,6	59,1	1,8

\*LSD (P = 0,05) voor verschillen binnen een grondsoort

**Tabel 9. Kropsla; gemiddelde marktbaar opbrengst in ton per ha van vroege en zomerteelt;**

*P-toestanden-hoeveelheden proeven Lelystad (klei); 2 proeffaren 1996-1997.*

Gift, [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per ha]	Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per liter					LSD <sup>a</sup>	LSD <sup>b</sup>
	20	34	52	91			
0	49,2	55,0	58,4	62,8		3,8	3,4
120	56,2	57,5	60,6	62,1			

\*LSD (P = 0,05) a: voor vergelijking van verschillen tussen Pw-getallen, b: voor vergelijking van verschillen tussen Pw-getallen en P giften.

Tabel 10. Kropsla, optimale financiële opbrengst en bijbehorende fosfaatgift per Pw-getal en per grondsoort, berekend op basis van vergelijking 1a

Grond	Pw-getal [mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per liter]	Gift [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per ha]	Financiële opbrengst [gulden per ha]	Vershil t.o.v. streefgetal [gulden per ha]
Zand	10	>400 <sup>1</sup>	>23980	>-1870
	15	>400 <sup>1</sup>	>24650	>-1200
	20	>400 <sup>1</sup>	>25150	> - 700
	25	>400 <sup>1</sup>	>25550	> -300
	30	>400 <sup>1</sup>	>25850	0
	35	>400 <sup>1</sup>	>26080	> 230
	40	>400 <sup>1</sup>	>26260	> 410
	45	>400 <sup>1</sup>	>26390	> 540
	50	>400 <sup>1</sup>	>26500	> 650
	55	360 <sup>1</sup>	26580	730
	60	300	26650	800
65	240	26720	870	
Klei	10	>400 <sup>1</sup>	23840	> 610
	15	>400 <sup>1</sup>	24160	> 290
	20	>400 <sup>1</sup>	24340	> 110
	25	330 <sup>1</sup>	24450	0
	30	250	24550	100
	35	170	24650	200
	40	90	24750	300
	45	0	24850	400

<sup>1</sup> Extrapolatie buiten het bereik van de fosfaatgiften van de veldproeven

Sla is beduidend fosfaatbehoeftiger dan akkerbouwgewassen zoals de hakvruchten aardappel en suikerbiet. In een bemestingsadvies dient sla van deze hakvruchten qua fosfaatbehoefte te worden onderscheiden.

#### 4.2.4. Aardappel

De reactie van het akkerbouwgewas aardappel op fosfaattoestand en fosfaatbemesting is onderzocht op de toestanden-hoeveelheden veldproef op zeekleigrond bij Lelystad. Zonder bemesting stijgt de opbrengst nog tot en met Pw-getal 49 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter (tabel 11). Bemesting met 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha brengt de opbrengst bij 18 en 32 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter fosfaattoestand al op het maximale niveau.

**Tabel 11. Aardappel; gemiddelde marktbaar opbrengst in ton per ha; P-toestanden-hoeveelheden proeven Lelystad (klei); proefjaren 1996-1997**

Gift	Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per liter					LSD <sup>a</sup>	LSD <sup>b</sup>
	[kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per ha]	18	32	49	89		
0	63,5	64,7	69,9	68,9	5,9	7,0	
120	69,0	69,0	69,6	69,4			

\*LSD (P = 0,05) a: voor vergelijking van verschillen tussen Pw-getallen, b: voor vergelijking van verschillen tussen Pw-getallen en P giften.

De financiële opbrengst wordt gegeven in tabel 12. Bij een Pw-getal van 25 tot 35 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter grond is een gift van 20 kg per ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> licht renderend. Bij een Pw-getal hoger dan 45 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter is bemesting niet meer rendabel.

**Tabel 12. Financiële knolopbrengst in gulden per ha als functie van Pw-getal en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gift op kleigrond van P-toestandenproef.**

Grond	Pw-getal	Gift	Financiële opbrengst [gulden per ha]	Verschil t.o.v. streefgetal [gulden per ha]
	[mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per liter]			
Klei	15	30	15768	-6
	25	20	15774	0
	35	20	15784	10
	45	10	15792	18
	50	0	15800	26

Het onderzoek op het toestanden – hoeveelheden proefveld van het PAV wijst een geringere fosfaatbehoefte uit dan huidige bemestingsadviezen voor aardappel op zeeklei aangegeven. Het gewas is matig fosfaatbehoefstig en berekende fosfaatgiften plaatsen het gewas eerder in gewasgroep 3 van de huidige bemestingsadviezen voor akkerbouwgewassen dan in gewasgroep 1. Boven een Pw-getal van 45 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter bleek geen bemesting meer nodig.

#### 4.2.5. Bloemkool

De marktbaar opbrengst van bloemkool reageerde niet op een fosfaatbemesting en niet op de fosfaattoestand (tabellen 13 en 14).



**Tabel 13. Bloemkool; percentage kwaliteit I per gift; P-hoeveelheden proeven op zand (6 proeven) en klei (6 proeven); proefjaren 1996-1998**

Grondsoort	Gift, kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg per ha						LSD*
	0	60	120	180	240	300	
zand	75	72	73	70	73	72	5,7
klei	78	77	79	76	79	73	5,0

\*LSD (P = 0,05) voor vergelijking van effecten van fosfaatgiften binnen een grondsoort

**Tabel 14. Bloemkool; percentage kwaliteit I; P-toestanden-hoeveelheden proeven Lelystad (klei); proefjaren 1996-1997**

Gift [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per ha]	Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per liter				LSD <sup>a</sup>	LSD <sup>b</sup>
	16	32	50	88		
0	77	70	67	68	14,7	13,6
120	67	70	67	64		

\*LSD (P = 0,05) a: voor vergelijking van verschillen tussen Pw-getallen, b: voor vergelijking van verschillen tussen Pw-getallen en P giften.

Fosfaatbemesting en fosfaattoestand spelen bij bloemkool kennelijk geen rol. Een bemestingsadvies voor fosfaat voor bloemkool kan op basis van de voorliggende gegevens niet worden afgeleid. Onder al deze omstandigheden kan volstaan worden met het achterwege laten van bemesting.

## 5. Discussie

Vijf gewassen zijn getest op hun reactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting. Het onderzoek heeft uitgewezen dat een vroege bedekte teelt van sla in het voorjaar geen hogere fosfaatbehoefte heeft dan een teelt in de zomer. Sla blijkt beduidend fosfaatbehoeftiger te zijn dan aardappel. Ook peen toont een forsere reactie op fosfaatbemesting en fosfaattoestand in vergelijking tot die van aardappel. Prei en bloemkool vertonen geen reactie op fosfaatbemesting; prei reageert nog wel op de fosfaattoestand maar bloemkool toont ook op fosfaattoestand geen reactie. Deze bevindingen stroken maar ten dele met het huidige bemestingsadvies voor intensieve vollegrondsgroenteteelt. Aardappel op kleigrond toont eveneens een zwakkere reactie dan op grond van het huidige akkerbouwadvies verwacht mag worden. In dit hoofdstuk worden deze resultaten van het landbouwkundige onderzoek gebruikt om een voorstel voor een nieuw geïntegreerd bemestingsadvies voor akkerbouwgewassen en vollegrondsgroentegewassen te formuleren.

Op dit moment zijn twee gewasgerichte bemestingsadviezen voor fosfaat in gebruik: één voor akkerbouwmatig geteelde gewassen inclusief enige groentegewassen en één voor intensief geteelde vollegrondsgroenten. Het doel is om het bemestingsadvies voor intensief geteelde vollegrondsgroenten te integreren met het akkerbouwadvies. Het huidige advies voor intensieve vollegrondsgroenten verschilt echter op de volgende punten van het advies voor de akkerbouw.

1. Het advies voor intensief geteelde vollegrondsgroenten gaat uit van zowel een bepaling van het Pw-getal als een bepaling van P-Al-getal.
2. Er wordt bij het advies voor vollegrondsgroenten een grotere differentiatie aangebracht tussen grondsoorten. Het akkerbouwadvies kent twee groepen met grondsoorten, het vollegrondsgroenteadvies kent vijf grondsoorten.
3. De waardering van de fosfaattoestand verschilt.
4. De gewasgroepindeling verschilt mede als gevolg van een verschil in bedrijfstype.
5. Het gewasgerichte advies is gebaseerd op maximaal te behalen opbrengsten.

Deze verschillen worden hier achtereenvolgend besproken.

### 5.1. Landbouwkundige betekenis van P-Al-getal

In hoofdstuk 4 zijn resultaten gegeven die gebaseerd zijn op het Pw-getal. Ook de betekenis van het P-Al-getal is onderzocht. Gebleken is dat het P-Al-getal het Pw-getal kan vervangen (data niet gegeven).

Opname van het P-AL-getal als verklarende variabele bij de regressieverbanden met Pw-getal of vice versa leverde namelijk geen significant hogere  $R^2_{\text{adjusted}}$  op. Dit resultaat wordt veroorzaakt omdat er al een hoge

correlatie bestaat tussen het Pw-getal en het P-AL-getal van de in de totaal 72 veldproeven. Geconstateerd wordt dat daardoor aan het P-Al-getal t.o.v. het Pw-getal geen meerwaarde kan worden gegeven.

De noodzaak om zowel Pw-getal als P-Al-getal bij het gewasgerichte advies te blijven hanteren kan niet op basis van de 72 veldproeven worden aangegeven. Qua beschrijving van de gewasreactie (marktbaar) hebben beide parameters van grondonderzoek een vergelijkbare waarde. Het is niet zo dat het P-AL-getal t.o.v. het Pw-getal de marktbaar opbrengst betrouwbaarder voorspelt. Er is geen wezenlijk verschil tussen deze methode in de betrouwbaarheid van de voorspelling van de marktbaar opbrengst. Op basis van deze resultaten wordt het mogelijk om een adviesbasis op te stellen op basis van één van deze twee methoden van grondonderzoek. De keuze voor een specifieke methode voor grondonderzoek op fosfaat wordt door andere overwegingen bepaald. In dit rapport is gekozen voor het Pw-getal. De keuze berust op de volgende motieven:

- de wens tot integratie met het akkerbouwadvis dat gebaseerd is op het Pw-getal. Voor akkerbouwgewassen is aangetoond dat het Pw-getal een hogere correlatie heeft met het fosfaatgehalte van het gewas dan het P-AL-getal (Van der Paauw, 1971). De opzet van het huidige onderzoek verschilt van het fosfaatbemestingsonderzoek bij akkerbouwgewassen. Daar is destijds bewust gezocht naar percelen waarbij een correlatie tussen Pw-getal en P-AL-getal ontbrak. Een dergelijke vorm van onderzoek is zeer kostbaar en was om die reden niet uitvoerbaar. Indien eenzelfde opzet gebruikt zou zijn voor het fosfaatbemestingsonderzoek bij vollegrondsgroenten, dan kan verwacht worden dat het Pw-getal een – beduidend – hogere correlatie met het fosfaatgehalte in het gewas geeft dan die op basis van het P-AL-getal (Van der Boon e.a. 1971; De Willigen en Van Noordwijk, 1978).
- de multifunctionele betekenis van het Pw-getal. Het Pw-getal heeft van oorsprong een landbouwkundige betekenis maar extractie met water heeft grote betekenis gekregen bij milieukundig onderzoek, met name bij onderzoek naar fosfaatsuitlekking.

De methode van het Pw-getal heeft ingang gevonden bij processtudies over het gedrag van P in de bodem en over uit- en afspoeling. Het Pw-getal is een maat voor de bepaling van zowel de meststofbehoefte als voor de bepaling van het risico op aantasting van de milieukwaliteit. Het Pw-getal berust op een extractie van fosfaat uit grond met water en is daardoor niet destructief. Het P-AL-getal berust op een extractie met ammoniumlactaat – azijnzuur. Dit extractiemiddel tast de bodemcomponenten aan en is daardoor destructief. Door de destructieve aard van het extractiemiddel, is het P-AL-getal geen bruikbare methode van grondonderzoek bij processtudies over het fosfaatgedrag in de bodem. Processen als adsorptie, desorptie, precipitatie en dissolutie kunnen daarentegen goed met niet destructieve methoden zoals extractie met water worden bestudeerd.

## 5.2. Differentiatie naar grondsoort

Differentiatie naar grondsoort is a-priori een logische grondslag bij een fosfaatbemestingsadvies. Bodemeigenschappen bepalen immers sterk de fosfaatbeschikbaarheid voor het gewas. Bij de formulering van

milieuverantwoorde bemestingsadviezen zal hieraan nadrukkelijk aandacht worden gegeven, met name bij de grondgerichte bemestingsadviezen (streefgetallen).

Bij de gewasgerichte bemestingsadviezen kan de differentiatie van het huidige bemestingsadvies niet geverifieerd worden. Er zijn i.v.m. het beschikbare budget geen veldproeven aangelegd op duinzand, löss, rivierklei of veen. Veldproeven zijn aangelegd op dalgrond, dekzand (diluviaal zand) en zeeklei. Daarbij is geen onderscheid in gewasreactie tussen dekzand en dalgrond vastgesteld waardoor beide grondsoorten onder één noemer 'zandgrond' konden worden geplaatst. Het verschil t.o.v. zeeklei was nadrukkelijk aanwezig. Groenteteelt op zandgronden bleek meer fosfaat te vragen dan die op zeeklei. Deze indeling past goed bij de rubricering van grondsoorten bij het akkerbouwadvis.

### **5.3. Waardering van de fosfaattoestand**

De waardering van de fosfaattoestand van de huidige adviesbasis voor intensieve vollegrondsgroenteteelt is gebaseerd op gegevens van bemestingsonderzoek van beperkte omvang dat dateert van vòòr 1950 (Van der Boon, 1953). Na de inventarisatie en bewerking door Van der Boon (1953) zijn er nog proefplekken-onderzoeken aan het eind van de zestiger en aan het begin van de zeventiger jaren uitgevoerd. Doel daarbij was om in het kader van de invoering van het Pw-getal op bouwland ook op tuinbouwgronden de betekenis van deze parameter met de gewassen andijvie en bloemkool na te gaan (Bommeljé, 1969). Deze wijzigingen zijn niet goed gedocumenteerd. Ook de oorspronkelijke meetgegevens zijn niet getraceerd. Er kan niet achterhaald worden wat de exacte motieven zijn geweest voor de waardering van de fosfaattoestand van percelen met intensieve vollegrondsgroenteteelt. Naar rede is de oorspronkelijke basis die berust op het P-getal (later opgevolgd door het Pw-getal) en P-citroenzuurgetal (later opgevolgd door het P-Al-getal) zonder herijking van gewasopbrengsten op fosfaattoestanden omgezet naar een adviesbasis op basis van Pw-getal en P-Al-getal. De overschakeling op deze methoden is geheel gebaseerd op grondonderzoek op genoemde P parameters aangeleverd door de consulentschappen (Bommeljé, 1969). Een dergelijke benaderingswijze is destijds ook gebruikt voor overgang van P-citroenzuur naar P-Al-getal bij het advies voor de akkerbouw en voor grasland (Van der Paauw e.a., 1958). De waardering van de fosfaattoestand is gebaseerd op het behalen van de maximale opbrengst. Die grondslag wordt hier verlaten. Daardoor wijzigt sowieso de waardering. De veldproeven hebben uitgewezen dat de fosfaatbehoefte van de bloemkool en prei laag is. Bloemkool gaf zelfs een minder scherpe fosfaatreactie dan spruitkool, rode kool en witte kool op akkerbouwbedrijven indien een vergelijking gemaakt wordt met het onderzoek van Prummel (1971, 1973, 1975, 1979 & 1981b).

## 5.4. Gewasgroep

Opname in het akkerbouwadvis betekent dat de gewasgroepen van de tuinbouwgewassen aangepast worden aan de bestaande rubricering.

## 5.5. Maximale opbrengst versus economisch rendabele opbrengst

De opbrengstreactie van de groentegewassen op fosfaattoestand en fosfaatbemesting was m.u.v. sla en peen doorgaans zwak. Opbrengstdaling door te hoge fosfaatgiften werd niet vastgesteld. Om maximale opbrengsten te verkrijgen zou op basis van de verkregen resultaten hoge tot zeer hoge fosfaatgiften gegeven moeten worden. Deze hoge fosfaatgiften renderen niet en zijn in conflict met bepalingen van MINAS in het bijzonder als kunstmestfosfaat onder MINAS zou vallen. Bovendien staan deze hoge fosfaatgiften weinig betrouwbaar vast; het betreft nl. extrapolatie buiten het bereik van de toegediende fosfaatgiften. De oorspronkelijke grondslag van het groenteadvis wordt hier dan ook verlaten.

De resultaten van de veldproeven met prei en bloemkool hebben aangetoond dat deze gewassen qua fosfaatbehoefte niet afwijken van de fosfaatbehoefte van gewassen in gewasgroep 4 (granen, graszaad en koolzaad) van het bemestingsadvies voor akkerbouwgewassen. Sla en peen vormen uitzonderingen. Deze gewassen vertonen nog bij hogere fosfaattoestanden een reactie op fosfaatbemesting, terwijl dit niet het geval is bij hakvruchten. Het zijn gewassen met een beduidend hogere fosfaatbehoefte dan die van gewasgroep 1 van het akkerbouwadvis. Een onderscheid bij bemestingsadvisering kan voor sla en peen aangebracht worden door een nieuwe gewasgroep op te nemen in het advies. Deze gewasgroep met zeer fosfaatbehoefte wordt in dit rapport **groep 0** (nul) genoemd. Uit praktische overwegingen is er voor gekozen het advies voor de fosfaatbemesting vollegrondsgroenten naar de praktijk op dezelfde wijze te presenteren als het fosfaatadvies voor de akkerbouw.

Bij de interpretatie voor het nieuwe fosfaatadvies is uitgegaan van de optimale financiële opbrengst. Er wordt voorlopig voorbijgegaan aan de milieuverantwoorde bemestingsadviezen met als randvoorwaarden de vermestingsparameters voor *ondiep grondwater* en streefwaarden voor *zoet oppervlaktewater*. Deze adviezen worden gegeven door Ehlert e.a. (in prep.).

## 6. Landbouwkundig fosfaatbestedingsadvies voor vollegrondsgroenten

### 6.1. Waardering van de fosfaattoestand van de bodem voor akkerbouw en vollegrondsgroenten

In tabel 15 is de waardering van de fosfaattoestand van de bodem voor de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt weergegeven. De waardering geldt voor alle grondsoorten.

Tabel 15. Waardering van de fosfaattoestand van de bodem voor de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt.

Waardering	Pw-getal mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per liter
Zeer laag	<11
Laag	11-20
Voldoende	21-30
Ruim voldoende	31-45
Vrij hoog	46-60
Hoog	>60

### 6.2. Grondgericht advies

Op veeljarige proefvelden is gevonden dat bij gewassen als aardappelen en bieten bij een lage fosfaattoestand met een hoge fosfaatbemesting een lagere opbrengst wordt behaald dan bij een hogere fosfaattoestand met een lagere bemesting (Prummel, 1981a). Hetzelfde effect werd vastgesteld bij peen en kropsla op de fosfaattoestanden proeven in 1996 en in 1997. Peen en kropsla vragen een wat hogere fosfaattoestand (tabel 6 en 9). Het verschil met de streefgetallen voor de akkerbouw is klein, de getalswaarde valt in het traject waar aanbevolen wordt om de toestand te handhaven. Daarom is afgezien van het formuleren van een specifiek streefgetal voor peen en kropsla en wordt geconformeerd aan de huidige streefgetallen voor akkerbouwland (tabel 16). Voor het handhaven van een bestaande toestand moet gemiddeld over het bouwplan de onttrekking worden gegeven plus de onvermijdbare fosfaatverliezen. Hierbij wordt volledig gespiegeld aan het huidige bemestingsadvies voor de akkerbouw. Bij een gemiddeld akkerbouwplan kan worden gerekend met een onttrekking van 60-70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. Adviezen voor reparatiebemesting (tabel 2.3 van de huidige adviesbasis) blijven ongewijzigd.

Tabel 16. Streefgetal (Pw-getal) voor een bouwplan zeer fosfaatbehoefte gewassen en hakvruchten op diverse grondsoorten en het traject waarbinnen wordt geadviseerd de toestand te handhaven.

Grondsoort	Streefgetal	Toestand handhaven
Zeeklei	25	25-45
zandgrond, rivierklei, löss	30	30-45

### 6.3. Gewasgericht advies

Het gewasgericht fosfaatbestedingsadvies voor vollegrondsgroenten met een zeer hoge fosfaatbehoefte is door middel van een aparte kolom in huidige akkerbouwadvies opgenomen (tabel 17). De gewasgroepen worden gegeven in tabel 18. De structuur is daardoor identiek aan de systematiek van het huidige akkerbouwadvies.

Tabel 17. Geadviseerde hoeveelheden fosfaat in kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha.

Pw-getal	Dekzand, dalgrond, rivierklei, löss,					Zeeklei, zeezand				
	Gewasgroepen					Gewasgroep				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
10	.	185	160	130	100	.	185	150	110	60
15	.	170	145	110	80	.	170	130	90	40
20	.	150	125	95	60	<b>180</b>	150	115	65	20
25	.	135	110	75	40	135	135	95	45	0
30	<b>350*</b>	120	90	55	20	120	120	75	20	
35	<b>235*</b>	105	75	40	0	105	105	55	0	
40	<b>190</b>	85	55	20		85	85	40		
45	<b>90</b>	70	40	0		70	70	0		
50	55	55	20			55	55			
55	35	35	0			35	35			
60	20	20				20	20			
65	0	0				0	0			

\* gift toedienen als rijenbemesting

### 6.4. Toelichting op nieuwe kolom

#### Hoge fosfaatgiften

In de hoeveelhedenproeven was het bereik van de giften 0 - 300 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Berekening van giften hoger dan 300 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> is zodoende gebaseerd op extrapolatie. Bijvoorbeeld voor peen op *zand* werden bij Pw-getal 30 en 35 optimale giften berekend van respectievelijk 470 en 310 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha (tabel 7). Bij lagere Pw-getallen werden waarden van meer dan 600 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha berekend. Op *kleigrond* voor peen zijn bij Pw-getallen van 10 en 15 de berekende giften resp. 540 en 340 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

per ha. Hoge, door extrapolatie berekende fosfaatgiften zijn slechter onderbouwd en daardoor onbetrouwbaarder naarmate ze verder van de in de proeven toegepaste giften af liggen. Advisering daarvan is onverantwoord gelet op de huidige bepalingen van MINAS. Daarom zijn de hoge giften bij lage waarden voor het Pw-getal niet tot aan de streefwaarden ingevuld. De praktische uitwerking van dit advies is dat percelen met te lage fosfaattoestand volgens het P-advies op streefgetal worden gebracht (30 mg  $P_2O_5$  per liter voor zand en 25 mg  $P_2O_5$  per liter voor kleigrond). De berekende giften *hoger dan 300 kg  $P_2O_5$  per ha* beperken zich bij dekzand, dalgrond, rivierklei en löss tot Pw-getal 30 en 35 mg  $P_2O_5$  per liter. Bij deze fosfaattoestanden is 75 % van de berekende waarde gegeven. Er wordt hierbij uitgegaan van de gedachte dat via rijenbemesting het fosfaat wordt toegediend. Adviesgiften ver boven de 300 kg  $P_2O_5$  per ha blijven zodoende achterwege. Wel staan bij deze invulling in kolom 0 twee soorten giften: één voor breedwerpige toediening en één voor rijenbemesting. Een alternatief kan zijn om bij lage Pw-getallen, waar de berekende giften boven 300 kg  $P_2O_5$  per ha uit gaat, daar standaard 300 kg  $P_2O_5$  per ha in te vullen met de kanttekening dat het rendement van de gift middels rijenbemesting verhoogd kan worden met 25 tot 50 %.

#### *Lage fosfaatgiften*

De berekening van de fosfaatgift bij hogere Pw-getallen leidt in vergelijking met de huidige bemestingsadviezen voor de akkerbouw, tot *lagere* giften. Voor zandgrond werd bijvoorbeeld bij een Pw-getal 50 een gift van nul berekend; voor kleigrond reeds vanaf een Pw-getal van 30 mg  $P_2O_5$  per liter. Bij kleine verschillen tussen waarden van het Pw-getal worden grote verschillen in P-giften geadviseerd in de kolom 0(B). Dit geeft een knelpunt bij de praktische uitvoerbaarheid. Een alternatief kan zijn dat in het streeftraject één gift wordt aanbevolen i.p.v. een individuele gift per Pw-getal. Gemiddeld zou voor zandgrond dan een gift van 220 kg  $P_2O_5$  per ha daarvoor in aanmerking kunnen komen; voor kleigrond kan volstaan worden met 110 kg  $P_2O_5$  per ha.

De toepassing van vergelijking (1a) op de *voor vruchtbaarheidsverschillen gecorrigeerde* gegevens van het huidige advies voor aardappelen (gemiddelde opbrengsten van aardappel verzameld door Ris & Van Luit, 1973b) heeft uitgewezen dat een goed passend verband wordt gevonden. Op basis van dit verband worden eveneens voor aardappel lagere giften berekend. Het verdient echter aanbeveling deze berekening ook eens uit te voeren op de ongecorrigeerde data. Een daar uit voortvloeiende eventuele benodigde herziening van het akkerbouwadvies valt echter buiten het huidige project.

Uitkomsten worden afgerond op veelvouden van 5 kg, een uitkomst lager dan 20 kg wordt afgerond op 0 kg.

#### *Opmerkingen bij tabel 17*

De opmerkingen voor de akkerbouwgewassen gegeven bij tabel 2.4 van de adviesbasis blijven ongewijzigd. Voor peen en in het bijzonder voor kropsla wordt de volgende opmerking toegevoegd.



6. *Kropsla en peen op zand reageren sterk op fosfaatbemesting en fosfaattoestand. Rijenbemesting verdient de voorkeur.*

Tabel 18. Indeling gewasgroepen bij gewasgroepen van het advies voor akkerbouwland.

Gewasgroep	Gewassen
0	<i>Kropsla , peen op zand<sup>1</sup></i>
1	Consumptieaardappelen, fabrieksaardappelen, aardappelen voor industriële verwerking, maïs <sup>2)</sup> , uien, spruitkool, bladspinazie, stamslabonen <sup>3)</sup> , conservenerwten, tuinbonen <sup>3)</sup> , landbouwerwten, veldbonen <sup>3)</sup> , bruine bonen <sup>3)</sup> , rodekool, wittekool, knolselderij waspeen, krotten, augurken, schorseneren, aardbeien.
2	Suikerbieten, voederbieten, zaadbieten, vlas, karwij
3	Bloembollen, klaver, wikken, gerst, witlof, 1- en 2-jarig grasland (2 sneden) <b>peen op klei.</b>
4	Granen (behalve gerst), graszaad, koolzaad en andere gewassen, <b>bloemkool, prei,</b>

1. *Na weging van beschikbare literatuurgegevens en modelonderzoek worden overige intensief geteelde groentegewassen in het schema opgenomen. Bij breedwerpige bemesting dient 1,3 maal zoveel te worden toegediend.*
2. *Bij rijenbemesting de halve hoeveelheid.*
3. *Op zandgrond betreft het giften die als rijenbemesting worden toegediend; bij breedwerpige toediening dient 2x zoveel gegeven te worden. Op kleigrond betreft het giften die breedwerpig worden toegediend; bij rijenbemesting kan 75% van de breedwerpig geadviseerde gift worden volstaan.*

## Bronvermelding

Bommeljé, S., 1969. Invoering van een nieuwe methode voor grondonderzoek op fosfaat – Pw-getal – in de tuinbouw. *Grondonderzoek en bemesting*. Bijeenkomst bodemkundige specialisten op 18 juni 1969 te Wageningen. De Spons, 10: 4-6.

Boon, J. van der, 1953. Inventarisatie van de gegevens van bemestingsproefvelden in de tuinbouw. Rijkstuinbouwconsulentschap voor Bodemaangelegenheden, Wageningen, Nederland

Boon, J. van der, 1960a. Bemesting met kunstmest en grondonderzoek in opengronds fruit- en groenteteelt I. *Mededelingen Directie Tuinbouw 23 (5): 279-285.*

Boon, J. van der, 1960b. Bemesting met kunstmest en grondonderzoek in opengronds fruit- en groenteteelt II. *Mededelingen Directie Tuinbouw 23 (6): 384-388.*

Boon, J. van der, & Holland, J.H.M., 1971a. Invoering van een nieuwe methode voor grondonderzoek op fosfaat – het Pw-getal – in de tuinbouw (Nota II). De Spons, 15, 4-13.

Boon, J. van der, Das, A., Bommeljé, S. en Wolf, R. de, 1971b. Invoering van een nieuwe methode voor grondonderzoek op fosfaat – het Pw-getal – in de tuinbouw (Nota III). De Spons, 16, 4-13.

Boon, J. van der, 1973. Development of soil testing in the Netherlands. *Actua Horticulturae*, 29: 105-124.

Dijk, W. van (samensteller), 1999. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. *Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt*, Lelystad.

Ehlert, P.A.I. & Willigen, P. de., 1999. Hoofdstuk 3. De relatie tussen de fosfaatbehoefte van vollegrondsgroenten en de fosfaattoestand in de bodem. In: Dekker, P.H.M. (Eds.) *Naar maatwerk in bemesting. Themadag van het Praktijkonderzoek voor de akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt.*

Genstat 5 Committee, 1993. *Genstat<sup>TM</sup> 5 Release 3. Reference Manual*. R.W. Payne, P.W. Lane, P.G.N. Digby, S.A. Harding, P.K.Leech, G.W. Moran, A.D. Todd, R. Thompson, G. Tunnicliffe Wilson, S.J. Welham, R.P. White. Statistics Department, Rothamsted Experimental Station, AFRC Institute of Arable Crops Research, Harpenden, Hertfordshire AL5 2JQ.

Holland, J.H.M., 1971. De vervanging van de P-getal-bepaling in de glastuinbouw. De Spons, 15, 1-3.

Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt (KWIN) 2000/2001, Team Economie & Management PAV, publicatie nr. 102, 2000, Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt, 360 p.

Neuvel, J.J., 1998, Kropsla reageert ook in de zomer op fosfaat, PAV-bulletin Vollegrondsgroenteteelt / Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt, 2 , 15-17.

Neuvel, J.J. & Wijk, C.A.Ph. van, 1998a, Met meer fosfaat weinig meer peen, PAV-bulletin Vollegrondsgroenteteelt / Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt, 3, 2-4.

Neuvel, J.J. & Wijk, C.A.Ph. van, 1998b, Herfstprei blijft achter bij lage Pw-toestand, PAV-bulletin Vollegrondsgroenteteelt / Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt, 4, 2-4.

Kwaliteitsvoorschriften Verse Groenten en vers Fruit 1997. Productschap Tuinbouw, 59 bijlagen.

Paauw, F. van der, Luit, B. van, Ris, J., 1958. De overgang van P-citr naar P-AL. Instituut voor bodemvruchtbaarheid, Rapport VI, Groningen, Nederland

Paauw, F. van der, 1971. Analytical technique of the Pw method, used for the assessment of the phosphate status of arable soils in the Netherlands. Plant and Soil 34, 483-486.

Prummel, J., 1968. Bemesting van grove tuinbouwgewassen op landbouwgronden. De buffer, 14 (2): 40-42.

Prummel, J., 1971. Fosfaat- en kalibemesting van bladspinazie en stamslabonen op landbouwgronden. Bedrijfsontwikkeling 2 (5): 77-82.

Prummel, J., 1973. Fosfaat- en kalibemesting van conservenerwten op landbouwgronden. Bedrijfsontwikkeling, 4 (10): 928-930.

Prummel, J., & Barnau Sijthoff, P.A. von, 1975. Rijenbemesting met fosfaat bij stambonen en tuinbonen. Bedrijfsontwikkeling 6 (2): 173-175.

Prummel, J., 1975. Rijenbemesting met fosfaat bij stambonen en tuinbonen. Bedrijfsontwikkeling 6 (2): 173-175.

Prummel, 1979. Fosfaat- en kalibemesting van tuinbonen op landbouwgronden. Bedrijfsontwikkeling 10 (1): 77-80.

Prummel, J., 1981a. Bemestingsbeleid voor fosfaat en kali op bouwland, 1. Fosfaat. Stikstof 98: 447-451.

Prummel, J. 1981b. Rijenbemesting met fosfaat bij bonen en aardappelen. Bedrijfsontwikkeling 12 (12), p. 1091-1094.

Prummel, J., 1982. Bemesting van het tweede groentegewas bij dubbelteelten op akkerbouwbedrijven. Bedrijfsontwikkeling 13 (8): 759-761.

Ris, J., Luit, B.J. van, 1973a. The establishment of fertilizer recommendations on the basis of soil tests. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.

Ris, J., Luit, B.J. van, 1973b. The establishment of fertilizer recommendations on the basis of soil tests. Exercises. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.

Schröder, J.J., van Erp, P., van Dijk W., 1998. Leidraad voor de verzameling van proefvelddata ter vaststelling van landbouwkundige en milieukundige kenmerken respectievelijk bemestingsadviezen door de Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegrondsgroenteteelt: stikstof. Interne Leidraad CBAV.

Sissingh, H.A. 1971, Analytical technique of the Pw method, used for the assessment of the phosphate status of arable soils in the Netherlands, Plant and Soil, 34: 483-486.

PAV Lab. Protocollen. Verwerking monsters en/of bepaling drooggewicht c.q. drogestofgehalte; no 1.6 aardappel, no 1.15 bloemkool, no 1.20 kropvormende bladgewassen, no 1.23 prei, no 1.27 peen- en witlofwortels; Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt. Interne protocollen.

Vos, J.A. de, 1997. Water flow and nutrient transport in a layered silt loam soil. PhD Thesis Wageningen Agricultural University. ISBN 90-5485-749-8.

Willigen, P. de, Noordwijk, M. van, 1978. Berekeningen over de fosfaatopname door een gewas in afhankelijkheid van bewortelingsdichtheid en fosfaatrijkdom van de grond. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Rapport 19-78. Haren, Nederland.

Wijk, C.A.Ph. van, & Neuvel, J., 1998. Bloemkool reageert niet op fosfaat, PAV-bulletin. Vollegrondsgroenteteelt / Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt, 2: 3-5.

Wijk, C.A.Ph. van, & J. Neuvel, 1998. Vroege kropsla reageert sterk op lage P-toestand van de grond. PAV-bulletin. Vollegrondsgroenteteelt / Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt, 1: 21-23.

Wijk, C.A.Ph. van, 1999. Aardappel reageert sterk op fosfaat, PAV- bulletin Vollegrondsgroenteteelt / PAV. 3, 1: 22-24.

Wijk, C.A.Ph. van, & Neuvel, J., 1999a. Door fosfaat wel snelle start, maar niet meer bloemkool. PAV-bulletin. Vollegrondsgroenteteelt / Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt , no. 4 , p 23-24

Wijk, C.A.Ph. van, & Neuvel, J., 1999b. Hoofdstuk 2. Naar een evenwichtige fosfaatbemesting bij groenten. In: Dekker, P.H.M. (Eds.) Naar maatwerk in bemesting. Themadag van het Praktijkonderzoek voor de akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt.

## Bijlage 1. Algemeen grondonderzoek per proefjaar voor de laag 0-30 cm.

Locatie	Jaar	Grondsoort	Org. Stof [%]	Lutum [%]	CaC O <sub>3</sub> [%]	pH-KCl	P-AL-getal [mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per 100 g]	P-totaal [mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per 100 g]	P-oxalaat [mmol per kg]	MgO [mg MgO per kg]
<b>Fosfaathoeveelheden proeven*</b>										
Meterik	1996	Zand	2,1	3,9	0,1	6,1	64	159	17	138
Westmaas	1996	Klei	1,6	20,1	8,8	7,5	48	177	13	223
Horst	1997	Zand	3,4	2,7	0,2	5,7	53	149	16	62
Meterik	1997	Zand	2,6	3,0	0,1	5,7	58	151	16	146
Lelystad	1998	Klei	1,8	16,3	6,4	7,5	38	134	9	104
Westmaas	1997	Klei	2,7	21,5	8,2	7,4	36	167	12	101
Horst	1998	Zand	3,9	2,8	0,1	6,1	88	194	24	95
Breda	1998	Zand	2,5	3,0	0,2	6,3	53	167	21	87
Valthermond	1998	Daigrond	13,1	2,3	0,2	4,7	32	89	8	208
Zwaagdijk	1998	Klei	7,0	25,3	2,2	7,2	42	212	17	165
Lelystad	1997	Klei	1,9	13,8	6,1	7,5	28	119	8	98
Westmaas	1998	Klei	1,9	19,3	8,2	7,5	42	164	11	75
<b>Fosfaattoestanden proeven**</b>										
Lelystad P1	1996	klei	.	13,3	5,4	7,6	25	103	.	.
Lelystad P2	1996	klei	.	13,2	5,5	7,5	32	117	.	.
Lelystad P3	1996	klei	.	13,4	5,4	7,5	44	130	.	.
Lelystad P4	1996	klei	.	13,1	5,4	7,5	69	164	.	.
Lelystad P1	1997	klei	.	.	.	.	23	102	.	.
Lelystad P2	1997	klei	.	.	.	.	34	.	.	.
Lelystad P3	1997	klei	.	.	.	.	44	.	.	.
Lelystad P4	1997	klei	.	.	.	.	59	162	.	.

\* De Pw-getallen worden voor iedere locatie gegeven in bijlage 2.

\*\* P1 tot en met P4 zijn vier niveaus van fosfaattoestanden; de Pw-getallen worden per gewas in bijlage 3 gegeven.

## Bijlage 2. Marktbaar opbrengst per gewas per locatie bij twee fosfaatgiften.

Locatie/jaar	Grond	Sla vroeg (t/ha)			Sla zomer (t/ha)			Peen (t/ha)			Prei (t/ha)			Bloemkool (% kwal.I)		
		Pw <sup>1</sup>	0 <sup>2</sup>	300 <sup>2</sup>	Pw	0	300	Pw	0	300	Pw	0	300	Pw	0	300
<b>Fosfaathoeveelheden proeven op zand</b>																
Horst '97	Zand	29	41	56 <sup>3</sup>	21	35	48 <sup>3</sup>	18	75	79	20	38	40	18	77	73
Horst '98	Zand	41	61	63	41	57	59	38	95	102	15	31	33	32	83	80
Breda '98	Zand	43	60	65 <sup>3</sup>	37	62	68 <sup>3</sup>	36	115	131 <sup>3</sup>	32	35	36	42	75	75
Valthermond '98	Dalgr.	61	44	44	64	49	49	70	121	118	66	34	29 <sup>3</sup>	66	48	36 <sup>3</sup>
Meterik '96	Zand	69	66	66	63	62	67	100	101	100	69	50	52	67	91	100
Meterik '97	Zand	71	42	44	61	58	64 <sup>3</sup>	67	123	126	57	36	34	54	77	69
<b>Gemiddelde van 6 proeven</b>	<b>Zand</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>56</b>	<b>48</b>	<b>54</b>	<b>59<sup>3</sup></b>	<b>55</b>	<b>105</b>	<b>109</b>	<b>47</b>	<b>37</b>	<b>37</b>	<b>47</b>	<b>75</b>	<b>72</b>
<b>Fosfaathoeveelheden proeven op klei</b>																
Zwaagdijk '98	Klei	21	55	60 <sup>3</sup>	17	53	55	32	99	102	31	54	54	36	59	58
Lelystad '97	Klei	22	44	50 <sup>3</sup>	24	55	58	20	117	121	23	53	55	23	81	58 <sup>3</sup>
Westmaas '97	Klei	24	46	51	23	50	58 <sup>3</sup>	21	98	100	23	55	55	22	63	70
Westmaas '98	Klei	27	44	44	27	63	68 <sup>3</sup>	22	74	85 <sup>3</sup>	20	41	44	24	96	94
Lelystad '98	Klei	38	59	63	37	54	53	40	105	103	39	55	59 <sup>3</sup>	38	89	84
Westmaas '96	Klei	56	48	56 <sup>3</sup>	58	48	55 <sup>3</sup>	44	99	97	36	54	57	44	77	72
<b>Gemiddelde van 6 proeven</b>	<b>Klei</b>	<b>31</b>	<b>49</b>	<b>54<sup>3</sup></b>	<b>31</b>	<b>54</b>	<b>58</b>	<b>30</b>	<b>99</b>	<b>101</b>	<b>29</b>	<b>52</b>	<b>54</b>	<b>31</b>	<b>78</b>	<b>73</b>
<b>Fosfaattoestanden-hoeveelheden proeven op klei</b>																
			0	120		0	120		0	120		0	120		0	120
Lelystad 96/97	Klei	18	40	54 <sup>3</sup>	22	49	56 <sup>3</sup>	17	116	114	17	54	54	16	77	67
Lelystad 96/97	Klei	33	52	55	35	58	61	34	118	123 <sup>3</sup>	32	56	55	32	70	70
Lelystad 96/97	Klei	49	55	56	54	62	65	50	122	122	47	57	56	50	69	67
Lelystad 96/97	Klei	92	59	59	90	67	65	92	126	124	89	59	58	88	68	64
<b>Gemiddelde van 4 toestanden</b>	<b>Klei</b>	<b>38</b>	<b>50</b>	<b>53</b>	<b>39</b>	<b>59</b>	<b>61</b>	<b>37</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>36</b>	<b>57</b>	<b>54</b>	<b>47</b>	<b>71</b>	<b>67</b>

<sup>1</sup>: Pw: Pw-getal, mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter

<sup>2</sup>: Gift, kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha

<sup>3</sup>: Wijkt bij vergelijking per gewas en per toestand betrouwbaar af van 0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha.

### Bijlage 3. Aardappel, toestanden-hoeveelheden veldproef te Lelystad.

Locatie	Opbrengst in ton per ha												
	Pw <sup>1</sup>		Gift		Pw		Gift		Pw		Gift		
	[kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha]		[kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha]		[kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha]		[kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha]		[kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha]		[kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha]		
	0	120	0	120	0	120	0	120	0	120	0	120	
Lelystad 96/97	Klei	18	63	69 <sup>2</sup>	32	65	69	49	70	70	89	69	69

<sup>1</sup>: Pw: Pw-getal, mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per liter

<sup>2</sup>: wijkt bij vergelijking per gewas *en* per toestand betrouwbaar af van 0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha.



## Bijlage 4. Teelt- en weersgegevens van kropsla.

Locatie	Jaar	Plantdatum	Oogstdatum	Totale groeiduur [dagen]	Temperatuur-som (TM150 <sup>a</sup> ) [°C]	Neerslag-som [mm]	Berekening [mm]	Totale neerslag- som [mm]
<b>Sla vroege teelt</b>								
Horst	1997	3-april	26-mei	53	559	122	15	137
Horst	1998	30-maart	21-mei	52	695	100	20	120
Breda	1998	30-maart	21-mei	52	637	98	20	118
Valthermond	1998	30-maart	19-mei	50	596	100	20	120
Meterik	1996	10-april	28-mei	48	605	52	40	92
Meterik	1997	3-april	26-mei	53	559	122	15	137
Zwaagdijk	1998	30-maart	24-mei	55	621	115	0	115
Lelystad	1997	3-april	22-mei	49	527	101	12	113
Westmaas	1997	3-april	21-mei	48	548	96	20	116
Westmaas	1998	30-maart	21-mei	52	666	117	0	117
Lelystad	1998	30-maart	21-mei	52	614	95	0	95
Westmaas	1996	10-april	3-juni	54	682	47	38	85
<b>Zomerteelt</b>								
Horst	1997	27-mei	9-juli	43	744	96	15	111
Horst	1998	27-mei	14-juli	48	791	153	0	153
Breda	1998	25-mei	13-juli	49	781	164	0	164
Valthermond	1998	26-mei	8-juli	43	692	166	0	166
Meterik	1996	6-juni	22-juli	46	796	83	40	123
Meterik	1997	27-mei	7-juli	41	711	96	40	136
Zwaagdijk	1998	1-juni	16-juli	45	693	149	20	169
Lelystad	1997	1-juni	13-juli	42	710	109	25	134
Westmaas	1997	27-mei	7-juli	41	680	123	60	183
Westmaas	1998	27-mei	12-juli	46	673	147	0	147
Lelystad	1998	26-mei	9-juli	44	682	200	0	200
Westmaas	1996	6-juni	15-juli	39	627	61	35	96

a) TM150 is de temperatuur gemeten op een hoogte van 1,50 m. boven maaiveld.

## Bijlage 5. Teelt- en weersgegevens van peen

Locatie	Jaar	Zaaidatum	Oogstdatum	Totale groeiduur [dagen]	Temperatuur-som (TM150) <sup>a</sup> [°C]	Neerslag-som [mm]	Berekening [mm]	Totale neerslag- som [mm]
Horst	1997	2-mei	7-september	129	2286	283	15	298
Horst	1998	14-mei	16-september	125	2093	414	15	429
Breda	1998	25-apr	2-september	130	2059	280	15	295
Valthermond	1998	15-mei	22-september	130	2056	380	80	460
Meterik	1996	18-jun	6-november	139	2065	291	15	306
Meterik	1997	2-mei	7-september	129	2286	283	15	298
Zwaagdijk	1998	22-mei	28-september	129	1942	407	25	432
Lelystad	1997	1-mei	8-september	131	2232	267	0	267
Westmaas	1997	3-mei	9-september	129	2272	298	15	313
Westmaas	1998	14-mei	9-september	118	1951	320	44	364
Lelystad	1998	19-mei	21-september	125	1921	437	15	452
Westmaas	1996	3-mei	10-september	130	1995	215	28	243

a) TM150 is de temperatuur gemeten op een hoogte van 1,50 m. boven maaiveld.

## Bijlage 6. Toelichting keuze responscurve

### Inleiding

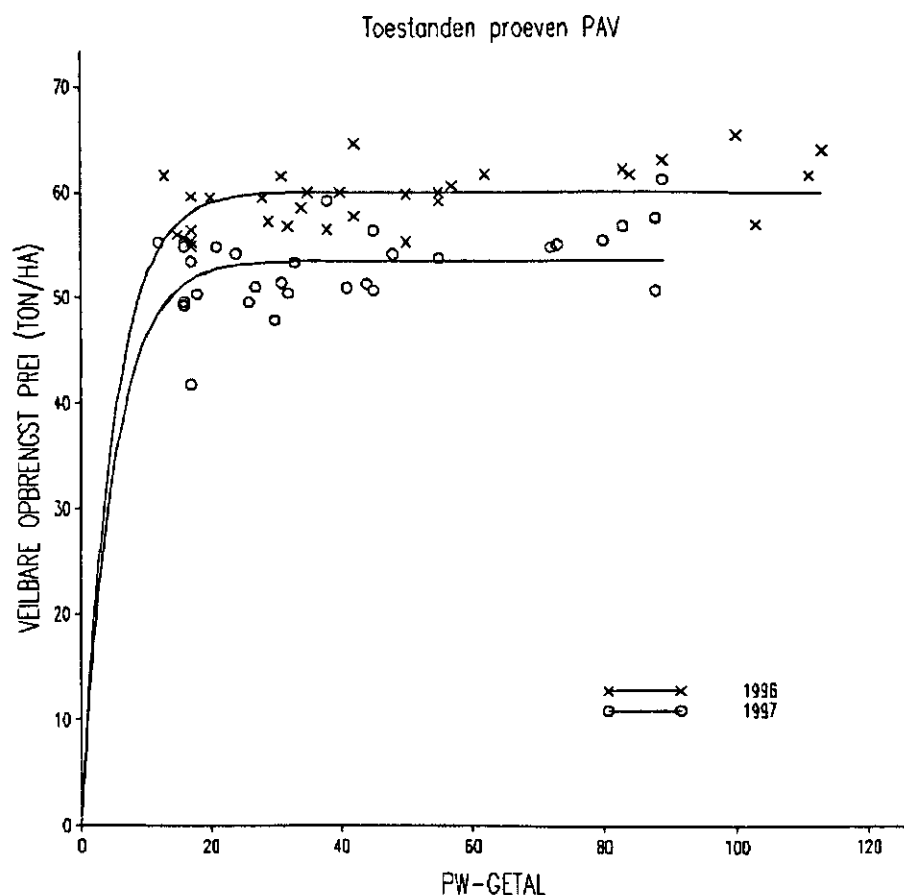
Bij de verwerking van de resultaten is gezocht naar een wiskundig model dat zo goed mogelijk de respons van de gewassen op de fosfaatvoorziening beschrijft. Het gewenste model moet aansluiten bij de biologische kennis over de fosfaatreactie en passen bij data zoals die in het onderzoek zijn verzameld. Gekozen is voor het volgende model:

$$\text{Marktbaar opbrengst gewas} = \alpha \cdot (1 - e^{\gamma \cdot P\text{-beschikbaar}}) \quad (1a)$$

Hierbij is

$\alpha$ : is de maximale opbrengst in ton per ha

$\gamma$ : is een klein negatief getal. Wordt  $\gamma$  sterker negatief dan gaat verse opbrengst sneller naar  $\alpha$ .



Figuur 1. Respons veilbare opbrengst prei op Pw-getal bij P-toestanden-hoeveelheden proeven op PAV te Lelystad in 1996 en 1997.

De P-beschikbaar bestaat uit fosfaat bemesting en levering van fosfaat uit de bodem. De levering uit de bodem wordt evenredig gesteld met het Pw-getal:

$$P\text{-beschikbaar} = P_2O_5\text{-gift} + \rho * Pw\text{-getal} \quad (5)$$

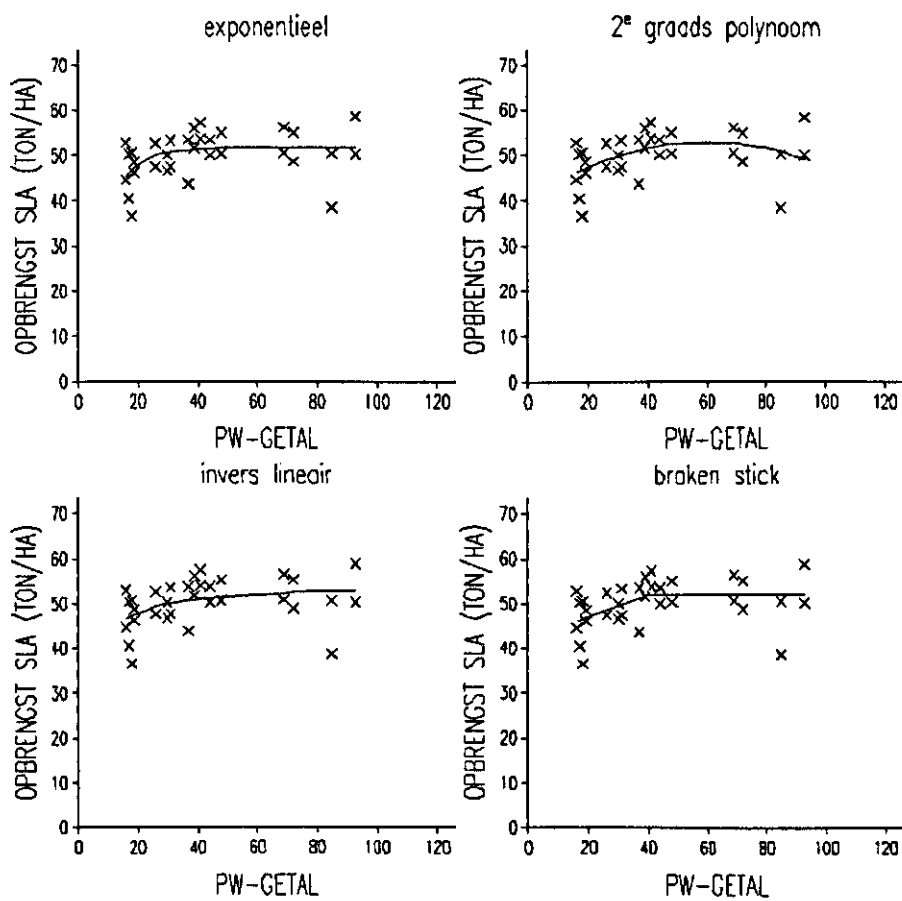
Ieder punt in Figuur 1 is een veldje waaraan in 1996 en 1997 het Pw-getal is gemeten en de veilbare opbrengst bepaald. Gewoonlijk wordt de curve over hetzelfde traject getrokken als het bereik van het Pw-getal. De curven in Figuur 1 zijn bewust vanaf Pw-getal is 0 getrokken om te tonen hoe de vorm van curve eruit ziet. De gekozen exponentiele curve beschrijft goed de stijging van de opbrengst bij lage P-beschikbaar en de constante opbrengst vanaf een Pw-getal van 30 à 50 afhankelijk van gewas en grondsoort. Wanneer een intercept werd opgenomen in de vergelijking (1a), werd niet altijd meer een stijging van de opbrengst waargenomen, maar vaak een daling, wat teeltkundig niet goed is.

In het bemestingsonderzoek wordt ook wel een 2<sup>e</sup> graads polynoom toegepast. Dit model geeft een symmetrische curve. Voorbij een maximum opbrengst gaat de curve weer net zo hard naar beneden als hij voor het maximum steeg. Omdat in de gekozen trajecten van P-beschikbaar bij geen van de onderzochte gewassen de opbrengst daalde is de 2<sup>e</sup> graads polynoom minder geschikt voor het beschrijven van de respons op fosfaat in dit onderzoek.

Een ander vaak gebruikt model is het 'broken-stick' model. De curve bestaat bij lage P-beschikbaar uit een stijgende rechte lijn. Vanaf een drempelwaarde van de P-beschikbaar gaat de curve recht lopen. Ook deze curve kan net als het exponentiele model zo worden geformuleerd dat de curve door de oorsprong gaat. Het 'broken-stick' model paste niet bij de data.

Een model, wat erg lijkt op het exponentiele model, is het invers lineaire model. Ook deze curve gaat door de oorsprong. De stijging van de opbrengst bij toenemende P-beschikbaar neemt af. De opbrengst gaat naar een maximum bij hogere waarden voor P-beschikbaar. De data waarop het model is getest gaven aan dat het invers lineaire model langzamer naar de maximale opbrengst gaat als in het exponentiele model

In Figuur 2 zijn de genoemde 4 modellen zijn aangepast aan de data van de P-toestanden proef sla, vroege teelt, onbemest uit 1997. Duidelijk is te zien dat het invers lineaire model langer blijft toenemen in opbrengst dan het exponentiele model. Zowel het exponentiele als het invers lineaire model gaan door de oorsprong. De 2<sup>e</sup> graads polynoom heeft een intercept. Verwijderen van het intercept uit het model geeft een slechte aanpassing aan de data. Het 'broken-stick' model was niet aan te passen met de restrictie dat de curve door de oorsprong gaat. Het in het onderzoek gebruikte model (1a) was het enige praktische model dat betekenisvol toegepast kon worden.



**Figuur 2. Vier modellen toegepast op de data van de vroegesla-teelt op de toestanden-hoeveelheden proef op klei op PAV te Lelystad in 1997. Voor het figuur zijn alleen data van niet met fosfaat bemeste veldjes gegeven.**