

# De betekenis van grond- onderzoek met 0,01 M calciumchloride als basis voor het kaliumbemestingsadvies van bouwland

Herijking van de kaliumbemestings-  
adviezen voor akkerbouwland

P.A.I. Ehlert, S.L.G.E. Burgers, J.W. Steenhuizen,

P. van Lune & H. Loman

**ab-dlo**



**De betekenis van grond-  
onderzoek met 0.01 M  
calciumchloride als basis voor  
het kaliumbemestingsadvies  
van bouwland**

Herijking van de kaliumbemestings-  
adviezen voor akkerbouwland

P.A.I. Ehlert, S.L.G.E. Burgers, J.W. Steenhuizen,  
P. van Lune & H. Loman

Rapport 87, Haren

februari 1998

2213283

Het DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO) is onderdeel van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

DLO heeft tot taak het genereren van kennis en het ontwikkelen van expertise ten behoeve van de beleidsvoorbereiding en -uitvoering van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, het bevorderen van de primaire landbouw en de agrarische industrie, het inrichten en beheren van het landelijk gebied, en het beschermen van natuur en milieu.

AB-DLO heeft tot taak het verrichten van zowel fundamenteel-strategisch als toepassings-gericht onderzoek en is gepositioneerd tussen het fundamentele basisonderzoek van de universiteiten en het praktijkgerichte onderzoek op proefstations.

Het onderzoek van AB-DLO is gericht op:

- het bevorderen van de duurzaamheid en kwaliteit van de plantaardige productie;
- het duurzaam gebruik van land, water en energie;
- het ontwikkelen van landbouwsystemen binnen kaders van multifunctioneel landgebruik.

Met deze activiteiten draagt het instituut bij aan de oplossing van vraagstukken rond een efficiënt beheer van stof- en energiestromen in agroproductieketens, de ecologisering van de primaire productie, de regionale en mondiale voedselvoorziening en het multifunctioneel gebruik van de groene ruimte.

Het onderzoek is ondergebracht in drie thema's:

- *Kwaliteit: kwaliteit van plantaardige productie en product*
- *Milieu: de kwaliteit van de milieocompartimenten bodem en biosfeer*
- *Duurzaamheid: duurzame landbouw binnen kaders van multifunctioneel landgebruik.*

Kernexpertises van het AB-DLO zijn: plantenfysiologie, bodembioologie, bodemchemie en -fysica, nutriëntenbeheer, gewas- en onkruidecologie, graslandkunde en agrosysteemkunde.

#### **Adressen**

##### *Vestiging Wageningen:*

Postbus 14, 6700 AA Wageningen

tel. 0317-475700

fax 0317-423110

e-mail [postkamer@ab.agro.nl](mailto:postkamer@ab.agro.nl)

##### *Vestiging Haren:*

Postbus 129, 9750 AC Haren

tel. 050-5337777

fax 050-5337291

e-mail [postkamer@ab.agro.nl](mailto:postkamer@ab.agro.nl)

# Inhoud

Samenvatting	1
Synopsis	3
1. Inleiding	7
1.1. Achtergrond	7
1.2. Vraagstelling bij de hercalibratie van bemestingsadviezen voor kalium	8
2. Selectie van veldproeven uit het Technisch Archief van het AB-DLO	11
2.1. Het zoekprofiel	11
2.2. Fysisch-chemische analyses door het BLGG	12
2.3. Weersgegevens	12
3. Bepaling van de opbrengstreactie en meststofbehoefte	15
3.1. Bemestingsonderzoek op basis van series van veldproeven	15
3.2. Mathematische beschrijving van de opbrengstcurve	15
3.3. Formulering van het volledige mathematische model	18
3.4. Verklarende variabelen	20
3.5. Het volledige model	25
3.6. Methoden van statistische analyse	26
4. Resultaten met aardappel	27
4.1. Standaardisatie en conditionering van het databestand	27
4.1.1. Stikstof	27
4.1.2. Sub-optimale fosfaatvoorziening	29
4.1.3. Magnesium	31
4.1.4. Algemeen grondonderzoek (AGO)	33
4.2. Karakterisering van de geselecteerde veldproeven	33
4.2.1. Bereik van de verklarende variabelen	34
4.2.2. Aardappelras	34
4.2.3. Voorvrucht	34
4.3. Vereenvoudiging van het model	34
4.4. Vergelijking van modellen met verschillende kaliumparameters	40
5. Het bemestingsadvies voor aardappel	43
6. Resultaten met tuinboon	53
7. Discussie en conclusies	59
7.1. Aardappel	59
7.2. Tuinboon	63
7.3. Naar een nieuw bemestingsadvies voor akkerbouwland	63
Referenties	65

## Samenvatting

De landbouwkundige betekenis van calciumchloride ( $\text{CaCl}_2$ ) als uniform extractiemiddel voor chemisch grondonderzoek voor de bemestingsadvisering is vergeleken met de huidige methode van grondonderzoek op basis van 0,1 N HCl en 0,4 N oxaalzuur (K-HCl-ox). De vergelijking is uitgevoerd met gegevens van eenjarige kaliumhoeveelheden-veldproeven met aardappel en tuinboon. De vergelijkingen zijn gebaseerd op integrale meervoudige niet-lineaire regressieanalyse.

K- $\text{CaCl}_2$  heeft niet dezelfde landbouwkundige betekenis als K-HCl-ox. Er is bij K- $\text{CaCl}_2$  geen invloed vastgesteld van de textuur of de ongebufferde kationuitwisselingscapaciteit (CEC) op de opbrengstreactie van aardappel op kaliumbemesting en kaliumtoestand. Bij de bepaling van de kaliumbeschikbaarheid voor het gewas met K-HCl-ox moet daarentegen rekening gehouden worden met de textuur en het organische-stofgehalte of de CEC. K-HCl-ox, organische stof en afslibbare delen zijn inwisselbaar tegen het K-getal. De extractie met calciumchloride bepaalt daardoor niet doeltreffend de voorraad aan kalium, hetgeen op met name lichtere gronden tot onverantwoorde bemestingsadviezen kan leiden. Bij tuinboon werd op basis van K- $\text{CaCl}_2$  in het geheel geen relatie vastgesteld tussen de opbrengstreactie van het gewas op de K-bemesting en op de K-toestand. Introductie van calciumchloride als methode van grondonderzoek voor met name kaliumbehoeftige gewassen is daardoor alleen verantwoord als daarnaast ook een capaciteitsmaat wordt gebruikt; in het bijzonder geldt dit voor de lichtere gronden.

Bij zowel K- $\text{CaCl}_2$  als K-HCl-ox werd een invloed van het ras en de stikstofgift vastgesteld. Met toename van de opbrengst door een hogere stikstofgift dient meer kalium te worden gegeven. De textuurklassen afslibbare delen en lutum hebben dezelfde landbouwkundige betekenis. Lutum kan daardoor afslibbare delen vervangen.

Bij tuinboon werd een relatie tussen de opbrengst en K-HCl-ox en kaliumbemesting vastgesteld.

De wiskundige beschrijvingen van de opbrengstreactie van aardappel en tuinboon zijn gebruikt voor het afleiden van kaliumbemestingsadviezen. Op basis van prijsverhoudingen zijn economisch rendabele kaliumgiften bepaald. Door de sterk fluctuerende prijzen voor meststoffen en oogstproducten in het laatste decennium worden sterk variabele bemestingsadviezen verkregen. Om stabiliteit in de bemestingsadvisering aan te brengen zijn adviezen afgeleid op basis van opbrengstderiving en de betrouwbaarheid van de bemestingsadviezen. Deze grondslagen leiden tot lagere bemestingsadviezen. Een structuur voor een nieuw kaliumbemestingsadvies voor bouwland wordt gegeven.

## Synopsis

De omzetting van de huidige analysemethoden van grondonderzoek naar een methode op basis van één uniforme extractie met calciumchloride ( $\text{CaCl}_2$ ) betekent een principiële wijziging van de bepaling van de hoeveelheden nutriënten die voor het gewas beschikbaar zijn. Daardoor kan het afleiden van een bemestingsadvies op basis van  $\text{CaCl}_2$  niet gebaseerd zijn op een verband tussen twee verschillende methoden van grondonderzoek zonder daarbij een weging uit te voeren van de landbouwkundige betekenis van deze wijziging. Oriënterend onderzoek naar de landbouwkundige betekenis van  $\text{CaCl}_2$  toonde aan dat zowel de huidige methode van chemisch grondonderzoek op basis van 0,1 N HCl en 0,4 N oxaalzuur (K-HCl-ox) en de alternatieve methode op basis van 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  (K- $\text{CaCl}_2$ ) onderling niet veel verschillen qua voorspellende waarde voor de kaliumopname door aardappelloof. Het kaligetal (K-getal), dat op de huidige methode van chemisch grondonderzoek is gebaseerd, gaf de beste relatie met de kaliumopname door het gewas. Een voorgestelde K-index gebaseerd op K- $\text{CaCl}_2$  en de ongebufferde kationuitwisselingscapaciteit (CEC) had de minst goede relatie. Deze voorstudie gaf aan dat weging van bodemkenmerken bij de  $\text{CaCl}_2$ -extractie perspectief kan bieden om de relatie van K- $\text{CaCl}_2$  met de gewasbehoefte te verbeteren. Dit perspectief wordt in dit rapport nader onderzocht. Bij dit onderzoek stond de beantwoording van de volgende drie vragen centraal.

1. Wat is de opbrengstreactie van referentiegewassen als functie van de bemesting gegeven een kaliumtoestand?
2. Welke kaliumgift is optimaal?
3. Welke landbouwkundige waardering moet aan het analyseresultaat van chemisch grondonderzoek voor kalium worden toegekend?

Deze onderzoeksvragen zijn bestudeerd met opbrengstgegevens van aardappel en tuinbonen. Aardappel is de standaard voor de bemestingsadviezen voor bouwland (gewasgroep één), tuinboon is ondergebracht in gewasgroep vier bij zand-, dal- en veengrond van het bemestingsadvies en bij gewasgroep drie voor rivier- en zeeklei en alluviaal zand; bij loess behoort het gewas tot gewasgroep twee. De twee gewassen verschillen dus in kaliumbehoefte, aardappel wordt als zeer kaliumbehoefstig opgevat, tuinboon als matig kaliumbehoefstig.

Het onderzoek is uitgevoerd door opbrengstgegevens van deze twee gewassen afkomstig van reeds uitgevoerde eenjarige kaliumhoeveelheden-veldproeven op zeeklei, alluviaal zand, dekzand, rivierklei, loess en dalgrond te selecteren uit het Technisch Archief van het AB-DLO. Van deze veldproeven waren grondmonsters beschikbaar in het grondmonsterarchief van het AB-DLO. Deze monsters zijn opnieuw geanalyseerd op algemene parameters van grondonderzoek (AGO), te weten afslibbare delen (minerale delen  $< 16 \mu\text{m}$ ), lutum (minerale delen  $< 16 \mu\text{m}$ ), vrije koolzure kalk ( $\text{CaCO}_3$ ), organische stof, pH-KCl, pH- $\text{CaCl}_2$  en de ongebufferde kationenuitwisselingscapaciteit (CEC). Verder zijn de fosfaat-, magnesium- en natriumtoestand bepaald, zowel met huidige methoden van grondonderzoek als op basis van  $\text{CaCl}_2$ . Het geselecteerde materiaal toonde een verantwoorde verdeling en

bereik over de verschillende grondsoorten en de onderlinge correlaties tussen de verklarende variabelen waren gering, met uitzondering van de logische correlaties tussen de zuurgraad en het gehalte aan vrije koolzure kalk en die tussen de zuurgraad en het gehalte aan organische stof. Daarmee werd een verantwoorde basis gelegd voor de herijking van de bemestingsadviesbasis voor aardappel en tuinboon.

De grondslag van het onderzoek werd gevormd door een multivariaat niet-lineair regressiemodel, waardoor een integratie tussen bodemsoorten op basis van AGO-kenmerken en andere belangrijke opbrengstbepalende factoren kon worden aangebracht. Voor aardappel en tuinboon zijn verschillende modellen opgesteld. De verklarende variabelen waren de AGO-parameters pH-KCl of pH-CaCl<sub>2</sub>, textuur (afslibbare delen of lutum), organische stof, vrije koolzure kalk en de weersgegevens (temperatuursom en neerslagsom gedurende het groeiseizoen), de stikstofbemesting en het ras. Hun invloed op het effect van kaliumtoestand en kaliumbemesting op de opbrengstreactie van aardappel en tuinboon is onderzocht.

Ongeveer 10% van de aanwezige variatie in de data bestond uit variatie binnen de veldproeven en werd bepaald door variatie in kaliumbemesting en de restvariatie. De overige variatie moet worden toegeschreven aan verschillen tussen veldproeven. Deze verschillen worden veroorzaakt door de K-toestand, de fysische, biologische en chemische bodemgesteldheid, het weer, het ras en de teeltomstandigheden. Met de modellen kon bij aardappel tot 65% van de aanwezige variantie worden verklaard; bij tuinboon was dit ten hoogste 20%. Omdat deze percentages gebaseerd zijn op verschillende modellen die variëren in het aantal verklarende variabelen en het aantal waarnemingen, zijn de percentages niet gebruikt als uiteindelijke maatstaf voor de selectie van het meest geëigende model. De keuze berust op het effect en de kwaliteit van verklarende variabelen voor de opbrengst en hun landbouwkundige betekenis.

De landbouwkundige betekenis van de extractie met CaCl<sub>2</sub> blijkt voor aardappel niet gelijk gesteld te kunnen worden met K-HCl-ox, de huidige methode van chemisch grondonderzoek. Het belangrijkste verschil uit zich in het ontbreken van enige invloed van de textuur of CEC op de respons van het gewas aardappel op kaliumtoestand en kaliumbemesting. Daardoor houdt de extractie met CaCl<sub>2</sub> geen rekening met de voorraad aan kalium, hetgeen op met name lichtere gronden tot onverantwoorde bemestingsadviezen kan leiden. Bij tuinboon werd op basis van K-CaCl<sub>2</sub> in het geheel geen relatie vastgesteld tussen de opbrengstreactie van het gewas en de K-bemesting en K-toestand. Introductie van CaCl<sub>2</sub> als methode van grondonderzoek voor met name kaliumbehoeftige gewassen is alleen verantwoord als daarnaast ook een capaciteitsmaat wordt gebruikt; in het bijzonder geldt dit voor de lichtere gronden. Bij de zwaardere kleigronden zal de kaliumvoorraad in het algemeen toereikend zijn. Het gebruik van CaCl<sub>2</sub> bij gewassen die nauwelijks reageren op kaliumbemesting heeft geen landbouwkundige betekenis.

De oorzaak voor het verschil in landbouwkundige betekenis bij aardappel tussen K-CaCl<sub>2</sub> en K-HCl-ox wordt veroorzaakt doordat met CaCl<sub>2</sub> met toename van het gehalte aan klei minder kalium geëxtraheerd wordt. Dit effect treedt niet op bij K-HCl-ox, waardoor bij deze extractie wel rekening gehouden moet worden de textuur en het organische-stofgehalte.

De landbouwkundige betekenis van K-HCl-ox is daarentegen afhankelijk van de gehalten aan lutum (of afslibbare delen) en aan organische stof. Naarmate de grond zwaarder is en/of het gehalte aan organische stof hoger is, neemt de beschikbaarheid van K af en dient zwaarder te worden bemest. Ook met toename van de kationenuitwisselingscapaciteit (CEC) neemt de beschikbaarheid af, waardoor zwaarder met kalium bemest moet worden.

Bij K-HCl-ox is het effect van lutum gelijk aan dat van afslibbare delen. Beide parameters van AGO zijn inwisselbaar.

Naast deze opmerkelijke verschillen qua landbouwkundige betekenis tussen K-CaCl<sub>2</sub> en K-HCl-ox waren er ook overeenkomsten.

Vrije koolzure kalk bleek noch bij K-HCl-ox, noch bij K-CaCl<sub>2</sub> van invloed op het effect van kaliumbemesting en kaliumtoestand op de opbrengstreactie van aardappel.

De pH-KCl vertoonde een abnormaal effect op de opbrengstreactie van aardappel. Tegen de verwachting in, nam de opbrengst toe bij stijging van de pH. Dat bleek te wijten te zijn aan een grondsoorteffect. De opbrengst daalde met toename van de pH-KCl (of pH-CaCl<sub>2</sub>) wel indien per grondsoort een analyse werd uitgevoerd. De gecombineerde analyse daarentegen werd gedomineerd door zeeklei die een hoger opbrengstniveau had dan de overige gronden. Het statistisch resultaat is dan niet passend bij de algemene ervaring met betrekking tot de pH. Uitsluitend bij kleigronden met een pH kleiner dan zeven wordt bij de bepaling van de kaliumbeschikbaarheid rekening gehouden met de pH. De invloed ervan is echter niet groot. Een klein effect dat bij een beperkt deel van de data mogelijk een rol speelt, is niet te kwantificeren bij dit onderzoek op basis van een algemeen model. Aan de pH is dan ook geen verdere weging gegeven.

Stikstofbemesting bleek bij aardappel een beduidend sterkere invloed uit te oefenen op de opbrengst dan kaliumbemesting of kaliumtoestand. Verhoging van de stikstofgift doet de opbrengst sterker toenemen. Daardoor is weliswaar meer kalium nodig om een renderende opbrengst te verkrijgen bij een gegeven kaliumtoestand, maar bijster groot is die toename in kaliumgift niet (ter beeldvorming ca. 50 kg K<sub>2</sub>O per ha meer bij een N-gift van 230 kg N per ha ten opzichte van die van 100 kg N per ha).

De opbrengst nam toe met stijgende temperatuursommen en neerslagoverschotten berekend over de periode tussen het tijdstip van poten en het tijdstip van oogsten. Het neerslagoverschot tussen tijdstip van bemonstering van de bouwvoor en het poten gaf geen aanvullende informatie door toe-



vallige verstrengeling met de stikstofgift. Daardoor kon het effect van kaliumuitspoeling gedurende het winterseizoen op de kaliumtoestand, die bepaald was in het najaar voorafgaande aan de teelt, niet worden vastgesteld.

Het aardappelras bepaalt sterk het opbrengstniveau. Bintje gaf een beduidend hogere opbrengst dan Eigenheimer, Bevelander, IJselster of Voran. Bij de eindanalyses is alleen rekening gehouden met een mogelijk effect op het opbrengstniveau. De aard van het materiaal gaf nl. onvoldoende mogelijkheden om het effect van het ras op de vorm van de opbrengstcurve nadrukkelijk te onderzoeken. De herijkte kaliumbemestingsadviezen voor aardappel of tuinboon zijn daardoor onafhankelijk van het ras.

Slechts bij vijf veldproeven met aardappel bleek zoutschade of chlorideschade op te treden. Dat is onvoldoende om het effect ervan te kwantificeren.

Op basis van de wiskundige beschrijving van de gewasreactie op kaliumbemesting en kaliumtoestand zijn bemestingsadviezen opgesteld op basis van  $K\text{-HCl-ox}$ , textuur en organische stof,  $K\text{-CaCl}_2$  of K-getallen. De sterk fluctuerende prijsverhoudingen voor kaliummeststof (kaliumchloride of patentkali) en consumptie-aardappelen en fabrieks-aardappelen zoals die de laatste decade zich voordeden, leiden tot sterk fluctuerende bemestingsadviezen indien rentabiliteit als grondslag wordt genomen. Om dergelijke fluctuaties uit te sluiten is tevens een kalium-bemestingsadvies opgesteld dat gebaseerd is op opbrengstderving, d.w.z. een kaliumgift waarbij maximaal een opbrengstderving van 1% of 5% wordt verwacht, bij gegeven stikstofbemesting, AGO-parameters en een gemiddeld weertype. Daarnaast zijn bemestingsadviezen opgesteld die gebaseerd zijn op de betrouwbaarheid van de gevonden wiskundige relaties, gegeven een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5%.

Een concept voor het nieuw bemestingsadvies voor kalium voor bouwland wordt voorgesteld. Kaliumbehoefte gewassen, voorzover zij met aardappel kunnen worden vergeleken, kunnen op basis van de resultaten van dit onderzoek worden voorzien van een bemestingsadvies. Zeer kaliumbehoefte gewassen zoals spinazie vergen daarentegen nieuw onderzoek indien tot herijking op basis van  $\text{CaCl}_2$  wordt besloten. De kaliumbehoefte van gewassen die nauwelijks of niet op reageren op kaliumbemesting en/of kaliumtoestand kan bepaald worden op basis van hun opneming van kalium, de mate waarin kalium uitspoelt en de hoeveelheid die door verwerking vrijkomt.

# 1. Inleiding

## 1.1. Achtergrond

De kaliumbehoefte van het gewas op (akker)bouwland en grasland wordt in Nederland bepaald door middel van fysisch-chemisch grondonderzoek. De huidige methode van chemisch grondonderzoek is gebaseerd op een 1:10 (w/v) extractie van luchtdroge grond met 0,1 M HCl en 0,2 M oxaalzuur (K-HCl-ox). De methode is beschreven door Vierveijzer et al. (1979). De methode is een modificatie van de methode van De Vries en Hetterschij (1945) die op een extractie met 0,1 N HCl was gebaseerd. De modificatie berust op de toevoeging van oxaalzuur, waardoor de bepaling van koolzure kalk kon komen te vervallen. Deze modificatie spaarde arbeid en verlaagde de kans op het maken van fouten (Sissingh, 1964). De keuze van een zuur extractiemiddel om de kaliumbehoefte van een gewas vast te stellen is gedeeltelijk gebaseerd op toenmalige vigerende inzichten over de invloed van plantenwortels op de beschikbaarheid van nutriënten. Ook de eenvoudige laboratoriumtechnische uitvoering van de bepaling heeft bijgedragen aan deze keuze (De Vries en Hetterschij, 1945). Bij alle overige nutriënten en bij de bepaling van de zuurgraad van de bodem (pH) worden andere methoden van grondonderzoek gebruikt. Deze methoden van grondonderzoek zijn onderling verschillend qua analytische grondslag en technische uitvoering, hetgeen een omvangrijk pakket aan analysemethoden met zich meebrengt.

Het omvangrijke pakket aan analysemethoden geeft een aanzienlijke werklast voor een routine-laboratorium. Daarnaast belemmert het een efficiënte automatisering van analytische bepalingen. Omdat bovendien de meeste extractiemiddelen uit tamelijk geconcentreerde oplossingen bestaan, veroorzaakt dat een grootverbruik van chemicaliën en resulteert in een aanzienlijke afvalproductie (Houba et al., 1993). Onderzoek van de vakgroep Bodemkunde en Plantenvoeding van de Landbouwniversiteit Wageningen heeft perspectief gegeven voor de toepassing van calciumchloride ( $\text{CaCl}_2$ ) als universeel extractiemiddel voor grondmonsters voor diverse doeleinden (Novozamsky & Houba, 1987; Houba et al., 1990). De gevonden verbanden tussen huidige extractiemiddelen met 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  (1:10 w/v) voor bepaalde nutriënten in Nederland gaven hoge correlaties (Houba et al., 1993). Naast technisch-organisatorische voordelen biedt een universeel extractiemiddel de mogelijkheid om de onderlinge verhouding tussen nutriënten vast te stellen. Met een dergelijke verhouding zou bij de bemestingsadvisering rekening gehouden kunnen worden.

Het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek (BLGG) heeft, gelet op de geschetste perspectieven, besloten om de invoering van  $\text{CaCl}_2$  als basis voor de bemestingsadvisering ter hand te nemen. Het onderzoek ten behoeve van de invoering heeft plaatsgevonden in het kader van het project "Nieuw kompas voor de bemestingsadvisering". Het project beoogt de overgang van huidige methoden van chemisch grondonderzoek naar één universeel extractiemiddel op basis van 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  te bewerkstelligen. Het project is daarbij begrensd tot de bemestingsadvie-

zen voor akkerbouw. Het is niet de doelstelling om het huidige advies volledig te vernieuwen en het te verbeteren. De algemene randvoorwaarde voor al het onderzoek is dat op basis van de landbouwkundige uitgangspunten van de huidige bemestingsadviezen overgeschakeld wordt naar een uniform extractiemiddel. Overgang van conventionele extractiemiddelen naar een uniform extractiemiddel kan niet uitgevoerd worden louter op basis van het verband tussen  $\text{CaCl}_2$  en die van conventionele methoden van chemisch grondonderzoek. Toetsing aan de reactie van het gewas blijft noodzakelijk om de landbouwkundige consequenties en de betekenis van de overgang aan te kunnen geven. In het kader van het genoemde project wordt onderzoek verricht naar de landbouwkundige betekenis van de invoering van  $\text{CaCl}_2$  als universeel extractiemiddel voor alle relevante nutriënten van de bemestingsadvisering en tevens voor de zuurgraad van de akkerbodems (pH) en de overgang van afslibbare delen ( $< 16 \mu\text{m}$ ) naar lutum ( $< 2 \mu\text{m}$ ). Dit rapport geeft de resultaat van onderzoek voor het nutriënt kalium.

## 1.2. Vraagstelling bij de hercalibratie van bemestingsadviezen voor kalium

De omzetting van de huidige analysemethoden voor K naar een methode op basis van een uniforme extractie met  $\text{CaCl}_2$  betekent een principiële wijziging van de bepaling van de hoeveelheden nutriënten die voor het gewas beschikbaar zijn. De betekenis van deze principiële wijziging voor de bepaling van de kaliumbehoefte voor akkerbouwgewassen werd onderzocht. In het onderzoek zijn verschillende fasen te onderscheiden. De eerste fase is afgesloten. In deze fase stond de methode van grondonderzoek centraal. Als een alternatieve methode voor chemisch grondonderzoek voldoende perspectief biedt om een betrouwbare indicatie van de gewasreactie te geven, kan onderzoek starten naar de relatie tussen de kaliumbehoefte van een gewas gerelateerd aan de kaliumtoestand bepaald volgens de alternatieve methode.

Uit het onderzoek van de eerste fase bleek dat de huidige extractiemethode (K-HCl-ox) voor kalium en die op basis van 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  (K- $\text{CaCl}_2$ ) onderling niet veel verschilden (Ehlert & Steenhuizen, 1995). De K-getallen die op de huidige extractiemethoden gebaseerd waren, gaven de beste relaties met het kaliumgehalten in aardappelloof. De voorgestelde K-index gebaseerd op K- $\text{CaCl}_2$  en de ongebufferde kationuitwisselingscapaciteit (CEC) had de slechtste relatie. Weging van bodemkenmerken bij de  $\text{CaCl}_2$ -extractie kan perspectief bieden om de relatie met de gewasbehoefte te verbeteren (Ehlert & Steenhuizen, 1995). Op basis van deze conclusies heeft de Stuurgroep van het project "Een nieuw kompas voor bemestingsadvisering" op indicaties van de werkgroep "Elementenadviesbases" besloten om een hercalibratie (herijking) van de opbrengstreactie van een aantal akkerbouwgewassen aan chemisch grondonderzoek uit te voeren. Dit rapport geeft de resultaten van het onderzoek van herijking,

In het huidige bemestingsadvies voor akkerbouwgewassen worden drie adviezen voor kalium gegeven (Anonymus, 1992). Deze zijn:

1. een gewasgericht advies;
2. een advies voor na te streven kaliumtoestand van de bouwvoor (streefgetal);
3. een advies om een te lage kaliumtoestand te verhogen tot het streefgetal.

De herijking heeft betrekking op het gewasgericht advies. Een dergelijk advies berust op een meting van de kaliumtoestand van de grond en de gewasreactie uitgedrukt in een financiële opbrengst. De huidige adviezen berusten op een bekende relatie tussen de kaliumtoestand en de meststofbehoefte.

Het doel van het nieuwe onderzoek is om de bekende relatie tussen meststofbehoefte en kaliumtoestand van de grond, gebaseerd op huidige methoden van grondonderzoek, te herijken op basis van de alternatieve methode met  $\text{CaCl}_2$  zonder daarbij een geheel nieuwe grondslag voor bemestingsadvies op basis van  $\text{CaCl}_2$  op te stellen. De agronomische condities van de huidige bemestingsadviezen zijn als uitgangspunt genomen. Hierbij zijn de volgende vragen geformuleerd:

1. Wat is de opbrengstreactie van het referentiegewas als functie van de bemesting bij gegeven K-toestand?
2. Welke K-gift is optimaal?
3. Welke landbouwkundige waardering moet aan het analyseresultaat van chemisch grondonderzoek voor K worden toegekend?

Bij het opstellen van de grondslag van dit onderzoek werden aanvankelijk drie gewassen gekozen die representatief zijn voor de belangrijkste gewasgroepen, te weten: spinazie, aardappel en stamslabonen. Spinazie is gekozen als het meest kaliumbehoefte gewas, aardappel als het referentiegewas bij uitstek en stamslabonen als een representant van een weinig kaliumbehoefte groentegewas. Deze selectie is in de loop van het onderzoek gewijzigd (zie hoofdstuk 2).

Het huidige advies kent onderscheid naar grondsoorten. De publicaties van Van der Paauw & Ris (1960), Prummel (1962b) en Boskma & Van der Heij (1964) geven aan dat het verband van de te adviseren gift als functie van de kaliumtoestand binnen een grondsoort niet sterk vast staat. Onderzoek naar de kaliumopname van aardappel bij verschillende kaliumtoestanden toonde aan dat het verband goed samenhang met de K-toestand, maar onafhankelijk was van de grondsoort (Prummel, 1962b & 1977; Boskma & Van der Heij, 1964). In dit onderzoek is gekozen voor een integrale aanpak waarbij geen onderscheid naar grondsoort is gemaakt qua gewasreactie op kaliumbemesting. De grondsoort wordt opgevat als een factor van het bemestingsplan die past onder het grondgerichte bemestingsadvies. Dit laatstgenoemde advies vormt geen onderdeel van de herijking van het gewasgerichte bemestingsadvies.

Het rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt de selectie van de veldproeven en grondmonsters toegelicht. In hoofdstuk 3 worden het bodemvruchtbaarheidsmodel en methoden van statistische analyses gegeven. In hoofdstuk 4 en 5 worden de resultaten van de verdere ontwikkeling van het model voor aardappel besproken. De resultaten met tuinbonen worden in hoofdstuk 6 gegeven. Hoofdstuk 7 geeft de discussie en de conclusies van het onderzoek weer.

## 2. Selectie van veldproeven uit het Technisch Archief van het AB-DLO

### 2.1. Het zoekprofiel

De procedure van de selectie is als volgt verlopen. Veldproeven met kaliumgift als behandeling (factor) zijn verzameld op basis van de kaarten van het Technisch Archief van het AB-DLO (TA). De verzameling is opgebouwd uit eenjarige veldproeven of veeljarige veldproeven met in het eerste jaar het gewenste toetsgewas. Voor het onderzoek bruikbare veldproeven zijn geselecteerd op basis van een zoekprofiel. Een veldproef is geaccepteerd voor het onderzoek als voldoende meetgegevens beschikbaar waren en in het grondmonsterarchief (GA) een grondmonster beschikbaar was.

De voorselectie op basis van het zoekprofiel met 58 kenmerken (variabelen) leverde 337 veldproeven met aardappel op die potentieel bruikbaar waren. De definitieve selectie van veldproeven voor verzameling van grondmonsters ter verzending naar het BLGG is uitgevoerd door condities scherper te formuleren. De bemestingen met stikstof, fosfaat en magnesium dienden bekend te zijn. Stikstof omdat het een essentiële factor is van dit onderzoek; fosfaat en magnesium omdat deze nutriënten conditionerende factoren bij het onderzoek zijn.

Er waren voldoende gegevens van veldproeven met spinazie en stamslaboon om een herijking van het advies uit te voeren. Grondmonsters van deze veldproeven waren daarentegen in onvoldoende mate voorhanden<sup>1</sup>. Stamslaboon, een gewas met een matige kaliumbehoefte, kon vervangen worden door tuinboon. Van dit gewas waren voldoende veldproeven en grondmonsters voor heranalyse beschikbaar. In totaal werden 31 veldproeven geselecteerd op basis van bovengenoemde criteria.

Voor de definitieve selectie wordt verwezen naar de details in hoofdstukken 4 (aardappel) en 6 (tuinboon).

---

<sup>1</sup> Het ontbreken van grondmonsters is vermoedelijk het gevolg van een hernoeming van grondmonsters. Op dit moment worden het technisch archief en het grondmonsterarchief van het AB-DLO ontsloten. Na voltooiing van de database van veldproefgegevens en grondmonsters kan een definitieve weging gemaakt worden over de ontbrekende nummers.

## 2.2. Fysisch-chemische analyses door het BLGG

De geselecteerde grondmonsters zijn conform vigerende methoden van onderzoek op het BLGG geanalyseerd op pH-KCl, organische stof (gloeiverlies) op zand-, dal en veengronden, organische stof (LECO) op overige grondsoorten, koolzure kalk, lutum, afslibbare delen, Pw-getal, K-HCl-ox, KHCl propaan, KHCl acetyleen, MgO, pH-CaCl<sub>2</sub>, P-CaCl<sub>2</sub>, K-CaCl<sub>2</sub>, Na-CaCl<sub>2</sub>, Mg-CaCl<sub>2</sub>, CEC (ongebufferd) en het vochtgehalte. De analysemethoden met CaCl<sub>2</sub> zijn overeenkomstig Houba et al. (1994). De wijziging van het brandergas met kalium is uitgevoerd om gevolgen van wijzigingen in de laboratoriumtechniek te kunnen vaststellen. De K-index is berekend met  $K\text{-index} = 100 * (0.1 * K\text{-CaCl}_2) / (39 * CEC\text{-ongebufferd})$  met K-CaCl<sub>2</sub> als de hoeveelheid kalium geëxtraheerd met 0.01 M CaCl<sub>2</sub> in mmol per kg stoofdroge grond en CEC-ongebufferd als de uitwisselingscapaciteit voor kationen (CEC) in mmol per kg stoofdroge grond. De K-getallen voor de verschillende grondsoorten, pH-KCl en organische-stofgehalten zijn berekend overeenkomstig het huidige bemestingsadvies (Anonymus, 1992).

De relaties tussen oude gegevens van grondonderzoek en gegevens van heranalyse zijn op vergelijkbare wijze bepaald als gegeven door Ehlert & Steenhuizen (1995). De resultaten kwamen overeen met de reeds gerapporteerde resultaten. Korthedshalve wordt voor de betekenis van de overgang van het brandergas en de opslag van grondmonsters voor de extractie van kalium verwezen naar Ehlert & Steenhuizen (1995). Bij heranalyse bleek het niet mogelijk te zijn om alle bepalingen opnieuw uit te voeren. In voorkomende gevallen is gekozen voor kaliumparameters en zijn overige bepalingen niet uitgevoerd. Dat heeft tot gevolg gehad dat gebruik is gemaakt van oude analysecijfers aangevuld met gegevens van heranalyse in geval van ontbrekende waarden. De resultaten van het hier gerapporteerde onderzoek zijn echter zoveel mogelijk gestandaardiseerd naar de analysemethoden zoals die nu door het BLGG worden gehanteerd.

## 2.3. Weersgegevens

Per proefveld zijn gegevens van temperatuur en neerslag verzameld. Daarvoor zijn de gemiddelde temperatuur per decade en de neerslagsom per decade gebruikt van de dichtbijliggende weerstations. De gegevens zijn bewerkt door decaden over relevante perioden te sommeren. Aanvankelijk zijn drie perioden onderscheiden. Deze zijn:

1. de periode tussen het tijdstip van bemonstering van de bouwvoor en het tijdstip van de toediening van kaliummeststof,
2. de periode tussen het tijdstip van toediening van de kaliumbemesting en het tijdstip van poten van de aardappel en
3. de periode tussen het tijdstip van poten en het tijdstip van oogsten.

De neerslagsom voor de periode tussen bemesting en poten is op nul gesteld als er niet bemest is. Immers, als er niet bemest is, spoelt er ook geen kaliummeststof uit tussen het tijdstip van bemesten en poten.

Bij tuinboon is geen onderscheid aangebracht naar neerslagsommen en temperatuursommen. De dataset was daartoe te beperkt van omvang.

Gegevens over straling (lichtintensiteit) zijn alleen over recente perioden voor handen. Vooral bij veldproeven van de vijftiger en zestiger jaren ontbreekt dit gegeven. Daardoor kon aan deze belangrijke parameter helaas geen weging worden gegeven.



### **3. Bepaling van de opbrengstreactie en meststof-behoefte**

#### **3.1. Bemestingsonderzoek op basis van series van veldproeven**

Met meststofbehoefte – klassieke betekenis - wordt de hoeveelheid nutriënt aangegeven die nodig is om een bepaald teeltdoel te bereiken gegeven een bepaalde bodemvruchtbaarheidstoestand. Dat teeltdoel is bij het kaliumbemestingsadvies voor bouwland een economisch optimale opbrengst. Deze economisch optimale opbrengst wordt afgeleid uit een relatie tussen de prijsverhouding van meststofkosten en de meeropbrengst als reactie van het gewas op bemesting bij een gegeven K-toestand. De meeropbrengst is uitgedrukt in opbrengst met sortering of uitbetalingsgewicht. De reactie van het gewas werd in het verleden bepaald door middel van series van eenjarige K-hoeveelheden-veldproeven. Een K-hoeveelhedenveldproef is een eenjarige proef met verschillende trappen (giften) kaliummeststof, veelal in 2-4 herhalingen uitgevoerd met eenzelfde toetsgewas (bijv. aardappel). De veldproeven van een serie zijn aangelegd op percelen die onderling verschillen in kaliumtoestand. Andere parameters van grondonderzoek (pH, organische stof, lutum, afslibbaar, vrije koolzure kalk), welke invloed uit kunnen oefenen op de K-opname, werden door vooronderzoek vastgesteld. De percelen voor de veldproeven werden daarop zo gekozen dat er geen correlatie aanwezig was tussen de K-toestand en andere parameters (pH, organische stof etc). Deze grondslag is als uitgangspunt voor het hier gerapporteerde onderzoek genomen. De teelthandelingen zijn per serie min of meer gelijk en de bemesting met andere nutriënten (N, P, Mg) is 'optimaal'; d.w.z. optimaal naar de vigerende inzichten van bemesting ten tijde van uitvoering van het onderzoek. •

Bij de gewasreactie gaat het doorgaans om de gewasopbrengst. Ook kwaliteitsparameters spelen een rol, bv. bij aardappel de opbrengst aan zetmeel, het optreden van stootblauw (kwalitatieve index), onderwatergewicht en uitbetalingsgewicht. Aan dergelijke kwaliteitsparameters wordt hier geen weging gegeven; dit rapport is volledig gebaseerd op de opbrengstreactie van het veldgewas.

#### **3.2. Mathematische beschrijving van de opbrengstcurve**

De opbrengstreactie van gewassen op kaliumbemesting bij gegeven kaliumtoestand volgt doorgaans een exponentiële toename tot een bepaald maximum. Bij (zeer) hoge kaliumgiften, die gepaard gaan met hoge zoutbelastingen en/of chloridegiften, daalt de opbrengst. Deze daling wordt

in het algemeen met een lineair model beschreven. Er is geen theorie beschikbaar die de echte vorm van de relatie tussen meststofgift en opbrengst functioneel beschrijft. In alle gevallen kiest de onderzoeker een empirisch model waarbij observatie en ervaring bepalend zijn. Vaak wordt gebruik gemaakt van een exponentieel verband en wordt er gesproken van een verband volgens de wet van Mitscherlich. In de literatuur worden o.a. de volgende functionele verbanden gegeven.

- |   |   |
|---|---|
| $Y = b_0 + b_1 * \text{EXP}(b_2 * K)$         | (1) Mitscherlich, 1909  |
| $Y = b_0 + b_1 * K^{0.5} + b_2 * K$           | (2) Heady & Dillon, 1961;<br>Collwell, 1994   |
| $Y = b_0 + b_1 * (K - b_2 -  K - b_2 )$       | (3) Collwell, 1994  |
| $Y = b_0 + b_1 * K + b_2 * K^2$               | (4) Boskma & van der Heij<br>(1964);<br>Neeteson et al., 1987;<br>Richter & Kerschberger,<br>(1991); Collwell, 1994 |
| $Y = b_0 + b_1 * K + b_2 * \text{EXP}(a * K)$ | (5) Neeteson et al., 1987;<br>Collwell, 1994  |
| $Y = a + b * K + c * K^2 + d * K^3$           | (6) Mead & Pike, 1975   |
| $Y = K / (a + b * K + c * K^2) + d$           | (7) Heady & Dillon, 1961  |
| $Y = a * K^b * \text{EXP}(-c * K)$            | (8) France & Thornley, 1984   |

In deze vergelijkingen is Y de opbrengst of een andere responsvariabele. Verder zijn a, b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub> en d parameterschattingen en stelt K de K-gift (kg K<sub>2</sub>O per ha) voor. Vergelijking (1) is de wet van Mitscherlich; vergelijking (3) is beter bekend als het "Broken Stick-model". Vergelijking (8) is ook bekend als de lactatie-curve van Wood.

Hoewel er geen theorie beschikbaar is om een exacte wiskundige beschrijving van de opbrengstreactie te geven, is er wel een verwachting over het verloop van de gewasreactie op toenemende giften aan kalium te geven. In het algemeen zal bij een gegeven K-toestand de opbrengstvermeerdering geleidelijk afnemen bij toenemende K-gift. Bij hoge K-giften en zeker bij gebruik van onzuivere K-meststoffen kan er zelfs sprake zijn van een geleidelijke daling van de opbrengst. Dat betekent dat het "Broken Stick-model" de stijgende opbrengstreactie feitelijk niet goed weergeeft en ook de modellen (1) en (8) kunnen niet dalen. De overige modellen laten wel een daling toe bij

hogere K-giften. Onderzoek van Neeteson et al. (1987) heeft aangetoond dat vergelijking (5) beter voldoet dan het kwadratisch model (4). Er is nl. geen reden om aan te nemen dat de opbrengstreactie symmetrisch is rond het optimum.

Aan de mathematische beschrijving van de opbrengstreactie zijn de volgende eisen gesteld:

1. De vergelijking moet het beschreven beeld van een exponentiële toename en lineaire daling goed kunnen nabootsen.
2. Het moet een aanvaardbaar resultaat geven.

Op basis van deze eisen is gekozen voor een mathematische beschrijving van de opbrengstreactie op kaliumbemesting en kaliumtoestand volgens vergelijking (5).

De maximale opbrengst van een gewas zal afhankelijk zijn van locatie en jaar, zelfs als alle door de mens te beïnvloeden factoren uniform geconditioneerd worden. Deze variatie tussen veldproeven is in het verleden opgevangen door niet de absolute opbrengst maar de relatieve opbrengst ( $Y_{rel}$ ) als responsvariabele te gebruiken. Tegen dit gebruik is een aantal principiële bezwaren aan te voeren (Black, 1993). Deze zijn onder meer:

1. Om  $Y_{rel}$  te berekenen moet de maximale opbrengst verkregen worden, dit is bij lage K-toestanden niet altijd het geval. In die gevallen kan men gedwongen worden tot een - onverantwoorde - extrapolatie.
2. Bij lage tot zeer lage kaliumtoestanden wordt ook met ruime kaliumbemesting niet die opbrengst bereikt als bij hogere kaliumtoestanden.
3. Het gebruik van  $Y_{rel}$  kan statistische bias veroorzaken.
4. Om een economisch optimale opbrengst te berekenen moet  $Y_{rel}$  omgerekend worden naar een absolute opbrengst; deze omrekening introduceert een aanname omdat de te verwachten opbrengst moet worden aangenomen.

Op basis van deze argumenten is afgezien van een analyse op basis van relatieve opbrengsten. Het gebruik van absolute opbrengsten zal echter meer variatie (ruis) met zich meebrengen omdat andere factoren, die mede opbrengstbepalend zijn, hun invloed doen gelden op de opbrengstreactie en -niveau. Onderzocht is of deze extra variatie voldoende verlaagd kan worden door verklarende variabelen op te nemen in de mathematische beschrijving van de opbrengstreactie.

Een analyse op het uitbetalingsgewicht bij aardappel is hier niet uitgevoerd. Het uitbetalingsgewicht is minder gevoelig dan de knolopbrengst, waardoor effecten van kaliumbemesting en kaliumtoestand kleiner zijn dan bij de knolopbrengst (Boskma & van der Heij, 1964).

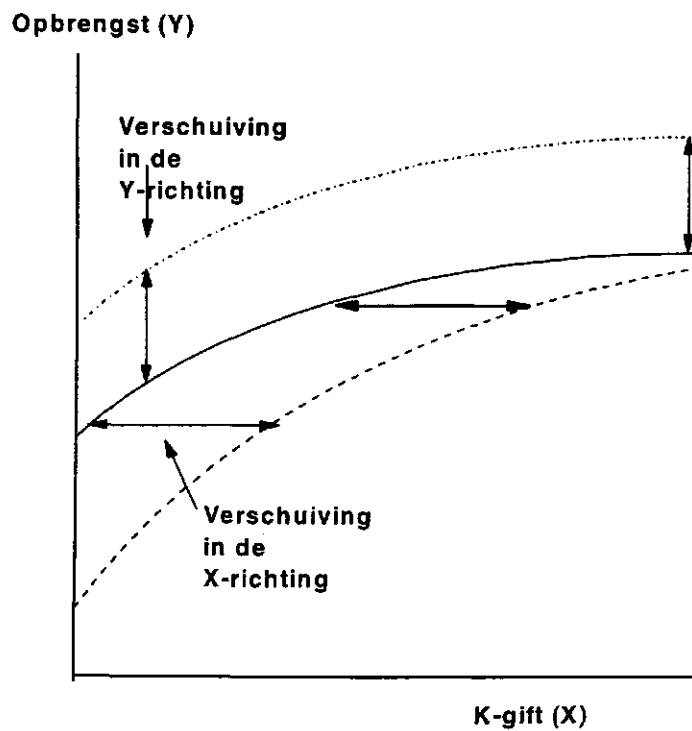
### 3.3. Formulering van het volledige mathematische model

De herijking komt neer op het formuleren van een algemeen statistisch bodemvruchtbaarheidsmodel. Dit model berust op een samenvattende integratie van parameters die de kaliumbeschikbaarheid in de bodem voor het gewas bepalen, teeltmaatregelen en milieufactoren die niet ingesteld kunnen worden. Bij het opstellen van een dergelijk algemeen stochastisch model zijn diverse afwegingen gemaakt. Niet elke opbrengstbepalende factor wordt in bemestingsproeven bepaald; daarnaast laat de aard en omvang van de beschikbare veldproefgegevens niet toe om aan elke opbrengstbepalende factor weging te geven. In het volgende worden de afwegingen gegeven.

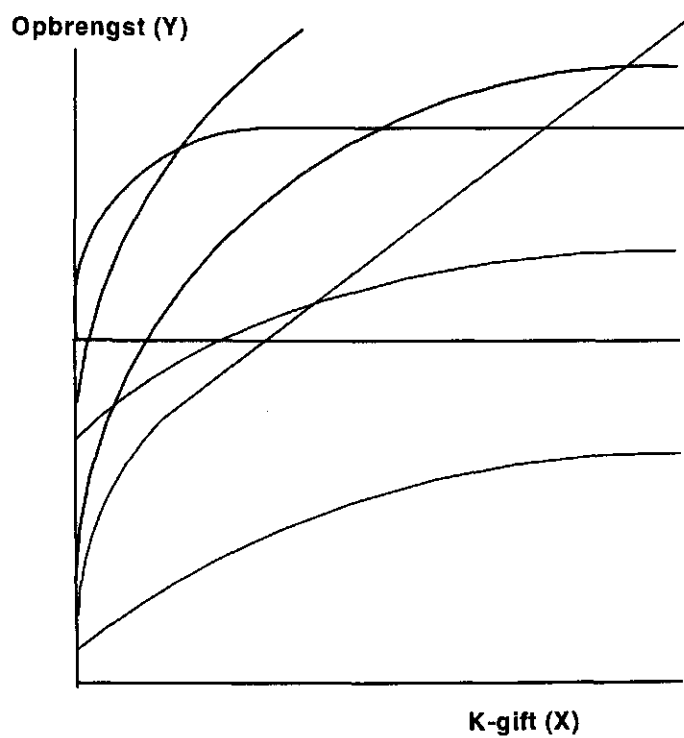
De analyse is gericht op het bepalen van het effect van de K-toestand en K-bemesting op de opbrengst. Andere variabelen kunnen op dit effect invloed hebben uitgeoefend. In dit onderzoek zijn deze variabelen integraal gewogen voorzover meetgegevens dat toelieten. In een aantal nader aan te geven situaties waren invloedrijke variabelen ongeschikt om te worden opgenomen in de modelvorming vanwege hun verstrengeling met ander variabelen of door andere limiterende omstandigheden. In een dergelijke situatie is overgegaan tot standaardisatie. In een vroeg stadium van de analyse werd namelijk al duidelijk dat het databestand te beperkt van omvang zou zijn om een grootschalige analyse (~30 verklarende variabelen) mogelijk te maken. Een omvang van 10 variabelen zou bij aardappel te realiseren zijn; bij tuinboon hooguit 5.

In figuren 1 en 2 worden schematisch effecten van de verklarende variabelen op de opbrengstreactie gegeven. Een variabele kan op drie wijzen effect uitoefenen op de vorm van de curve:

1. De variabele kan de beschikbaarheid van kalium bepalen zonder dat het opbrengstmaximum daardoor verandert. Door een verandering van de beschikbaarheid wordt het opbrengstmaximum bij een lagere of hogere gift bereikt. Dit is een verschuiving in de X-richting (figuur 1).
2. De variabele kan een direct effect hebben op het opbrengstniveau zonder dat de beschikbaarheid van kalium wordt beïnvloed. Het opbrengstmaximum wordt er wel door bepaald maar niet de kaliumgift en/of -toestand waarbij dat maximum wordt bereikt (parallele curve). Dit is een verschuiving in de Y-richting (figuur 1).
3. De variabele kan zowel de beschikbaarheid als het opbrengstmaximum beïnvloeden. Dat wil zeggen dat de curve zowel in X- als in Y-richting kan verschuiven. Daardoor kan de curve elke willekeurige vorm aannemen (figuur 2).



Figuur 1. Een verschuiving op de X-as heeft alleen gevolgen voor de hoogte van de kaliumgift; een verschuiving in de Y-richting heeft daarentegen geen invloed op de kaliumgift.



Figuur 2. Een verschuiving in zowel de X-richting als de Y-richting geeft een grote verscheidenheid aan curven en daardoor een zeer wisselend effect op de hoogte van de kaliumgift.

Een verschuiving in de X-richting door een verklarende variabele wordt in de lineair-exponentiële curve gerealiseerd door die variabele in de exponent op te nemen en een lineaire term voor die variabele in het model op te nemen. Voor de variabele K-toestand wordt dat:

$$Y = a + b * \text{EXP}^{(c*X + d * \text{K-toestand})} + e * X + f * \text{K-toestand} \quad (9)$$

waarbij Y voor de opbrengst staat en X voor de K-gift.

Een verschuiving in de Y-richting is te realiseren door een lineaire term voor een variabele op te nemen in het model en kost dus slechts één parameter.

### 3.4. Verklarende variabelen

De vorm van de opbrengstcurve wordt bepaald door een samenspel van verschillende factoren.

Deze zijn:

- licht,
- temperatuur,
- watervoorziening,
- nutriëntenvoorziening,
- biologische eigenschappen van het gewas,
- teeltomstandigheden,
- teeltdoel (kwantiteit of kwaliteit),
- beschadiging door weersomstandigheden,
- beschadiging door toxisch werkende stoffen.

Bij de formulering van het volledige statistische model is echter alleen rekening gehouden met betrouwbare gegevens en metingen. Gegevens waarover de bemestingsproeven geen uitsluitsel geven, zoals lichtintensiteit (stralingsniveau), hydrologische eigenschappen of stikstofleverend vermogen van de bodem of teeltmaatregelen zoals maat van het pootgoed, zijn dus op voorhand niet gewogen. Aan de volgende factoren is weging gegeven.

#### 1. Bemestingsplan:

- meststofkeuze,
- meststofgift,
- nevenbestanddelen van meststoffen (chloride),
- tijdstip van bemesting,
- wijze van bemesting.

2. Bodemvruchtbaarheidsparameters voorzover deze met fysisch-chemisch grondonderzoek kunnen worden vastgesteld:

- K-toestand,
- de textuur ((lutum (< 2  $\mu\text{m}$ ), afslibbare delen (< 16  $\mu\text{m}$ )),
- organische stof,
- kationenuitwisselingscapaciteit (CEC),
- pH,
- vrije koolzure kalk,
- fosfaattoestand,
- magnesiumtoestand,
- dikte van de teeltlaag.

3. Weersgegevens:

- temperatuur,
- neerslag.

4. Teeltgegevens:

- het gewas en ras (en teelt doel),
- de rotatie (voorvrucht),
- plantverband.

Het te verwachten effect van deze factoren is m.b.v. literatuuronderzoek bepaald en opgenomen in de modelformulering. Tabel 1 geeft een overzicht van de te verwachten effecten voor diverse parameters.

Tabel 1. Overzicht van de effecten van bemesting-, bodemvruchtbaarheids-, milieu- en teeltfactoren op opbrengst.

Factor	Omschrijving	Richting effect
<b>Bemestingsfactoren</b>		
Kaliumgift	Naarmate de meststofgift toeneemt, stijgt de opbrengst van het gewas. Afhankelijk van de voorziening door de bodem zal die stijging op gegeven punt stoppen, de maximale opbrengst is bereikt. Hogere giften kunnen wel leiden tot een hogere nutriëntenopname maar geven geen meeropbrengst. Bij zeer hoge kaliumgiften kan zoutschade ontstaan. De opbrengst neemt dan af (Van der Paauw & Ris, 1960; Prummel, 1962b; Boskma & van der Heij, 1964; Prummel, 1977).	X
Tijdstip van bemesten	In de herfst of op wintervoor gegeven kaliumbemesting heeft een grotere kans om buiten het bereik van de plantenwortels te spoelen of te worden vastgelegd aan bepaalde kleimineralen (kali-fixatie). De beschikbaarheid gaat dan achteruit (Prummel, 1962). Bemesting op wintervoor of vlak voor het poten toegediende meststof heeft een beduidend geringere kans op kaliumuitspoeling of vastlegging dan in de herfst voorafgaande aan de teelt (Prummel, 1984). Na het poten toegediende kaliummeststof heeft het risico dat onder droge weersomstandigheden de plantenwortels het kalium niet kunnen benutten. Beide laatstgenoemde tijdstippen van bemesting hebben een verhoogd risico op zoutschade indien hoge giften worden gegeven.	X (en Y bij schade)
Wijze van bemesten	Kaliummeststoffen worden breedwerpig toegediend. Ervaringen met rijenbemesting zijn beperkt en bij hogere kaliumtoestanden minder gunstig dan bij breedwerpige toediening. Rijenbemesting is niet meegenomen in het onderzoek.	X (en Y bij schade)
Meststofvorm (chloride)	Kaliummeststoffen zijn onder te verdelen in chloridehoudende en sulfaathoudende meststoffen. De effectiviteit van de kalium van beide vormen is even groot. Het verschil tussen beide meststofvormen wordt veroorzaakt door het begeleidend anion: chloride of sulfaat. Hoge chloridegiften verlagen de knolopbrengst (Prummel, 1981a). Het effect is afhankelijk van de N-gift. Bij lage N-giften verhoogde chloride de knolopbrengst, bij hoge N-giften werd de knolopbrengst negatief beïnvloed door chloride (Ter Horst, 1970).	Y



effect

---

**Bodemvruchtbaarheidsparameters**

K-toestand	Bij lagere K-toestand zal meer K gegeven moeten worden om de optimale opbrengst te bereiken (Van der Paauw & Ris, 1955; Prummel, 1981b)	X
	Alternatief: Bij lage K-toestand wordt niet die maximale opbrengst bereikt als bij hogere K-toestanden (Prummel, 1981)	X en Y
CaCO <sub>3</sub>	Kalk remt de opname van kalium. Kalkhoudende gronden zijn kaliumbehoeftiger dan ontkalkte gronden (Van der Paauw, 1947, 1948; Van der Paauw & Ris, 1955). De zogenoemde kalk-kali interactie is niet waargenomen op zandgronden maar mogelijk is dat een gevolg van het ontbreken van hoge pH-KCl d.w.z. hoger dan 5,5 (Sluijsmans, 1956). Het effect van vrije koolzure kalk is minder goed in rekening te brengen (Van der Paauw & Ris, 1955; Sluijsmans, 1956).	X
Textuur	Naarmate de grond zwaarder is (hoger percentage afslibbare delen) is de kaliumbeschikbaarheid voor het gewas geringer, waardoor de kaliumbehoefte hoger wordt (Van der Paauw, 1947; Van der Paauw & Ris, 1955; Venekamp & Ris, 1953; Boskma & Van der Heij, 1964; Mulder, 1973).	X
Organische stof	Toename van het gehalte aan organische stof verlaagt de beschikbaarheid van kalium (Van der Paauw, 1947; Van der Paauw & Ris, 1960, 1962; Boskma & van der Heij, 1964). Het effect werd alleen vastgesteld bij zand-, dal- en veengronden. Op kleibouwland werd geen belangrijk effect gevonden (Van der Paauw, 1958). Het effect van organische stof op de knolopbrengst op venige kleigrond was heel beperkt (Boskma & Van der Heij, 1964).	X
pH	De maximale opbrengst is pH-afhankelijk. Aardappelen reageren met een opbrengstdaling bij pH-stijging (Boskma, 1967). Bij lage pH-toestand wordt neemt de gewasreactie al af bij lage K-toestand. Bij hogere pH moet de kalitoestand hoger zijn (Ferrari, 1950). Naar verwachting zal de ligging van het optimum niet veranderen. De kalireactie op zandgrond is bij hoge pH groter dan bij lage pH (Sluijsmans, 1956).	X en Y
Kationenuitwisselingscapaciteit (CEC)	Als maat voor het kationenbindend vermogen geeft de CEC de gecombineerde effecten van textuur en organische stof weer. Met toename van de CEC zal, overeenkomstig de	X

---

---

	effecten bij textuur (afslibbare delen of lutum) en organische stof, de beschikbaarheid van kalium afnemen. Naarmate de CEC hoger is zal er dus zwaarder moeten worden bemest.	
N	De knolopbrengst neemt toe met stijgende stikstofgiften waarna de opbrengststijging afneemt bij hogere giften. Bij hoge stikstofgiften daalt de opbrengst (Neeteson & Wadman, 1987).	Y
	De grondslag van het huidige advies is dat verschil in stikstofbemesting geen belangrijk effect heeft op de kaliumbehoefte (Henkens, 1981). Het effect van de N-gift op de vorm van de opbrengstcurve is echter onderzocht.	X en Y
P	De knolopbrengst neemt toe met stijgende fosfaatgiften (Van der Paauw & Ris, 1955; Ris, 1972) totdat andere groei-factoren limiterend worden (Mitscherlich, 1909).	Y
Mg	Magnesium kan sterk de opbrengst bepalen. Interacties tussen pH, K en Mg zijn vastgesteld met name bij sub-optimale voor-ziening van magnesium (Sluijsmans, 1956). Op de kleigronden en loess speelt de magnesiumvoorziening geen rol; het nutriënt is voldoende aanwezig (Anonymus, 1992).	(X en) Y
Bouwvoordikte	Een dunne bouwvoor bevat minder kalium dan een dikkere bouwvoor bij gelijke kaliumtoestand. Een dikkere bouwvoor zou dus bij eenzelfde kaliumgehalte minder zwaar met kalium kunnen worden bemest dan een dunne bouwvoor. Prummel (1978) vond inderdaad aanwijzingen voor een iets geringe kaliumbehoefte bij een dikkere bouwvoor. Ondanks aanzienlijke verschillen in bouwvoordikten was het effect op de kalium-behoefte beperkt. Bij de interpretatie van het grondonderzoek op basis van het gehalte aan kalium in de grond is het volgens onderzoek van Prummel (1978) geoorloofd verschillen in bouwvoordikte buiten beschouwing te laten.	X
<b>Milieufactoren</b>		
Neerslag	Een betere watervoorziening betekent een hogere opbrengst. Hoe hoger de vochttrap, hoe hoger de opbrengst. De vochttrap is in redelijke mate lineair met de vochtvoorziening van het gewas (Boskma & De Smet, 1968). Het K-getal is belangrijker dan de vochttrap. Naarmate meer neerslag valt, neemt de kans op verlaging van de kaliumtoestand van de grond toe als gevolg van kaliumuitspoeling (Van der Paauw, 1966). Hoge bodemvruchtbaarheidstoestanden dempen de invloed van neerslagoverschotten.	X en Y

---

		effect
Temperatuur	De optimale temperatuur ligt tussen de 20 en 25° C. Het optimum hangt af van de lichtintensiteit: hoe hoger de lichtintensiteit, hoe hoger de optimum-temperatuur. Vooral boven de 30°C neemt de fotosynthesesnelheid sterk af (Van Loon et al., 1993). Een negatieve correlatie met de opbrengst is gevonden met temperatuursommen bij dagtemperaturen boven 85°F of dagtemperaturen beneden de 48°F (Iritani, 1963). De temperatuurbehoefte is afhankelijk van het groeistadium. Bodemtemperatuur bepaalt mede de opbrengst; hierover is geen informatie beschikbaar bij bemestingsproeven.	Y
<b>Teeltfactoren</b>		
Ras	Tussen verschillende rassen bestaan grote verschillen in opbrengst-niveaus. De verschillen zijn onder meer toe te schrijven aan de rijptijd (teeltduur), de prestatie op bepaalde grondsoorten, plantdatum, oogstdatum en interacties met groeifactoren. Op basis van Henkens (1981) is aangenomen dat de effecten van rassen op de kaliumbehoefte van het gewas dusdanig beperkt zijn dat gegeven een kaliumtoestand voor ieder ras een gelijkkluidend kaliumbemestingsadvies geldt.	Y
Plantverband	De knolopbrengst neemt toe met toename van de plantdichtheid maar bij hoge plantdichtheden treedt er een daling op (Van Burg, 1967; Van Loon et al., 1993).	X en Y

### 3.5. Het volledige model

Op basis van de voorafgaande paragrafen kan het volledige model als volgt worden opgesteld:

$$\begin{aligned}
 Y = & a + c * K\text{-gift} + d * K\text{-toestand} + e * N\text{-gift} + f * pH + g * \text{Organische-stof} + h * \text{Textuur} \\
 & + i * \text{Kalk} + j * \text{Temperatuur} + l * \text{Neerslag} + m * P\text{-gift} + n * Mg\text{-gift} + o * \text{Ras} + \\
 & p * \text{Bouwvoordikte} + q * Cl\text{-gift} + r * \text{Plantverband} + \\
 & b * \text{EXP} (K + s * K\text{-toestand} + t * N\text{-gift} + u * pH + v * \text{Organische-stof} + w * \text{Textuur} + x * \text{Kalk} \\
 & + y * \text{Neerslag} + z * \text{Bouwvoordikte})
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Hierin staat Y voor de opbrengst en de a, b, c...z voor de te schatten parameters voor verklarende variabelen.

Bij één ras komt dit neer op 26 te schatten parameters. Bij toevoeging van een ander ras verhoogt het aantal te schatten parameters teikens met één. Om al deze parameters goed en voldoende onafhankelijk te kunnen schatten is een omvangrijke dataset vereist. Omdat van te voren bekend was dat er onvoldoende informatie aanwezig zou zijn om alle gegeven parameters te schatten is door standaardisatie van verklarende variabelen het model vereenvoudigd en geconditioneerd.

Kalium-fixatie is niet bij het onderzoek betrokken. Een grond wordt K-fixerend genoemd als de K-HCl kleiner is dan 0,015% en meer dan 60% afslibbare delen bevat (Prummel, 1964). Het aantal veldproeven dat aan deze conditie voldeed was te laag om daaraan weging te geven.

### 3.6. Methoden van statistische analyse

De analyses zijn uitgevoerd met het statistisch pakket Genstat 5, release 3.2 (Genstat 5 Committee 1993). De parameters van het model kunnen op basis van de dataset worden geschat, volgens de methode van de grootste aannemelijkheid (maximum likelihood) met behulp van de procedure FITNONLINEAR. Hierbij wordt uitgegaan van één variantie-term in het model. Formeel komt dit niet overeen met de structuur van de data waarbij alleen de kalium-gift varieert binnen de proefvelden en alle andere verklarende variabelen alleen variëren tussen de proefvelden. In de verkennende analyses en in de vergelijking van modellen met verschillende variabelen voor de kaliumtoestand is genoeg genomen met deze modelformulering. In het uiteindelijke model, op basis waarvan het bemestingsadvies wordt gegeven, zijn de verschillende bijdragen aan de variantie wel onderscheiden. Er zijn drie variantie-termen in het model opgenomen:

1. variantie tussen proefvelden in het lineaire deel van het model,
2. variantie tussen proefvelden in het exponentiële deel en
3. de variantie binnen proefvelden <sup>2</sup>.

Een dergelijk niet-lineair model met meerdere variantie-termen kan niet eenvoudig en rechtstreeks aangepast ('gefit') worden. In de procedure REML (REstricted Maximum Likelihood) kunnen lineaire modellen worden berekend waarbij rekening wordt gehouden met meerdere bronnen van variatie in de data (variantie afkomstig van verschillende strata door ongebalanceerde proeven analoog split-plots) en wordt een schatting van die variantie-componenten gegeven. Met FITNONLINEAR kunnen goede beginschattingen verkregen worden van de parameters van het model. Door REML te draaien op een lineaire transformatie van het niet-lineaire deel van het model (verkregen via Taylor-reeks-ontwikkeling), startend met beginschattingen voor de niet-lineaire parameters, wordt een nieuwe set van parameterwaarden verkregen. Door de beginschattingen aan te passen en REML iteratief te draaien tot de parameters niet meer veranderen, zijn de uiteindelijke parameterschattingen en bijbehorende standaardfouten (se's) verkregen.

De opbouw van de verzameling veldproeven met tuinboon was homogeen en beperkt qua aantal verklarende variabelen. Er was daar geen ruimte om verschillende bronnen van variatie te scheiden.

---

<sup>2</sup> Variantie binnen proefvelden is de variatie op het laagste niveau, die eenvoudig met een ANOVA-analyse per veldproef is uit te rekenen en de rest-varianties te middelen.

## 4. Resultaten met aardappel

In dit hoofdstuk worden de resultaten gegeven van de analyses gebaseerd op de gegevens van veldproeven met het gewas aardappel.

De selectie veldproeven omvatte aanvankelijk 228 veldproeven. Het bestand was opgebouwd uit verklarende variabelen waarbij er - voorzover mogelijk - geen relevante correlatie aanwezig was tussen parameters van algemeen grondonderzoek (AGO) en K-HCl-ox of K-CaCl<sub>2</sub> (tabel 2). Een negatief verband tussen pH en organische stof of pH en vrije koolzure kalk is echter nooit volledig uit te sluiten bij een gegevensverzameling gebaseerd op verschillende grondsoorten. De relatief hoge waarden van de correlatiecoëfficiënten voor de correlaties tussen pH-KCl en vrije koolzure kalk en pH-KCl en organische stof zijn dan ook geaccepteerd. Oriënterende analyses zijn uitgevoerd of deze correlaties tot onacceptabele parameterschattingen en/of instabiliteit zou leiden. Bepalingen op basis van calciumchloride waren sterk gecorreleerd met parameters van AGO gebaseerd op huidige methoden van grondonderzoek (K, pH). De stikstofgift was - zoals verwacht - sterk gecorreleerd op de opbrengst (response variabele!). De verklarende variabelen waren onderling ongecorreleerd hetgeen een aantrekkelijke grondslag vormde voor opname van deze variabelen in het model. Daarnaast bleek er geen relatie aanwezig te zijn tussen de stikstofgift met het proefjaar of ras (data niet gegeven). De spreiding was in dit opzicht aantrekkelijk groot.

Op basis van het volledige databestand zijn de eerste verkenningen met het geformuleerde bodemvruchtbaarheidsmodel uitgevoerd. De analyses gaven een merkwaardig beeld. Na zorgvuldige analyse bleek dit het gevolg te zijn van een sub-optimale fosfaatvoorziening van het gewas (d.w.z. lage tot vrij lage fosfaatoestanden gepaard gaande met een te lage fosfaatbemesting). Daarnaast bleken bij enige veldproeven de Mg-toestand en Mg-bemesting te laag te zijn en verder leverde de heranalyse op AGO-parameters niet aan de oude analyses gelijkwaardige resultaten op. De standaardisatie en conditionering van het databestand wordt in de volgende paragraaf behandeld.

### 4.1. Standaardisatie en conditionering van het databestand

#### 4.1.1. Stikstof

Bij de bepaling van de totale hoeveelheid beschikbare stikstof is in eerste instantie niet alleen gekeken naar de hoeveelheid minerale kunstmeststikstof maar ook naar de bemesting met organi-



sche meststoffen en naar de voorvrucht. De verdeling van de voorvrucht bij het gewas aardappel was zeer divers waardoor hun effect op de stikstofbeschikbaarheid niet verantwoord kon worden gekwantificeerd en daardoor niet kan worden gewogen.

De stikstofgift is berekend uit de minerale stikstofgift (som van eerste en tweede N-gift) en de stikstofwerking van stalmest. De correctie voor de stikstofwerking van stalmest berust op de aangegeven gift stalmest, een aangenomen gehalte aan N in de stalmest (5,5 kg N per ton stalmest) en een werkingscoëfficiënt waarbij rekening is gehouden met het tijdstip van bemesting conform de Adviesbasis voor de Bemesting van Grasland en Voedergewassen (1994). Deze correctie is uiteindelijk bij vier veldproeven uitgevoerd (bereik van de correctie 12-44 kg N per ha).

De stikstofbemesting werd toegediend met de meststoffen kalkammonsalpeter, mengmeststoffen (NPK, NP), kalisalpeter, ammoniumnitraat, chilisalpeter, fosfaatammonsalpeter, en zwavelzure ammoniak. Kalkammonsalpeter was dominant aanwezig.

#### 4.1.2. Sub-optimale fosfaatvoorziening

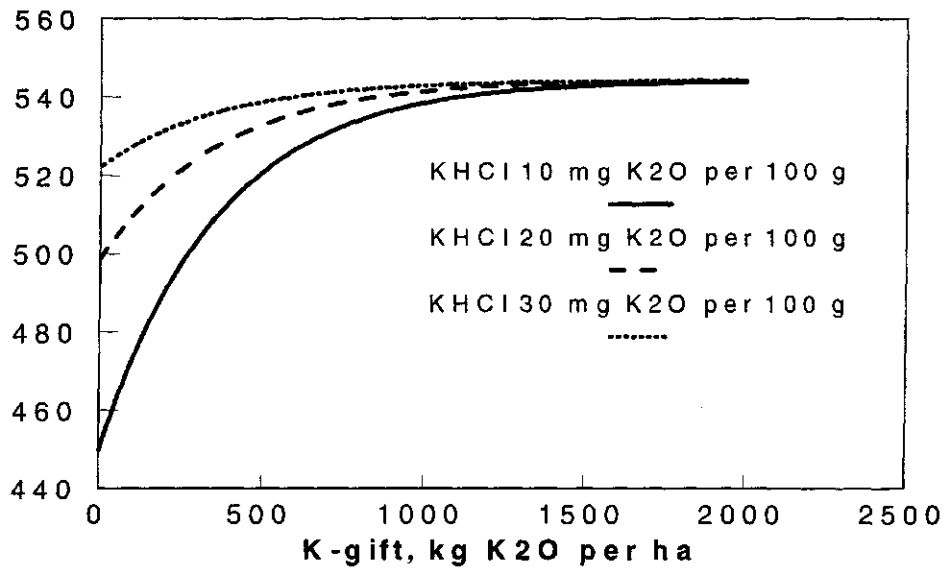
Bij veel veldproeven was de fosfaattoestand bekend, evenals de fosfaatgift. De fosfaattoestand was gemeten als P-getal, P-citroenzuur, P-Al-getal of als Pw-getal. De diverse P-toestanden zijn bij de voorselectie genormaliseerd naar een gelijklopende waardering van de fosfaattoestand. Hierbij is gebruik gemaakt van oude bemestingslijnen (Landelijke Adviesbasis Grondonderzoek. Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. Groningen, schema's voor het bemestingsadvies op basis van grondonderzoek ten dienste van landbouwgronden) en van eigen materiaal dat de basis vormt van het huidige bemestingsadvies voor aardappelen.

Bij de eerste verkennende analyses bleek de fosfaattoestand invloed uit te oefenen op de relatie tussen opbrengst met K-gift en K-toestand. Pas bij zeer hoge kaliumgiften werd de maximale opbrengst bereikt (figuur 3). Door veldproeven met een sub-optimale fosfaatvoorziening te verwijderen uit de dataset, werd bij beduidend lagere K-giften al de maximale opbrengst bereikt (figuur 4).

Veldproeven zijn geaccepteerd als de fosfaattoestand bekend was, het verschil tussen de gegeven P-gift en de geadviseerde gift groter of gelijk was aan nul. Zeer tot vrij lage fosfaattoestanden zijn uitgesloten. De fosfaattoestand diende bekend te zijn. Hiervan is afgeweken bij veldproeven op dalgrond. De fosfaattoestand gemeten als P-CaCl<sub>2</sub> bleek extreem hoog te zijn.

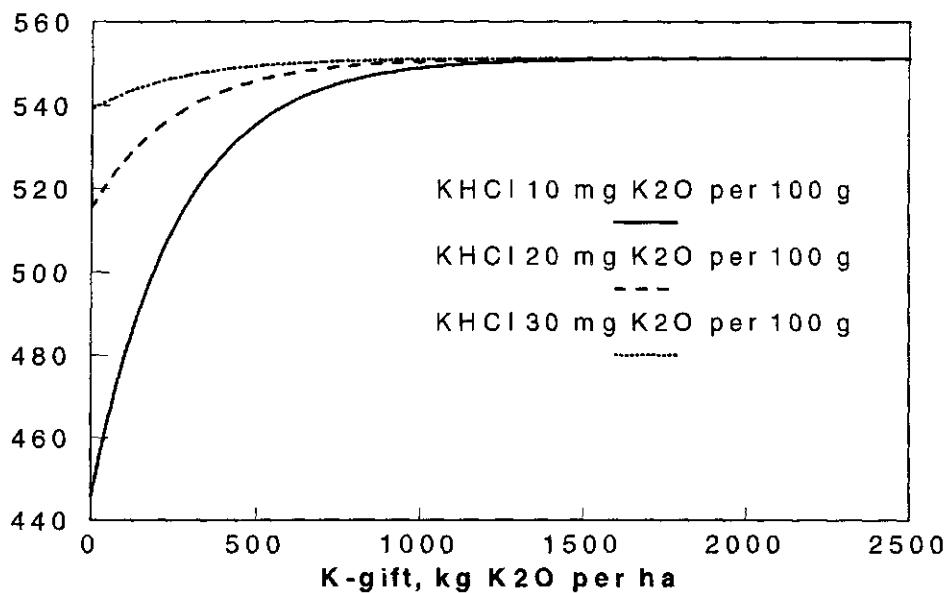
Natuurfosfaat als meststof is uitgesloten. Thomasslakkenmeel is geaccepteerd als effectieve P-meststof. Er is niet geselecteerd op de effectiviteit van de wateroplosbare P-meststoffen (superfosfaat, tripelsuperfosfaat, mengmeststoffen, ammoniumfosfaten en fosfaatammonsalpeter).

### Opbrengst knol, kg per are



Figuur 3. Reactie van aardappel op kaliumbemesting bij drie kaliومتstanden gebaseerd op de volledige selectie van veldproeven met aardappel inclusief veldproeven met een sub-optimale fosfaatvoorziening.

### Opbrengst knol, kg per are



Figuur 4. Reactie van aardappel op kaliumbemesting bij drie kaliومتstanden gebaseerd op een deelverzameling van veldproeven met aardappel zonder veldproeven met een sub-optimale fosfaatvoorziening.



Er is gestreefd om de fosfaattoestand - onder de conditie dat ten minste volgens de vigerende adviesbasis werd bemest - op te nemen in het algemene model, maar door de voorselectie was het aantal beschikbare observationele eenheden te beperkt om een verantwoorde analyse toe te laten.

### 4.1.3. Magnesium

Om elke onzekerheid over sub-optimale nutriëntenvoorziening uit te sluiten zijn daarop ook veldproeven uit het bestand verwijderd waarvan geen definitief uitsluitsel verkregen was over de magnesiumvoorziening. Alleen bij diluviaal zand, dalgrond en loess is rekening gehouden met de magnesiumtoestand van de grond. Voor overige gronden is verondersteld dat de magnesiumhuishouding toereikend was. Op basis van cyclo 4233 van C.M.J. Sluijsmans (1965) 'Verantwoording van een nieuw adviesschema voor de Mg-bemesting van bouwland op zand- en dalgrond' van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB) is het selectie criterium vastgesteld. De veldproef valt af wanneer de MgO-toestand lager dan 45 mg MgO per kg grond (waardering goed) is en er minder dan volgens dat advies is gegeven.

Er is niet gelet op de effectiviteit van de Mg-meststof. Bij twee-derde van de veldproeven was geen magnesiumbemesting uitgevoerd. De Mg-toestand was toereikend. Bij een derde van de veldproeven was een magnesiumbemesting uitgevoerd met kieseriet. Bij één veldproef was een magnesiumhoudend Kenica-produkt gebruikt. Deze laatste meststof is geaccepteerd. Bij acht veldproeven bleek geen gegevens over de MgO-toestand voorhanden. Deze veldproeven zijn uit de selectie geschrapt.

Het verwijderen van de veldproeven met een sub-optimale P- en Mg-voorziening leidde tot een aanzienlijke kleiner bestand. Toch had dit geen gevolgen voor de onderlinge relaties tussen de verklarende variabelen. De correlatiecoëfficiënten bleven van eenzelfde orde van grootte (tabel 3). Wel had de reductie van het aantal veldproeven gevolgen voor de verdeling over de grondsoorten. Hoewel het aantal veldproeven op zeeklei en alluviaal zand aanzienlijk erdoor verlaagd werden, had de reductie met name voor zandgronden en in mindere mate voor dalgronden de grootste gevolgen. Hun aantal werd aanzienlijk gedecimeerd (tabel 4). Veengrond verdween uit het bestand. Als groep zand- en dalgronden zijn de 19 veldproeven waardevol, maar analyses per grondsoort werden daardoor uitgesloten.



Tabel 4. Verdeling van de veldproeven over grondsoorten, voor en na verwijdering van veldproeven met een sub-optimale fosfaat- en magnesiumvoorziening, na standaardisatie naar breedwerpige toediening en herfstbemesting van kalimestoffen, na het verwijderen van veldproeven met afwijkende gehalten aan afslibbare delen en standaardisatie naar de aardappelrassen Bintje, Bevelander, IJselster, Voran en Eigenheimer.

Grondsoort	Na voorselectie	Definitieve selectie
Zeeklei inclusief alluviaal zand	152	110
Dekzand	12	2
Rivierklei	22	12
Loess	9	5
Dalgrond	34	17
Veen	1	0
Totaal	230	146

#### 4.1.4. Algemeen grondonderzoek (AGO)

Bij heranalyse werd bij een aantal grondmonsters geen verantwoorde overeenstemming gevonden tussen oude gegevens van de textuur en die na heranalyse. Een eenduidige oorzaak hiervoor is niet te geven (niet alleen kan een verkeerd monster van de plank gehaald zijn, ook kunnen er analysefouten gemaakt zijn; tenslotte kan de omvang van het grondmonster hier te klein zijn geweest (fijn stof bij kleine monsters)). Bij het ontbreken van overeenstemming zijn de gegevens van de desbetreffende veldproeven uit het databestand verwijderd.

## 4.2. Karakterisering van de geselecteerde veldproeven

Na selectie op optimale P- en Mg-voorziening, rassen met een voldoende aantal waarnemingen, bemesting op wintervoor en voorjaar, overeenstemmende analyseresultaten en breedwerpige meststoftoediening bleven 146 veldproeven beschikbaar voor verder onderzoek. De volgende sub-paragrafen karakteriseren de deelverzameling.

### 4.2.1. Bereik van de verklarende variabelen

Proeven zijn afkomstig van het tijdsbestek 1947-1977. De dataset bestaat uit in totaal 1713 observationele eenheden. Het bereik van de verklarende variabelen is in alle gevallen goed te noemen (tabel 5).

Het opbrengstniveau heeft het aantrekkelijke bereik 10-78 ton per ha; dat wil zeggen van zeer laag tot bijna de potentiële productie van 80 ton per ha.

Het bereik van de K-gift en K-toestand is goed en ook de gegevens van algemeen grondonderzoek vertonen een goede en representatieve verdeling. Het bereik van de N-gift is beperkter maar omvat wel het landbouwkundig relevante traject waarbinnen de belangrijkste repons te verwachten is.

### 4.2.2. Aardappelras

De rassen in de selectie zijn gegeven in tabel 6. Aanvankelijk waren ook Alpha, Ambassadeur, Eersteling, Furore, Irene, Libertas, Meerlander, Noordeling, Record, Rode Star, Thorna en Ultimus vertegenwoordigd maar het aantal waarnemingen was te klein om hier rekening mee te houden.

### 4.2.3. Voorvrucht

De voorvrucht was zeer divers. In de uiteindelijke selectie waren er in totaal 42 verschillende voorvruchten. Ondergebracht tot gewasgroepen geeft tabel 7 de relatieve verdeling van de voorvrucht binnen de uiteindelijke selectie van data weer. Aan de voorvrucht wordt in het model verder geen weging gegeven.

## 4.3. Vereenvoudiging van het model

Het volledige model omvat 26 verklarende variabelen. Een dergelijk aantal is alleen dan in het model op te nemen als er voldoende data zijn met een voldoende groot bereik en evenwichtige verdeling. De selectie van 230 veldproeven met een totale omvang van 3205 observationele eenheden is in principe daarvoor toereikend. Verkenningen van de data gaven beperkingen van de verzamelde data aan, hetgeen consequenties had voor de formulering van het algemeen bodemvruchtbaarheidsmodel. Zo was het aantal bruikbare observationele eenheden verlaagd door o.a. uitsluiting van sub-optimale P- en Mg-voorziening. Om een verantwoorde analyse uit te voeren

diende het aantal verklarende variabelen te worden verlaagd. Dit is gedeeltelijk uitgevoerd door een vergaande standaardisatie aan te brengen. Daarnaast zijn verkenningen uitgevoerd om het volledige model verder te vereenvoudigen.

Tabel 5. Overzicht van het bereik van de verklarende en conditionerende variabelen.

Variabele	Gemiddeld	Mediaan	Minimum	Maximum	Variantie	Aantal
Knolopbrengst, [kg/are]	401.2	397.0	109	778.0	11285	1675
K-gift, [kg K <sub>2</sub> O/ha]	201.5	150	0	2000	73217	1713
K-HCl, [mg K <sub>2</sub> O/100 g]	15.86	14	3	49.0	38.58	1713
K-getal	17.43	16.64	2.61	58.4	44.63	1624
K-CaCl <sub>2</sub> , [mg K/kg]	66.38	58.97	19.27	176.1	898.7	1660
K-index	0.1698	0.1510	0.049	0.45	0.0059	1660
Organische stof, [%]	5.301	2.600	1	23.2	24.3	1713
Afslibbaar, [%]	25.76	24	3	81.0	315.2	1713
Lutum, [%]	17.07	15.70	1.60	51.7	142.3	1702
CaCO <sub>3</sub> , [%]	3.323	2.700	0	13.0	11.3	1713
pH-KCl	6.454	6.880	4.10	7.70	1.11	1713
Bouwvoor, [cm]	20.03	20	12	30	13.0	1641
CEC, [meq/100 g]	16.97	14.55	0	45.6	110.9	1434
Karakterisering op basis van calciumchloride						
pH-CaCl <sub>2</sub>	6.558	7.12	4.08	7.59	1.24	1703
P-CaCl <sub>2</sub> , [mg/kg]	4.036	1.84	0.29	30.89	29.5	1628
Na-CaCl <sub>2</sub> , [mg/kg]	40.81	29.35	4.84	232.1	1021	1538
Mg-CaCl <sub>2</sub> , [mg/kg]	82.13	58.18	8.16	348.2	4553	1665
Neerslagsom, [mm]	345.2	322.1	124.5	561.5	10574	1713
Temperatuursom, [°C]	224.6	224.4	109.4	279.6	512.3	1713
N-gift, [kg N/ha]	138.4	138	0	260	2708	1713
P-gift, [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha]	113.9	90	0	388	6524	1687
MgO-gift, [kg MgO/ha]	33.09	0	0	150	3658	1713
Chloride-gift [kg Cl/ha]	0	4.5	0	937	39790	1713
Plantverband [planten/ha*1000]	40.7	41.7	32.5	48.1	6.38	1713

Tabel 6. Aandeel per ras in de dataverzameling.

Ras	Aantal
Bintje	724
Bevelander	479
IJselster	159
Voran	298
Eigenheimer	53

Tabel 7. Relatieve verdeling van de voorvrucht in gewasgroepen in procenten.

Granen	48.7
Bieten <sup>1</sup>	9.3
Grasland	9.3
Leguminosen <sup>2</sup>	10.3
Overige <sup>3</sup>	12.4

<sup>1</sup> Inclusief stoppelknollen

<sup>2</sup> Landbouwerwten, bonen, klaver, luzerne, kapucijners

<sup>3</sup> Uien, kool, blauwmaanzaad, vlas, koolzaad

### *K-gift*

Door standaardisatie zijn alleen chloridehoudende zouten (K-40 of K-60) en sulfaathoudende kaliumzouten (zwavelzure kali en patentkali) opgenomen in het onderzoek waarbij bemest is op wintervoer. Omdat de efficiëntie van deze meststoffen qua kaliumeffect gelijkwaardig is, kan het effect van de meststofvorm toegespitst worden op het effect van het nevenbestanddeel, nl. de gift aan chloride. De veronderstelling was dat hoge kaliumgiften leiden tot een afname van de opbrengst als gevolg van zout- en chloride-schade. Om dit te verifiëren is per veldproef de K-gift uitgezet tegen de opbrengst en is beoordeeld of het beeld van de daling met data kon worden aangetoond. Zo'n 44 veldproeven hadden K-giften van 800 kg K<sub>2</sub>O per ha of hoger (bereik 800-2000 kg K<sub>2</sub>O per ha). In slechts 5 van de 230 veldproeven (volledige dataset!) bleek er sprake te zijn van een (lichte) daling. Dit aantal is te gering om daar weging aan te geven bij de modelvorming. Dit betekent dat de term  $q \cdot \text{Chloride}$  uit het model verdwijnt. Tevens verdwijnt voor de K-gift de lineaire term uit het model ( $c \cdot \text{K-gift}$ ). Dit heeft als consequentie dat we met betrekking tot de K-gift overstappen van een lineair-exponentieel model naar een exponentieel model. In een dergelijk model betekent een verschuiving in de X-richting (par. 3.3), dat een variabele alleen in het exponentiële deel van het model staat. De variabelen die de beschikbaarheid van kalium bepalen zonder dat het opbrengstmaximum verandert staan nu dus alleen nog in het exponentiële deel en

kosten daarmee nog maar 1 parameter. Het resultaat is dat de variabelen organische stof, textuur, kalk en de bouwvoordikte in het lineaire deel van het model komen te vervallen.

#### *K-toestand*

Het huidige bemestingsadvies is gebaseerd op de grondslag dat bij lage kaliumtoestand ondanks ruime kaliumbemesting niet eenzelfde opbrengst bereikt wordt als bij hogere kaliumtoestanden. Deze grondslag is onderzocht op basis van de beschikbare gegevens. Uit de vooranalyses bleek dat er geen basis op grond van de beschikbare gegevens aanwezig was om het idee te bevestigen. Dat betekent dat de kaliumtoestand alleen effect had op de vorm van de opbrengstcurve maar niet op het opbrengstmaximum. Het gevolg hiervan was dat de term d\*K-toestand niet meer in het model is opgenomen. De praktische consequentie is dat kalium van meststoffen en kalium uit de grond voor het gewas een gelijkwaardige landbouwkundige effectiviteit hebben.

#### *pH en vrije koolzure kalk*

Bij het opstellen van het algemeen bodemvruchtbaarheidsmodel zijn de uitgangspunten gebruikt die gelden voor het huidige kaliumbemestingsadvies. In het huidige bemestingsadvies, gebaseerd op de zogenoemde kaligetallen, wordt bij de kleigronden onderscheid gemaakt naar gronden met een pH groter of kleiner dan 7. De landbouwkundige interpretatie berust de zogenoemde kalk-kali-interactie. Naarmate er meer calcium in de bodemoplossing aanwezig is zal de kaliumpopname door het gewas worden belemmerd. Een hogere calciumgehalte in de bodemoplossing wordt gereflecteerd in een hogere pH. Daarnaast zijn de pH en vrije koolzure kalk onderling sterk gecorreleerd. De betekenis van beide parameters is niet gelijkwaardig. Van der Paauw & Ris (1955, 1960) en Boskma & Van der Heij (1964) hebben twee interpretaties gegeven aan de pH:

1. de pH bepaalt het opbrengstniveau en
  2. als maat voor de zogenoemde kalk-kali-interactie bepaalt het de beschikbaarheid van kalium.
- De effecten van vrije koolzure kalk en van de pH zijn beide onderzocht. Vrije koolzure kalk als een kaliumbeschikbaarheid-bepalende variabele bleek een ander effect te hebben dan beredeneerd werd op basis van de zogenoemde kalk-kali-interactie. Bij toename van het gehalte aan vrije koolzure kalk nam de opbrengst toe. Dit is niet volgens het effect dat beredeneerd is op basis van de kalk-kali-interactie; de beschikbaarheid van kalium zou juist verlaagd moeten worden met toename van het gehalte aan vrije koolzure kalk en daardoor de opbrengst. Ook de pH toonde een vergelijkbaar effect als vrije koolzure kalk. Detail-analyses toonden aan dat het effect niet toe te schrijven was aan de pH of aan vrije koolzure kalk maar aan de grondsoort. Zeeklei domineert de dataset en bepaalde daardoor het effect van de pH en vrije koolzure kalk. Deze analyses konden noch het effect van de pH noch van vrije koolzure kalk bevestigen. Als er al een effect was, dan had dat tevens een ontoelaatbare wijziging van de andere parameterschattingen van verklarende variabelen tot gevolg. Om deze reden zijn zowel de pH als vrije koolzure kalk als verklarende variabelen niet meer opgenomen in het algemene bodemvruchtbaarheidsmodel.

*P en Mg*

Door standaardisatie van de dataset, waarbij een sub-optimale P- en Mg-voorziening zijn uitgesloten, blijft er voor deze variabelen weinig te verklaren variatie over. Zodoende zijn deze variabelen uit het model verdwenen.

*Plantverband*

De plantdichtheid had eveneens geen breed bereik. Ook deze factor droeg niet bij tot een betere verklaring van de variantie en is daarop uit het model verwijderd.

*Stikstof*

Henkens (1975) toonde aan dat de stikstofgift geen invloed uitoefende op de hoogte van de kaliumbehoefte. Op basis van de analyse van Henkens zou de gift aan stikstof daardoor niet in het exponentiële deel opgenomen behoeven te worden. Vooranalyses toonden echter steeds een significante bijdrage van de N-gift in zowel het exponentiële deel als in het lineaire deel aan. Bij alle varianten van de geteste modellen met weging via REML werd dit gevonden. Op grond van deze algemene bevinding is besloten de N-gift te handhaven in het lineaire deel en het exponentiële deel.

*Ras*

Henkens (1975) toonde eveneens aan dat rassen niet essentieel verschillen in kaliumbehoefte. Het opbrengstniveau zal tussen rassen verschillend zijn. Het onderzoek van Henkens toont aan dat het effect alleen op het opbrengstmaximum tot uitdrukking komt (effect in de Y-richting). De dataset is wel onderzocht op de mogelijkheid om raseffecten op de vorm van de opbrengstcurve te onderscheiden. Hiervoor zullen voor elk ras dan twee parameters opgenomen moeten worden in het model (één voor het lineaire deel en één voor het exponentiële deel). Het aantal veldproeven van een aantal rassen was te beperkt om een verantwoorde opname in het model toe te laten. De rassen konden daardoor niet onafhankelijk van elkaar getest worden op hun effect op de vorm van de opbrengstcurve. Op basis van het onderzoek van Henkens (1981) is daarop besloten om het effect van het ras alleen op het opbrengstniveau tot uitdrukking te laten komen. De consequentie van dit vooronderzoek is dat de kaliumbehoefte onafhankelijk is van het aardappelras gegeven gelijke overige condities. Er waren vijf rassen die qua aantal veldproeven in aanmerking kwamen voor opname in het model. Het betreft Bintje, Bevelander, Eigenheimer, IJselster en Voran. Opname van deze vijf rassen vergt vier extra parameters.

*Bouwvoordikte*

Opname van de bouwvoordikte in het model droeg niets bij aan een betere voorspelling van de reactie van aardappel op de kaliumgift en kaliumtoestand. Deze verklarende variabele speelde dus een ondergeschikte rol. De verdeling over de waarnemingen was niet bijster breed en droeg niets bij tot de verklaring van de ruis in welk model dan ook. De bouwvoordikte als verklarende variabele is daarop komen te vervallen.



### Weersgegevens

Vooranalyses hebben aangetoond dat de hoeveelheid neerslag tussen bemonsteren en poten en bemesten en poten onderling sterk gecorreleerd waren. Het onafhankelijk schatten van het effect van deze twee verklarende variabelen wordt daarmee onmogelijk. Beide variabelen waren verder positief gecorreleerd met de stikstofgift. Dit is een gegeven van de verzameling veldproeven van dit onderzoek. Het recentere onderzoek bleek gedeeltelijk in het najaar te zijn bemest terwijl het oudere onderzoek in het voorjaar is bemest. De opbrengstniveaus en stikstofgiften van het recentere onderzoek zijn hoger. Het gevolg van de verstrengeling is dat een effect van kaliumuitspoeling wanneer deze in het najaar wordt gegeven met de dataset niet gevonden kan worden. Dit geldt tevens voor de neerslagsom tussen bemesten en poten. Ook hier kan een effect van kaliumuitspoeling niet gevonden worden omdat de dataset een onafhankelijke toetsing niet toelaat. Om uitspoelingseffecten uit te sluiten is gestandaardiseerd op voorjaarsbemesting. Het directe effect van de neerslagsom tussen poten en oogsten op de opbrengst is wel in het model opgenomen.

Effecten van temperatuur op kaliumuitspoeling zijn niet onderzocht. Het hoofdeffect van temperatuur speelt in op de opbrengst van het gewas gedurende het groeiseizoen (temperatuursom tussen het poten en oogsten).

Het uiteindelijke model omvatte na standaardisatie en na vooranalyses 9 verklarende variabelen: in het lineaire deel de stikstofgift, de temperatuursom, de neerslagsom en het ras (bestaande uit vijf verschillende rassen), in het exponentiële deel de kaligift (kg K<sub>2</sub>O per ha), de kaliumtoestand, het percentage organische stof, het gehalte aan afslibbare delen (of lutum) en de stikstofgift. Met een constante en een parameter voor het exponentiële deel zijn er daardoor 14 parameters te schatten. De algemene vergelijking luidt:

$$Y = a + e * N\text{-gift} + j * \text{Temperatuur} + l * \text{Neerslag} + o * \text{Ras} + b * \text{EXP}^{(k * K\text{-gift} + t * K\text{-toestand} + u * N\text{-gift} + v * \text{Organische-stof} + w * \text{Textuur})} \quad (11)$$

Bij de K-toestand zijn K-HCl-ox en K-CaCl<sub>2</sub> uitwisselbaar. Wanneer het K-getal in het model staat vervallen de verklarende variabelen textuur (lutum of afslibbare delen) en organische stof. Verder is onderzocht of CEC, textuur en organische stof kan vervangen.

Ongeveer 10% van de aanwezige variatie van de data bestond uit variatie binnen de veldproeven en werd bepaald door variatie in kaliumbemesting. De resterende variatie moet worden toegeschreven aan verschillen tussen veldproeven. Deze verschillen worden veroorzaakt door de K-toestand, de fysische, biologische en chemische bodemgesteldheid, het weer, het ras en de teeltomstandigheden. Met de modellen kon tot 65% van de aanwezige variantie worden verklaard. Omdat deze percentages gebaseerd zijn op verschillende modellen die variëren in het aantal verklarende variabelen en het aantal waarnemingen, zijn de percentages niet gebruikt als uiteinde-

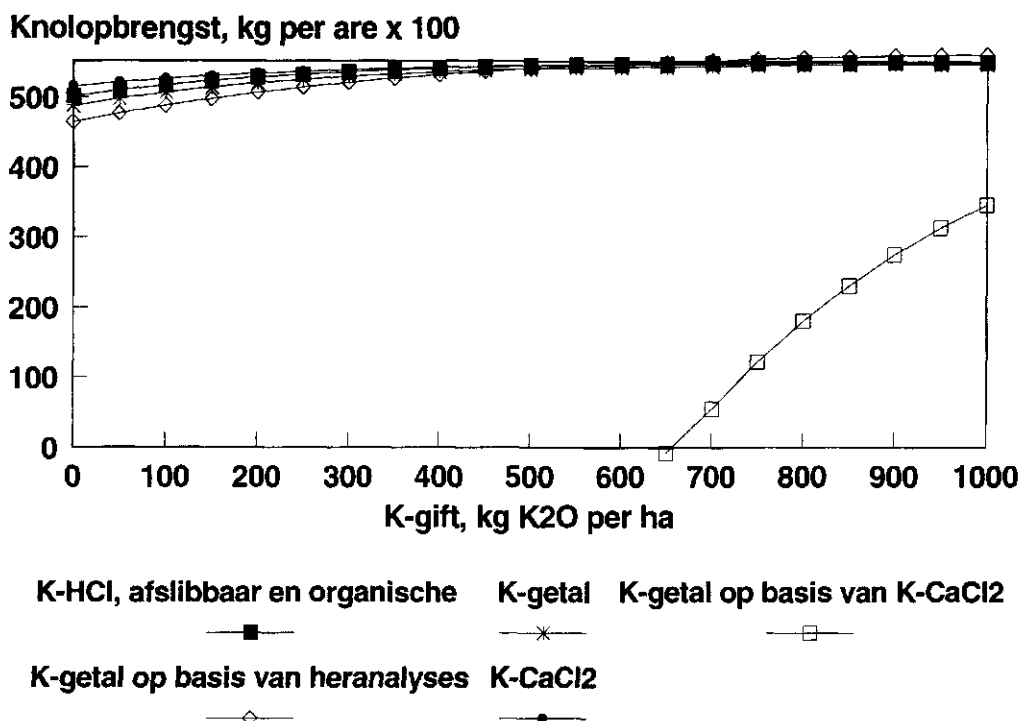
lijke maatstaf voor de selectie van het meest geëigende model. De keuze berust op het effect en de kwaliteit van verklarende variabelen voor de opbrengst en hun landbouwkundige betekenis.

Met de modellen kan de betrouwbaarheid van de opbrengstreactie worden bepaald. Bij gemiddelde waarden voor de instelwaarden wordt het betrouwbaarheidsinterval rond de maximale opbrengst gevormd door plus +/- 2 ton aardappelen per ha; bij extreme waarden is dat +/- 4,5 ton per ha. De modellen berekenen de maximaal te behalen opbrengst dus vrij nauwkeurig.

#### 4.4. Vergelijking van modellen met verschillende kaliumparameters

Het verkregen model (vergelijking 11) is gebruikt voor de vergelijking van de verschillende kaliumparameters voor de K-toestand, te weten: K-HCl-ox (model 1), K-CaCl<sub>2</sub> (model 2), K-getal op basis van oude gegevens (model 3), K-getal op basis van heranalyses (model 4) en K-getal op basis van K-CaCl<sub>2</sub> (model 5). In de modellen waarbij K-toestand wordt aangegeven met een K-getal komen de variabelen textuur en organische stof te vervallen aangezien hun effect naar verwachting verwerkt is in de berekening van het K-getal. Doorgaans wordt er een goede overeenstemming gevonden in voorspellende waarden van de diverse modellen (figuur 5). Het maakt niet uit of gebruik gemaakt wordt van K-HCl, textuur en organische stof, K-CaCl<sub>2</sub> of van het K-getal. Ook indien heranalyses herleid worden tot het K-getal worden vergelijkbare resultaten gevonden. Er is één in het oog springende afwijking. Gebruik van K-CaCl<sub>2</sub> bij het K-getal geeft een sterk afwijkend beeld. Dit is te verwachten omdat de parameters van het K-getal gekalibreerd zijn op K-HCl. Daarnaast is er een tweede afwijking die niet tot uitdrukking gebracht wordt in figuur 5 maar die wel grote betekenis heeft. Bij K-CaCl<sub>2</sub> blijkt noch het gehalte aan afslibbare delen of lutum noch de CEC bij te dragen aan de verklaring van variantie. Organische stof heeft wel een significant effect maar hieraan kan geen landbouwkundige betekenis worden gegeven door het ontbreken van enig effect van de CEC en de textuur.

Dit opmerkelijke resultaat is nader onderzocht. K-CaCl<sub>2</sub> en K-HCl-ox zijn onderling sterk gecorreleerd (tabel 3) hoewel er geen sprake is van een 100% correlatie. Met de RSELECT-procedure is onderzocht of deze relatie verbeterd wordt door rekening te houden met AGO-parameters. Door rekening te houden met het percentage afslibbare delen verhoogt het percentage verklaarde variantie van 52% naar 71%. De relatie tussen K-CaCl<sub>2</sub> en K-HCl-ox hangt dus af van het gehalte aan afslibbare delen. Organische stof speelt een vergelijkbare rol als de textuur, zij het minder nadrukkelijk. Omdat K-HCl-ox en het gehalte aan afslibbare delen samen een goed verband hebben met K-CaCl<sub>2</sub>, verdwijnt het effect van afslibbare delen als verklarende variabele in het bodemvrucht-

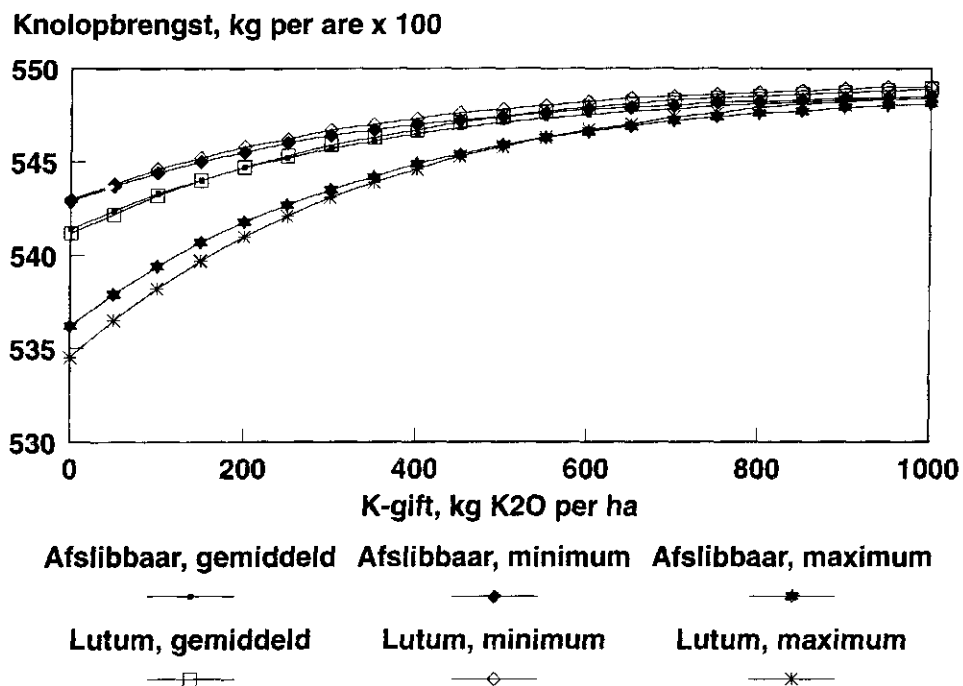


Figuur 5. Vergelijking van vier regressiemodellen voor gemiddelde waarden van de verkiarende variabelen en een N-gift van 230 kg N per ha. De modellen op basis van K-HCl, organische stof en afslibbare delen (model 1), op basis van K-CaCl<sub>2</sub> (model 2), op basis van het K-getal (model 3), het K-getal bij heranalyse (model 4) en het model met het K-getal op basis van K-CaCl<sub>2</sub> (model 5) hebben vergelijkbare resultaten. Het model met het K-getal op basis van K-CaCl<sub>2</sub> (model 5) wijkt sterk van de overige modellen.

baarheidsmodel bij gebruik van K-CaCl<sub>2</sub> in plaats van K-HCl-ox. Bij K-HCl-ox dient de beschikbaarheid van kalium gewogen te worden naar het gehalte aan textuur en organische stof. Naarmate de gehalten toenemen, is er minder kalium beschikbaar. Bij K-CaCl<sub>2</sub> wordt bij hogere gehalten aan afslibbare delen (en lutum) minder kalium geëxtraheerd. K-CaCl<sub>2</sub> discrimineert dus niet naar verschillen tussen grondmonsters veroorzaakt door de textuur en organische stof; het 'effect' van deze AGO-parameters zit dus al in de extractie van K-CaCl<sub>2</sub> (verstrengeld). Minder geëxtraheerd kalium betekent dat er meer met kalium bemest moet worden om een vergelijkbare opbrengst te verkrijgen. Het gevonden effect blijkt onafhankelijk van de grondsoort te zijn. Uitzondering hierop vormen dalgronden. Op deze gronden wordt relatief veel meer kalium geëxtraheerd dan op andere gronden. Op rivierklei wordt met CaCl<sub>2</sub> beduidend minder kalium geëxtraheerd dan op overige gronden terwijl dat effect niet gevonden is met bij de extractie met zoutzuur en oxaalzuur. Bij dit sterke extractiemiddel neemt de orde van grootte van de gemiddelde waarden af volgens de serie veen (21,0 mg K<sub>2</sub>O per 100 g), zeeklei (17,7), dalgrond (14,4), loess (13,2), rivierklei (12,2) en zand (9,9), bij de extractie met CaCl<sub>2</sub> is de volgorde dalgrond (89,8 mg K per kg), veen (89,1), zeeklei (67,0), loess (52,6), zand (51,5) en rivierklei (27,3). Deze trends worden, zoals gesteld, bepaald door de textuur. Het gevonden effect bij dalgrond wordt toegeschreven aan het lage volumegewicht als gevolg van het hoge organische-stofgehalte.

Vervanging van de gehalten aan textuur en organische stof door de ongebufferde CEC leverde een vergelijkbaar beeld op. Naarmate de CEC hoger is, wordt er minder kalium met  $\text{CaCl}_2$  geëxtraheerd. Ook hier kan geen scheiding aangebracht worden tussen  $\text{K-CaCl}_2$  en de CEC. Het resultaat met betrekking tot de beschrijving van de opbrengstreactie (en dus met betrekking tot het bemestingsadvies) is uiteindelijk vergelijkbaar (figuur 5) maar de onderbouwing en interpretatie verschilt wezenlijk.

Het effect van wijziging van de afslibbare delen in lutum is onderzocht. Zowel extremen - minimale en maximale waarden voor de textuurklassen - als gemiddelde waarden geven een gelijkwaardig beeld (figuur 6).

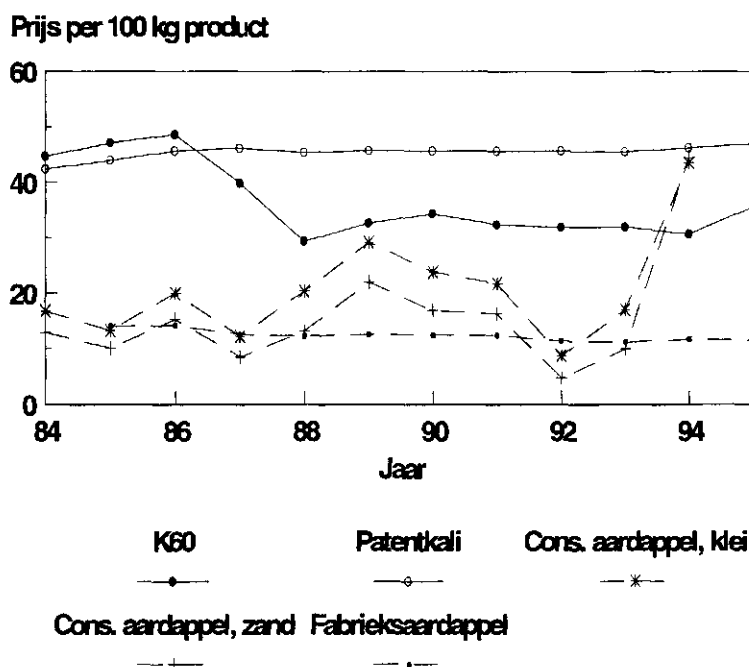


Figuur 6. Model 1 met afslibbare delen of met lutum als variabele voor de textuur geven vergelijkbare uitkomsten bij gemiddelde, minimum en maximum waarden van de parameterschattingen (let op de schaal van de Y-as).

## 5. Het bemestingsadvies voor aardappel

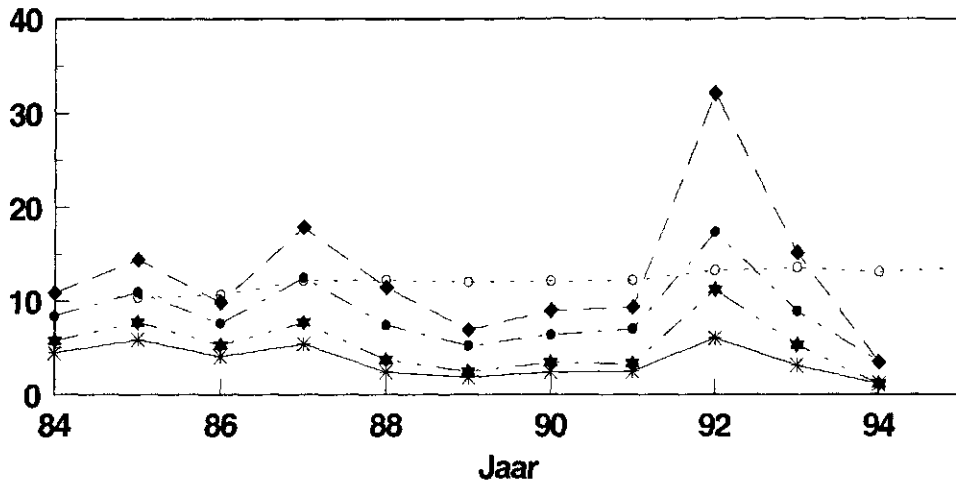
Op basis van het verkregen model (vergelijking 11) kan een bemestingsadvies worden opgesteld. Dit hoofdstuk geeft de adviezen voor aardappel. De grondslag van het huidige advies is gebaseerd op het economisch rendement van bemesting. In dit rapport wordt analoog aan de adviezen voor stikstof en fosfaat gebruik gemaakt van de verhouding tussen prijzen voor aardappel en meststof. Daarnaast is echter ook rekening gehouden met de opbrengstderiving en de betrouwbaarheid van de parameterschattingen.

De recente meststofprijzen en aardappelprijzen worden gegeven in figuur 7. De gegevens berusten op landbouwcijfers van het LEI-DLO. Patentkali heeft in de periode 1984-1995 een stabiele prijs; die van K-60 vertoont een dalende trend in de periode 1986-1989 en is daarna stabiel. Daarentegen blijkt de gemiddelde prijs van het veldgewas aardappel sterk te variëren (figuur 7). Die sterke variatie komt tot uitdrukking in grote verschillen in de prijsverhouding (figuur 8). Een bereik van 1.1 - 32.1 werd vastgesteld. Gemiddeld lag de prijsverhouding voor consumptieaardappel op kleigrond bij een prijsverhouding van 4; op zandgrond bij 9. De prijsverhouding voor fabrieksaardappelen lag gemiddeld bij 10 en blijkt beduidend stabiel te zijn dan die voor de consumptieaardappelen. Bij fabrieksaardappelen varieert de prijsverhouding van 8.3 - 12.1 op basis van patentkali terwijl die voor consumptieaardappelen op klei voor K-60 varieert van 1,1 - 6,0 en op zand van 2,5 tot 32,1.



Figuur 7. Ontwikkeling van de prijzen voor K-60, patentkali en de prijzen voor consumptieaardappelen op klei- en zandgrond en voor fabrieksaardappelen in de periode 1984-1995.

## Prijsverhouding



P, ca, klei, K60    P, ca, klei, PK    P, ca, zand, K60

— \* —

- • -

- \* -

P, ca zand, PK    P, fa, PK

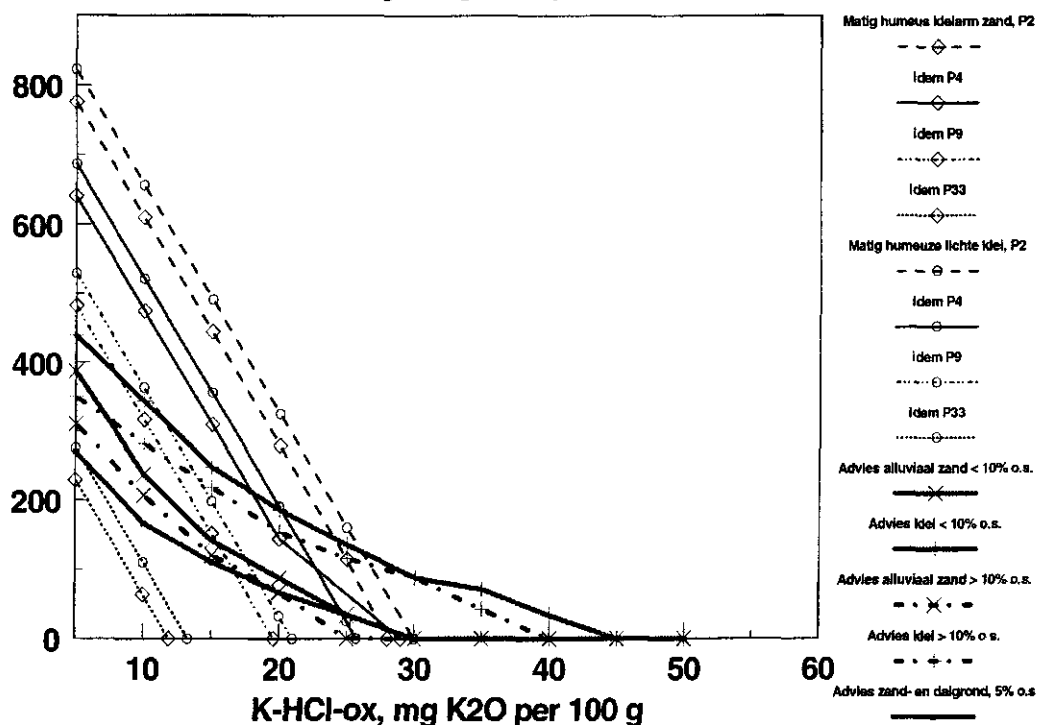
— ♦ —

- o -

Figuur 8. Ontwikkeling van de prijsverhouding voor consumptie- (ca) en fabrieksaardappel (fa) gebaseerd op de prijzen voor K-60 en patentkali in de periode 1984-1995.

De economisch rendabele kaliumbestingsadviezen voor aardappel zijn afgeleid voor de prijsverhoudingen 2, 4, 9 en 33 (resp. P2, P4, P9 en P33). De laagste en hoogste waarden representeren de extremen die in de landbouwpraktijk zich gedurende de periode 1984-1995 hebben voorgedaan terwijl de twee tussenliggende waarden berusten op de gemiddelden van de gegeven periode. Figuur 9 geeft de renderende K-giften weer voor de vier prijsverhoudingen voor matig humeus kleiarm zand (5% organische stof en 5% afslibbare delen of 3,4% lutum) en voor matig humeuze lichte kleigrond (5% organische stof en 35% afslibbare delen of 23,5% lutum) bij een stikstofgift van 230 kg N per ha. Naarmate de grond zwaarder is, is de beschikbaarheid van kalium lager. Daardoor dient meer kalium gegeven te worden om een vergelijkbare opbrengst te verkrijgen. Het rendeert om deze hogere kaligift te geven. Ter vergelijking zijn ook de huidige bemestingsadviezen gegeven voor de kleigronden en zand-, dal- en veengronden voor de gegeven condities. Een lage prijsverhouding leidt tot - zeer - hoge rendabele giften aan kalium, vooral bij lagere waarden voor de K-HCl-ox. De berekende giften zijn bij de prijsverhoudingen 2 en 4 hoger dan het huidige advies. Bij hogere waarden daarentegen wordt minder kali berekend dan het huidige advies.

### Economisch rendabele K-gift, kg K<sub>2</sub>O per ha

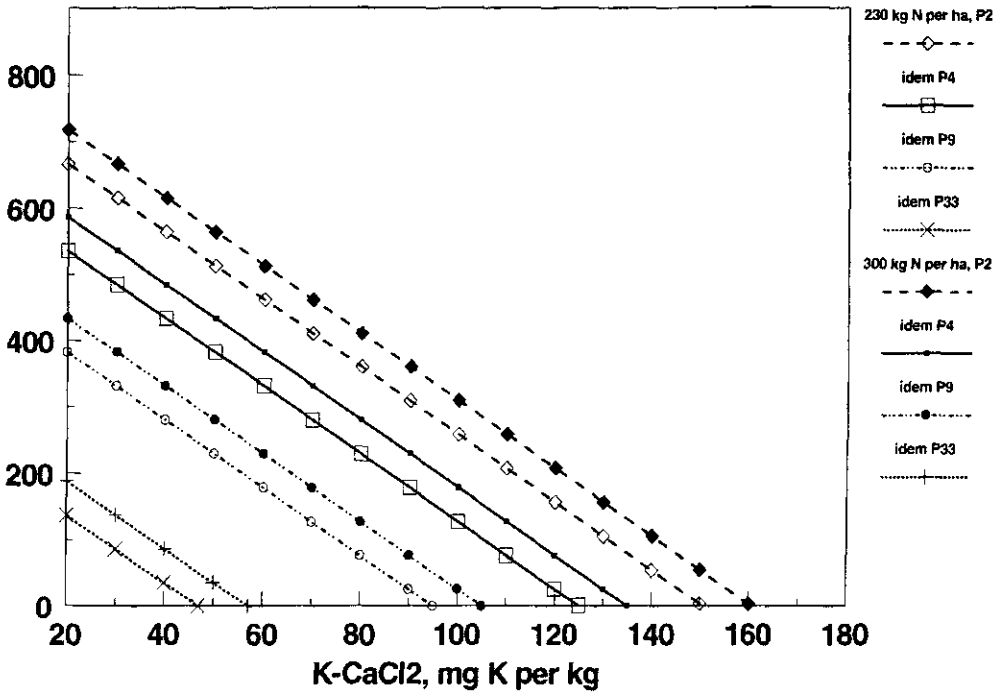


Figuur 9. Invloed van de prijsverhouding op de hoogte van de kaligift voor matig humeuze kleiarm zand en matige humeuze lichte klei en venig zand en venige klei. Tevens zijn de bemestingsadviezen gegeven voor dezelfde K-HCl-ox waarden bij 5 en 15% organische stof en 5 en 35% afslibbare delen. De stikstofgift bedraagt 230 kg N per ha.

Figuur 10 geeft de invloed van de prijsverhouding op de hoogte van de economisch rendabele K-gift gebaseerd op de CaCl<sub>2</sub>-extractie. De resultaten van statistische analyse sluiten differentiatie naar de zwaarte van de grond en de CEC uit. De orde van grootte van de berekende K-giften is vergelijkbaar met die welke gegeven zijn in figuur 9.

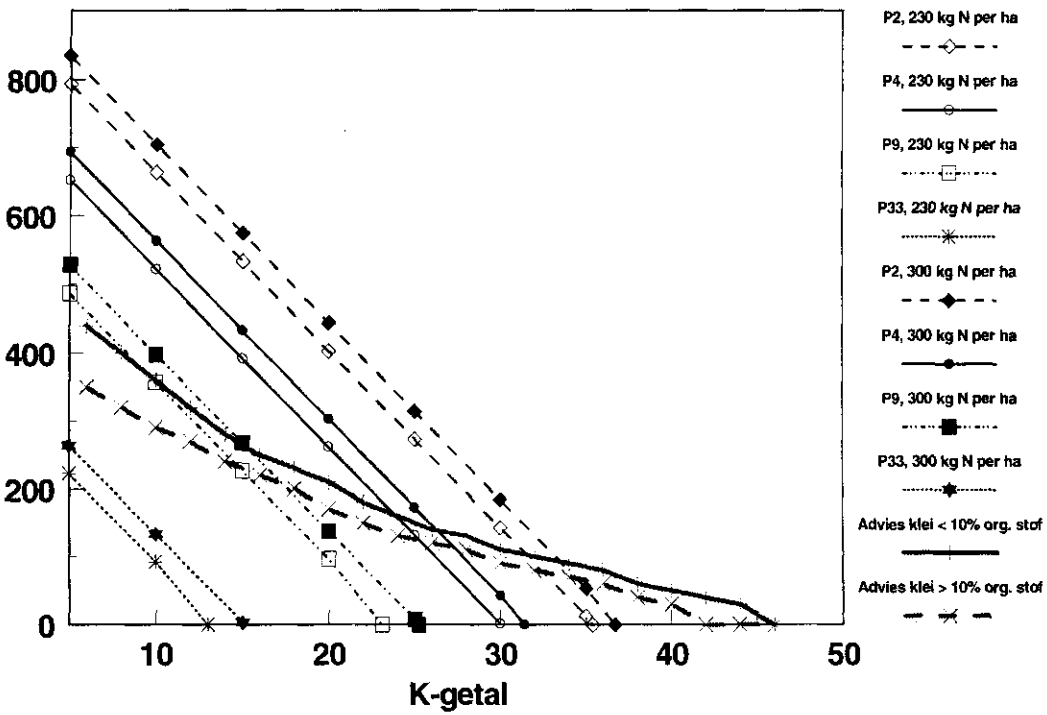
Figuur 11 geeft de invloed van de prijsverhouding op de hoogte van de economisch rendabele K-gift gebaseerd op het huidige K-getal weer. Op basis van de herijking worden bij lagere K-getallen (< 25) bij de prijsverhoudingen 2 en 4 hogere giften berekend dan nu gelden volgens het huidige advies. Bij K-getallen hoger dan 25 wordt voor een prijsverhouding van 4 een lagere gift berekend; bij een prijsverhouding van 2 geldt dat voor een K-getal hoger dan 35.

**Economisch rendabele K-gift, kg K<sub>2</sub>O per ha**



Figuur 10. Invloed van de prijsverhouding op de hoogte van de kaligift op basis van K-CaCl<sub>2</sub> bij twee stikstofgiften.

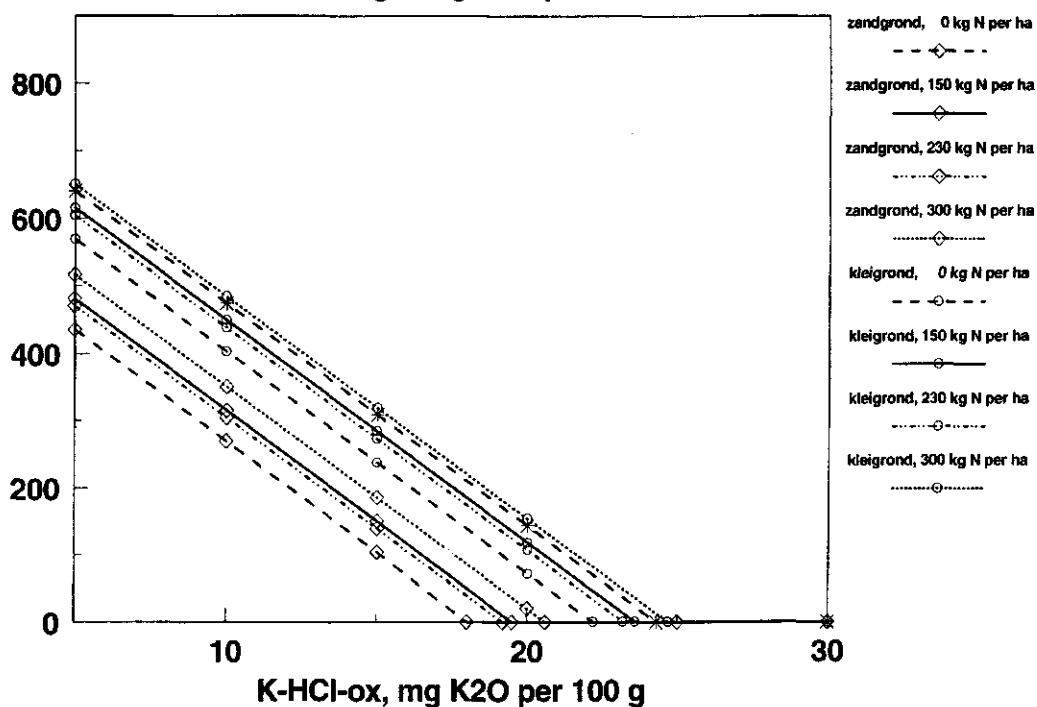
**Economisch rendabele K-gift, kg K<sub>2</sub>O per ha**



Figuur 11. Invloed van de prijsverhouding op de hoogte van de kaligift op basis van het K-getal voor kleigrond voor stikstofgiften van 230 en 300 kg N per ha.



### Economisch rendabele K-gift, kg K<sub>2</sub>O per ha



Figuur 12. Effect van stikstofgift op de hoogte van de economisch rendabele kaligift voor matig humeuze zandgrond (5% organische stof en 5% afslibbare delen) en een matig humeuze lichte kleigrond (5% organische stof en 35% afslibbare delen) voor een prijsverhouding van vier.

Figuren 10 en 11 geven voor K-CaCl<sub>2</sub> en K-getal tevens het effect van de stikstofgift aan. Een hogere stikstofgift vraagt om meer kalium. Voor K-HCl-ox wordt het effect van de stikstofgift in figuur 12 gegeven. De giften 0 en 300 kg N per ha berusten op extrapolatie. Naarmate de stikstofgift toeneemt, rendeert het om meer kali te geven. Deze extra gift aan kalium bij toenemende stikstofgift hangt af van het gehalte aan organische stof en de textuur (figuur 12). Daarnaast bepaalt de prijsverhouding de hoogte van de extra gift.

Op basis van de modellen met K-HCl-ox, textuur en organische stof, K-CaCl<sub>2</sub> of K-getal kan voor ieder willekeurige prijsverhouding de economisch rendabele K-gift worden bepaald. De variatie in de hoogte van die K-giften is enorm (figuur 7) hetgeen leidt tot zeer wisselende K-giften. De keuze van de prijsverhouding voor een bemestingsadvies is arbitrair. Sterk fluctuerende prijsverhoudingen leiden daardoor tot een arbitrair advies indien voor één prijsverhouding wordt gekozen of leiden tot sterk fluctuerende bemestingsadviezen indien voor wisselende prijsverhoudingen wordt gekozen. Er zijn twee redelijke alternatieven die stabiliteit in het bemestingsadvies tot stand brengen door niet met de prijsverhouding rekening te houden.

Het eerste is door uit te gaan van een acceptabel percentage opbrengstderving ten opzichte van de maximale opbrengst. Voor ieder model kan de maximaal te bereiken opbrengst berekend wor-

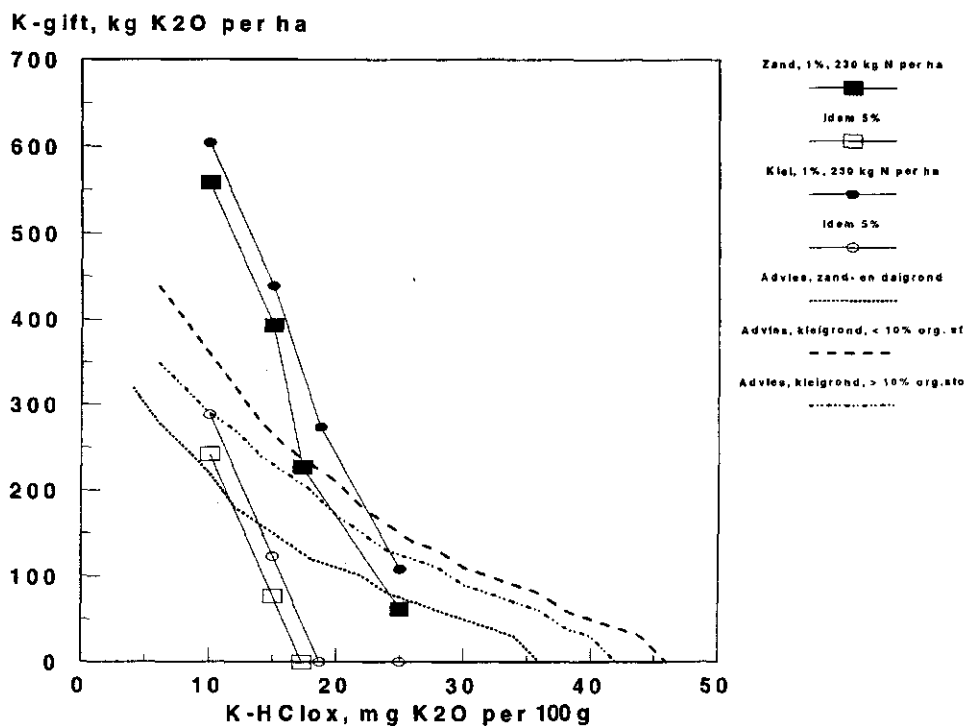
den bij een aangenomen waarde voor de stikstofgift, de temperatuursom en de neerslagsom. Er is gekozen voor een K-gift bij een opbrengstderving van 1% of 5%.

Een tweede alternatief is rekening te houden met de betrouwbaarheid van het advies. De betrouwbaarheid van de stochastische modellen waar het advies op gebaseerd wordt, valt af te leiden uit de standaardfouten van de parameterschattingen. Het berekeningsresultaat heeft immers een onzekerheid die veroorzaakt wordt doordat de parameters geschat worden en dus een standaardfout hebben. Op basis van deze standaardfouten kan een betrouwbaarheidsinterval rond de (voorspelde) maximale opbrengst worden berekend. Dit betekent een adviesgift voor kali, waarbij de voorspelde opbrengst niet significant afwijkt van de maximale opbrengst.

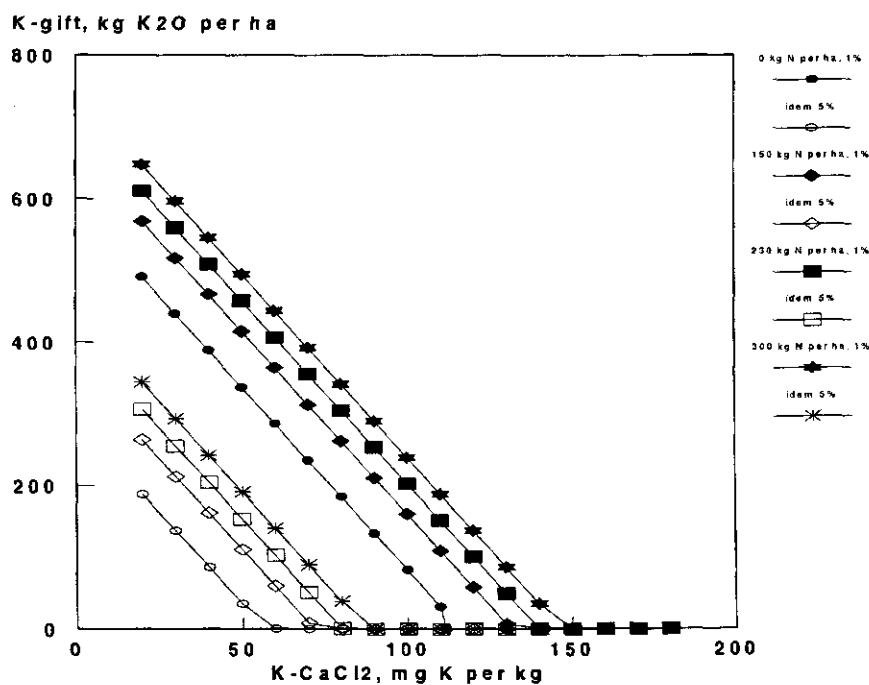
Bij het eerste alternatief is gekozen voor een opgelegde opbrengstderving van 1% of 5% en als tweede alternatief is de ondergrens van de maximaal te bereiken opbrengst gekozen gegeven een AGO-instelling en een N-gift en gegeven een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

Figuren 13, 14, en 15 geven de hoogte van de kaligiften bij opgelegde opbrengstdervingen van 1% en 5% met voor het model resp. K-HCl-ox, K-CaCl<sub>2</sub> en K-getal bij een aantal gekozen stikstofbemestingen. Naarmate de opgelegde opbrengstderving groter is, is minder kalium nodig. Bij een opbrengst van 99% van het maximum is beduidend meer kalium nodig dan bij een opbrengst van 95% van het maximum.

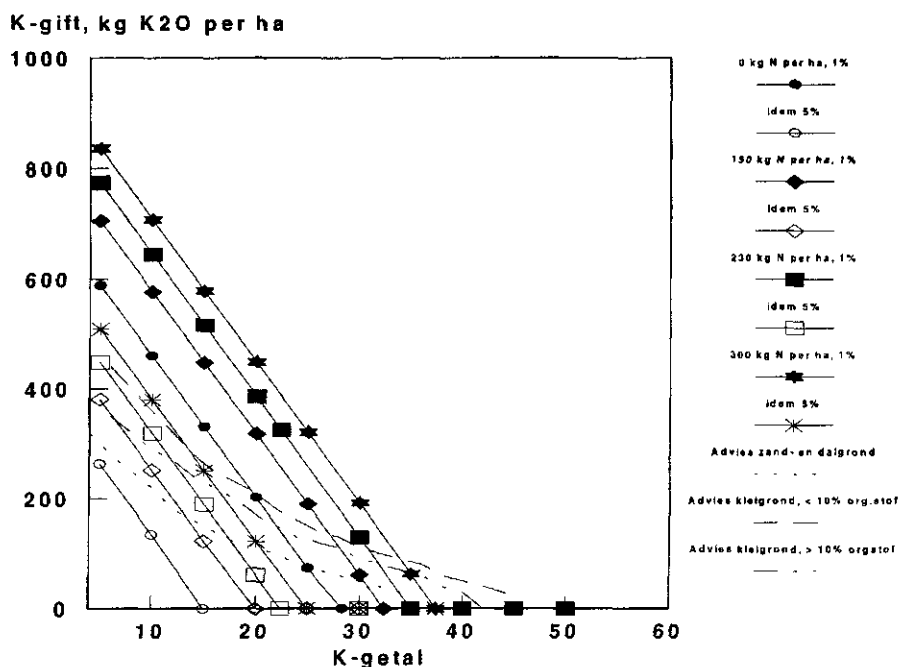
In figuren 16, 17 en 18 worden de K-giften gegeven voor resp. K-HCl-ox, K-CaCl<sub>2</sub> en K-getal gegeven die berekend zijn op basis van de betrouwbaarheid van de verschillende modellen. De K-giften die op deze grondslag zijn berekend, zijn gelijk aan die gebaseerd op de gemiddelde prijsverhoudingen of lager (P2, P4 en P9). Alleen bij ongunstige aardappelprijzen (P33) wordt een lagere gift berekend. **Dat betekent doorgaans dat welke prijsverhouding men ook kiest, de te verwachten opbrengst niet significant zal afwijken van de maximaal te bereiken opbrengst.** Met andere woorden, het betaalt wel om meer kali te geven naarmate de aardappelprijs hoger is en de meststofprijs lager maar het resultaat is niet statistisch afwijkend tussen de verschillende prijsverhoudingen. Alleen hoge prijsverhoudingen zullen leiden tot verschillende resultaten die ook statistisch zullen afwijken van de maximaal te bereiken opbrengst. Dat blijkt alleen op te treden bij zeer lage aardappelprijzen (< 5 cent per kg). De giften gebaseerd op de betrouwbaarheid van de verschillende modellen komen overeen met die voor de opbrengstderving van 5%. Extremen of extrapolatie buiten de data leiden tot een minder betrouwbare schatting van de opbrengst en kunnen resulteren in lagere kaligiften. Dit blijkt bv. uit de invloed van de N-gift op de K-gift. De K-gift neemt toe bij toename van de stikstofgift. Bij extrapolatie naar hoge stikstofgiften (> 260 kg N per ha) neemt echter de K-gift af. De (voorspelde) maximale opbrengst neemt wel toe maar tegelijkertijd neemt ook de omvang van het betrouwbaarheidsinterval belangrijk toe. Het gevolg is dat de K-gift bij de ondergrens met enige tientallen kg kali afneemt.



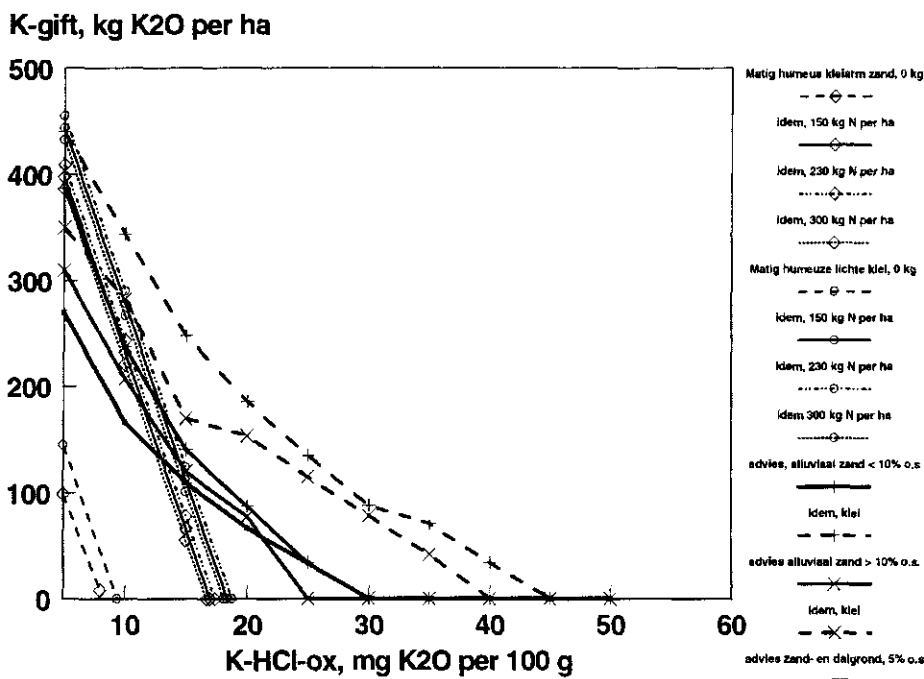
Figuur 13. De hoogte van de kaligift als functie van K-HCl-ox bij 230 kg N per ha voor een opbrengstderiving van 1% of 5% voor een matig humeus kleiarm zand (5% organische stof en 5% afslibbare delen) en een matig humeuze lichte klei (5% organische stof en 35% afslibbare delen). Ter vergelijking zijn de bemestingsadviezen opgenomen voor zand- en dalgrond gegeven een organische-stofgehalte van 10%, voor klei-bouland met een gehalte aan afslibbare delen van 35% voor minder of meer dan 10% organische stof.



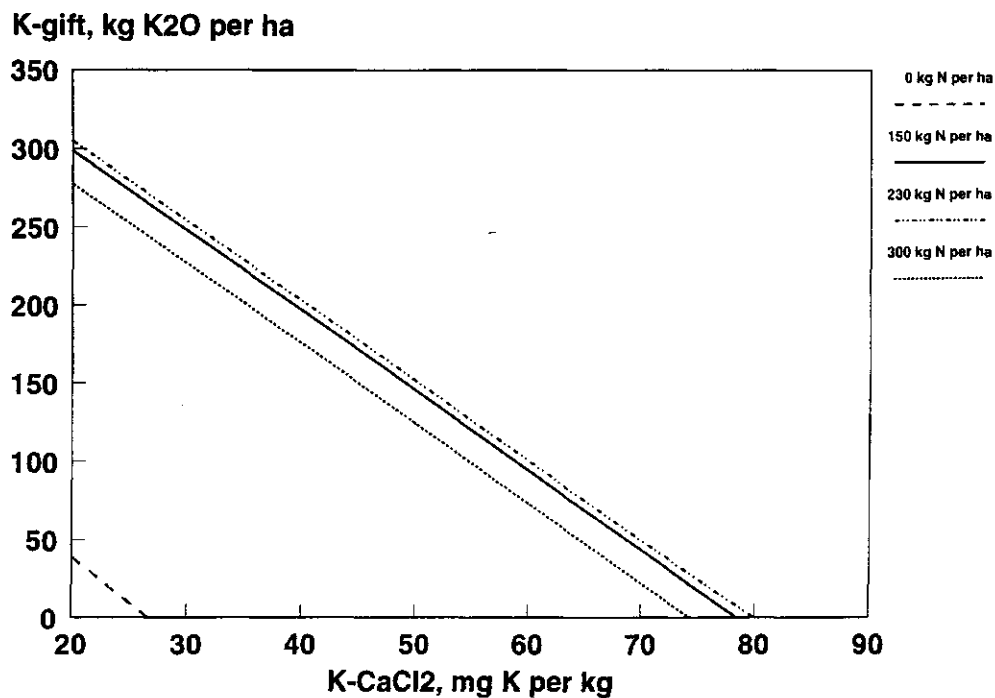
Figuur 14. De hoogte van de kaligift als functie van K-CaCl<sub>2</sub> bij vier stikstofgiften voor opbrengstderivingen van 1% en 5%.



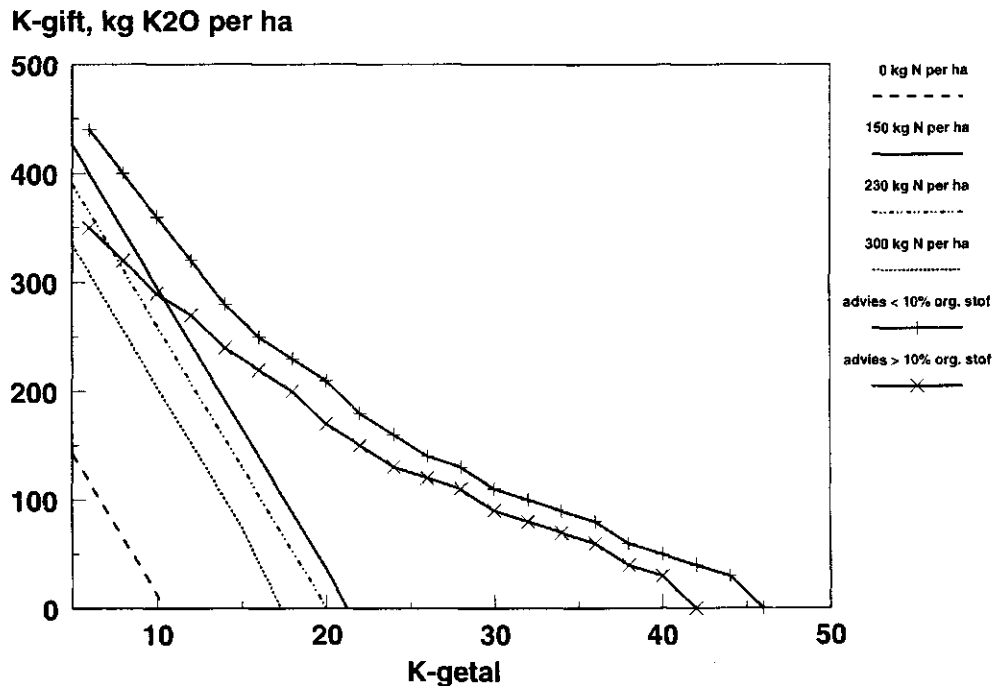
Figuur 15. De hoogte van de kaligift als functie van het K-getal bij vier stikstofgiften voor opbrengstderivngen van 1% en 5%. Ter vergelijking zijn de bemestingsadviezen opgenomen voor zand- en dalgrond gegeven een organische-stofgehalte van 10%, voor klei-bouwland met een gehalte aan afslibbare delen van 35% voor minder of meer dan 10% organische stof.



Figuur 16. De hoogte van de kaligift als functie van K-HCl-ox voor matig humeus kleiarm zand (5% organische stof en 5% afslibbare delen) en matig humeuze lichte klei (5% organische stof en 35% afslibbare delen) bij vier stikstofgiften op basis van de ondergrens van de maximale opbrengst bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5% ( $\alpha = 0,05$ ).



Figuur 17. De hoogte van de kaligift als functie van K-CaCl<sub>2</sub> bij vier stikstofgiften op basis van de ondergrens van de maximale opbrengst bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5% ( $\alpha = 0,05$ ).



Figuur 18. De hoogte van de kaligift als functie van het K-getal voor kleigrond bij vier stikstofgiften op basis van de ondergrens van de maximale opbrengst bij een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

## 6. Resultaten met tuinboon

Gebaseerd op het onderzoek van Prummel (1979) zijn veldproeven verzameld met als toetsgewas tuinboon. In totaal werden 31 veldproeven met bijhorende grondmonsters verzameld op basis van een aan aardappel vergelijkbaar zoekprofiel. Alle proeven hadden eenzelfde proefopzet nl. 0, 60, 120, 240 en 480 kg K<sub>2</sub>O per ha als K60 met drie herhalingen. De 31 veldproeven waren aangelegd op zeeklei (16 proeven), dekzand (10 proeven) en dalgrond (5 proeven). De proeven zijn uitgevoerd in de jaren 1972 (3 proeven), 1973 (10 proeven), 1974 (9 proeven) en 1975 (9 proeven). Er waren zeven rassen, deze zijn: Bianca (17 proeven), 3xWit (4 proeven), Felix (5 proeven), K21 (1 proef), Witkiem E.L. (2 proeven), Fadrim (1 proef) en Felisse (1 proef). Elke proef kreeg eenzelfde bemesting van fosfaat 240 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha als superfosfaat en de veldproeven op zand- en dalgrond ontvingen 150 kg MgO per ha. Tabel 8 geeft een overzicht van het bereik van de respons, verklarende variabelen en de conditionerende variabelen.

Tabel 8. Overzicht van het bereik van de respons, verklarende en conditionerende variabelen.

Variabele	Gemiddeld	Mediaan	Minimum	Maximum	Variantie	Aantal
Opbrengst, vers [kg per are]						
- totaal	401,4	395,0	85,0	659,0	10680,9	450
- peul	227,3	230,0	46,0	392,0	3226,4	465
- boon	70,8	73,0	18,8	121,0	314,7	465
K-HCl-ox [mg K <sub>2</sub> O/100 g]	11,8	10,7	4,5	23,30	21,2	465
K-getal	15,1	14,4	6,8	33,5	33,1	465
K-CaCl <sub>2</sub> [mg per kg]	58,0	46,6	25,8	137,52	795,7	465
K-index	0,148	0,120	0,070	0,35	0,005	465
pH-KCl	6,0	5,78	4,31	7,69	1,12	465
pH-CaCl <sub>2</sub>	6,1	5,77	4,45	7,54	1,14	465
Organische stof [%]	3,7	3,0	1,60	9,90	4,62	450
Afslibbare delen [%]	19,9	12,4	1,90	72,70	401,99	465
Lutum [%]	12,3	7,9	1,40	55,10	163,31	465
CaCO <sub>3</sub> [%]	2,6	0,8	0,10	8,60	7,85	240
CEC [meq/100 g]	14,1	11,850	2,70	41,80	95,45	300
Bouwvoor [cm]	19,4	20,0	16	25	2,89	375
Pw-getal [mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /liter]	45,0	37	6	116,0	789,5	435
MgO [mg MgO per kg] <sup>1</sup>	117,8	74	49	323,0	6117,1	225
P-CaCl <sub>2</sub> [mg per kg]	3,89	2,78	0,49	11,43	10,3	465
Na-CaCl <sub>2</sub> [mg per kg]	17,92	5,24	4,08	62,76	155,2	465
Mg-CaCl <sub>2</sub> [mg per kg]	77,13	67,3	7,09	203,50	2610,4	465
Ngift [kg N per ha]	57,0	50	0	250	3622,9	405

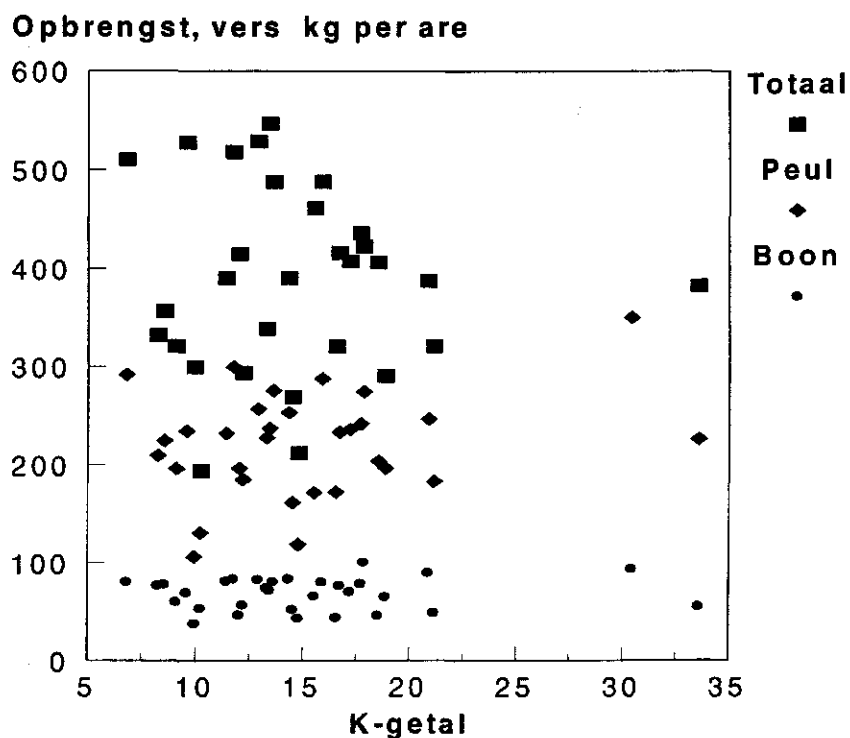
<sup>1</sup> Alleen bekend voor zand- en dalgronden.

Het bereik van de verklarende variabelen K-HCl-ox, K-CaCl<sub>2</sub>, K-index, pH-KCl, pH-CaCl<sub>2</sub>, organische stof, afslibbare delen/lutum, CaCO<sub>3</sub> en CEC is aantrekkelijk groot. Daarentegen was er een redelijk grote correlatie tussen de verklarende variabelen organische stof, pH-KCl (of pH-CaCl<sub>2</sub>) en de onontkoombare negatieve correlatie tussen organische stof en zuurgraad was ook hier aanwezig (tabel 9). Gelet op het gegeven dat de data afkomstig waren van slechts 31 veldproeven was het totale plaatje van de correlaties niet ongunstig. Opvallend was dat in vergelijking met aardappel opnieuw de stikstofgift het sterkst gecorreleerd was met de opbrengst. In dit geval betreft het een negatieve correlatie. Hoe meer stikstof er wordt gegeven des te lager is de opbrengst aan bonen. Ook K-HCl en K-CaCl<sub>2</sub> vertoonden al een aanzienlijke correlatie met de opbrengst. De overige factoren zijn beduidend geringer gecorreleerd met de opbrengst.

Tabel 9. Onderlinge correlaties van response en verklarende variabelen gebaseerd op 31 veldproeven (n = 465).

Opbrengst, boon	1.000								
K-HCl	0.434	1.000							
K-CaCl <sub>2</sub>	0.498	0.855	1.000						
Afslibbare delen	-0.241	-0.050	-0.362	1.000					
Organische stof	-0.247	-0.080	-0.305	0.830	1.000				
pH-KCl	0.144	-0.221	-0.028	-0.719	-0.732	1.000			
pH-CaCl <sub>2</sub>	0.164	-0.253	-0.118	-0.559	-0.717	0.952	1.000		
CaCO <sub>3</sub>	-0.203	-0.476	-0.414	0.016	-0.119	0.542	0.603	1.000	
N-gift	-0.558	-0.126	-0.154	-0.259	0.236	0.046	0.035	0.589	1.000
	Opbrengst	K-HCl	K-CaCl <sub>2</sub>	Afslibbare delen	Organische stof	pH-KCl	pH-CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	N-gift

Vanwege het beperkt aantal veldproeven is een vergaande standaardisatie noodzakelijk. Een volledig bodemvruchtbaarheidsmodel volgens vergelijking 10 is niet mogelijk. Het aantal vrijheidsgraden is daartoe te beperkt. Een vergaande standaardisatie van veldproeven was al aanwezig door proefopzet. De fosfaat- en de magnesiumtoestand oefende geen invloed uit op de opbrengst (vers) aan bovengrondse delen, peulen of bonen. Een effect van de kaliumtoestand gemeten als K-getal op opbrengst zonder kalibemesting kon eveneens niet worden vastgesteld (figuur 19).



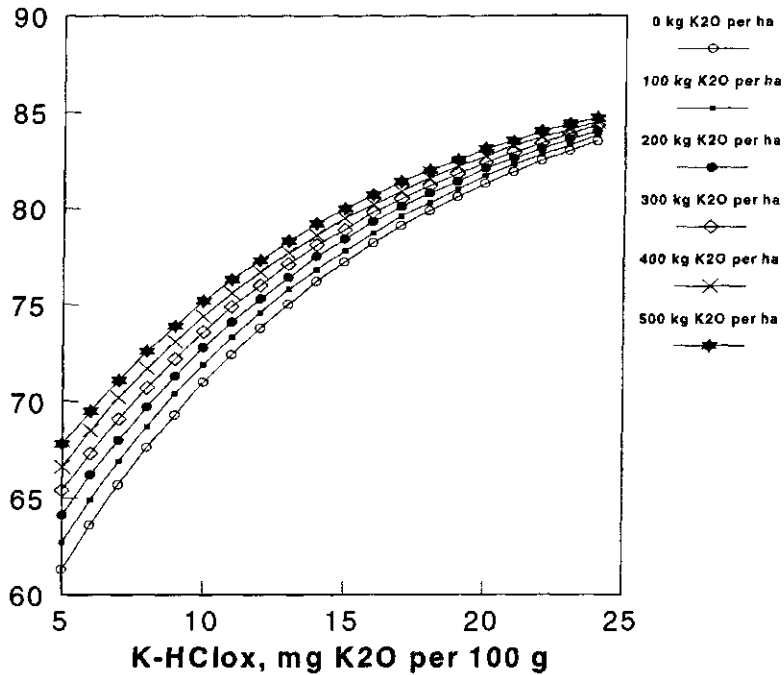
Figuur 19. Totale opbrengst vers, aan peulen en bonen, gemiddeld bij geen kaliumbemesting als functie van het K-getal zonder kaliumbemesting.

Een reactie op kaliumbemesting werd slechts bij 14 van de 31 veldproeven vastgesteld. In die gevallen was er sprake van een toename van de opbrengst aan bonen (vers gewicht) maar bijster groot waren die effecten niet. Afname van de opbrengst door kaliumbemesting werd niet vastgesteld. Vooranalyses met K-HCl-ox, K-CaCl<sub>2</sub>, organische stof, afslibbare delen of lutum, CEC, K-index en/of stikstofgift bleken slechts een gering deel van de totale variantie te verklaren (in alle gevallen minder dan 20%). De variatie in opbrengsten tussen jaren en tussen rassen was groot en niet consistent. De opbrengsten op zeeklei, zandgrond en dalgrond verschilden onderling niet essentieel. De gewasreactie was daartoe per jaar en per grondsoort te variabel, zelfs als gestandaardiseerd werd naar eenzelfde ras (bv. Bianca). In de daaropvolgende analyses is daarom gebruik gemaakt van een factor om de variantie veroorzaakt door jaar, grondsoort en ras te scheiden van de variantie veroorzaakt door de kaliumpgift en kaliumpstoestand. Bij deze benadering worden 18 vrijheidsgraden gebruikt van de 30 die beschikbaar zijn. Veel mogelijkheden om andere verklarende variabelen in het stochastisch model op te nemen blijven daardoor niet aanwezig. Met K-HCl-ox en K-getal is dan nog wel een verband vast te stellen maar met K-CaCl<sub>2</sub> wordt geen verantwoorde relatie gevonden. Dat betekent dat voor K-CaCl<sub>2</sub> geen kaliumbemestingsadvies kan worden opgesteld. Het advies voor K-HCl-ox kan niet gedifferentieerd worden naar gehalten aan organische stof, textuur (lutum of afslibbaar), pH-KCl of vrije koolzure kalk omdat daartoe de omvang van het aantal veldproeven te beperkt is. Voor K-HCl-ox en het K-getal kan wel een advies worden opgesteld. Omdat er nauwelijks sprake is van een reactie van het gewas op kaliumbemesting - slechts 14 van de 31 veldproeven vertoonden een positieve reactie op kaliumbemesting



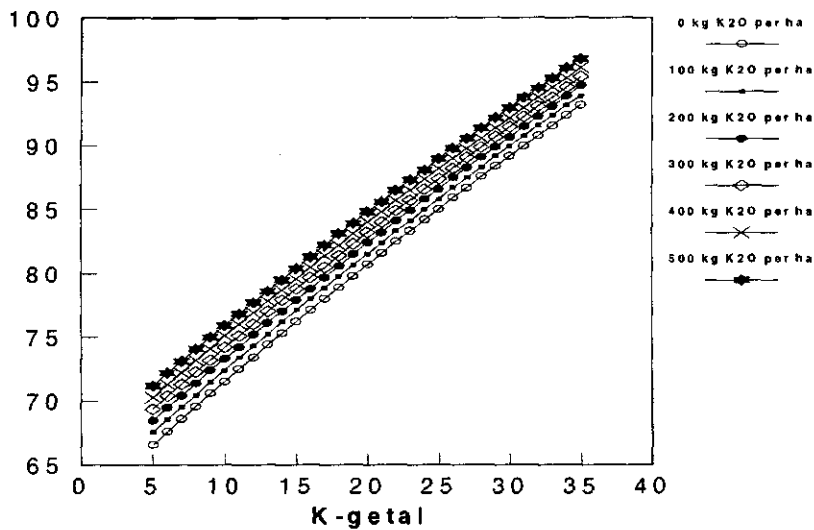
- heeft dat gevolgen voor het bemestingsadvies. De gevonden verbanden tonen een vrij traag oplopend verband van de reactie van de opbrengst op de kaliumgift (figuren 20 en 21). De maximale opbrengsten worden daardoor bereikt bij zeer hoge kaligiften, hetgeen dan leidt tot onwerkelijk hoge kaliumbemestingsadviezen indien een 1% of 5% opbrengstderiving als maatstaf gebruikt zou worden (giften > 1000 kg K<sub>2</sub>O per ha). Opbrengstderiving vormt hier dus geen basis voor een verantwoord kaliumbemestingsadvies.

### Opbrengst, boon, kg per are



Figuur 20. Berekende respons van de opbrengst aan bonen, versgewicht, op K-HCl-ox bij zes kaligiften.

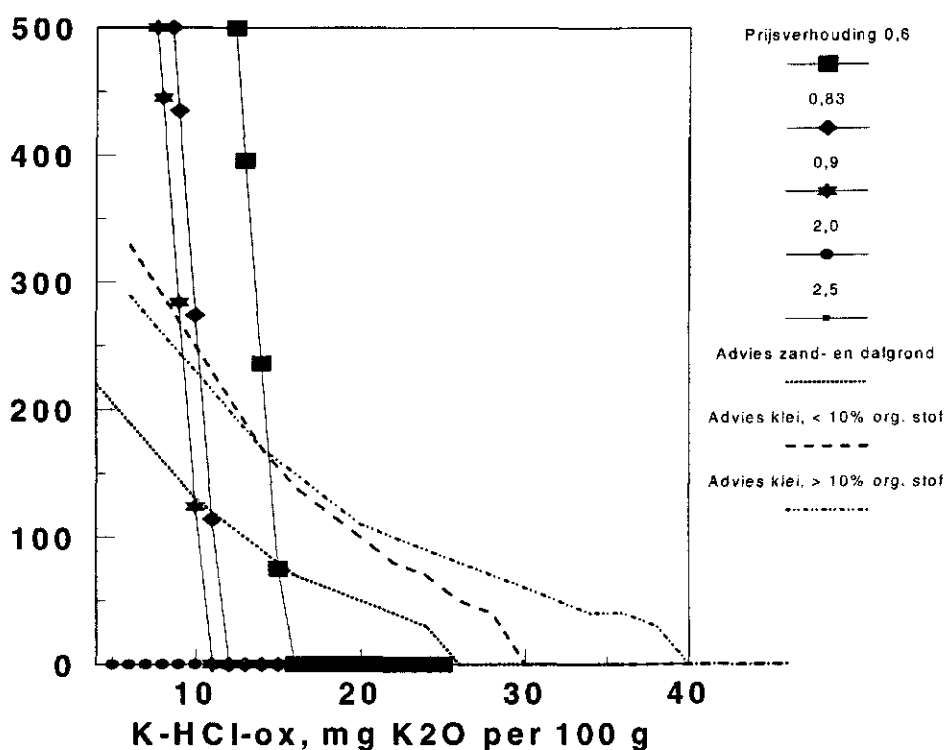
### Opbrengst vers, kg per are



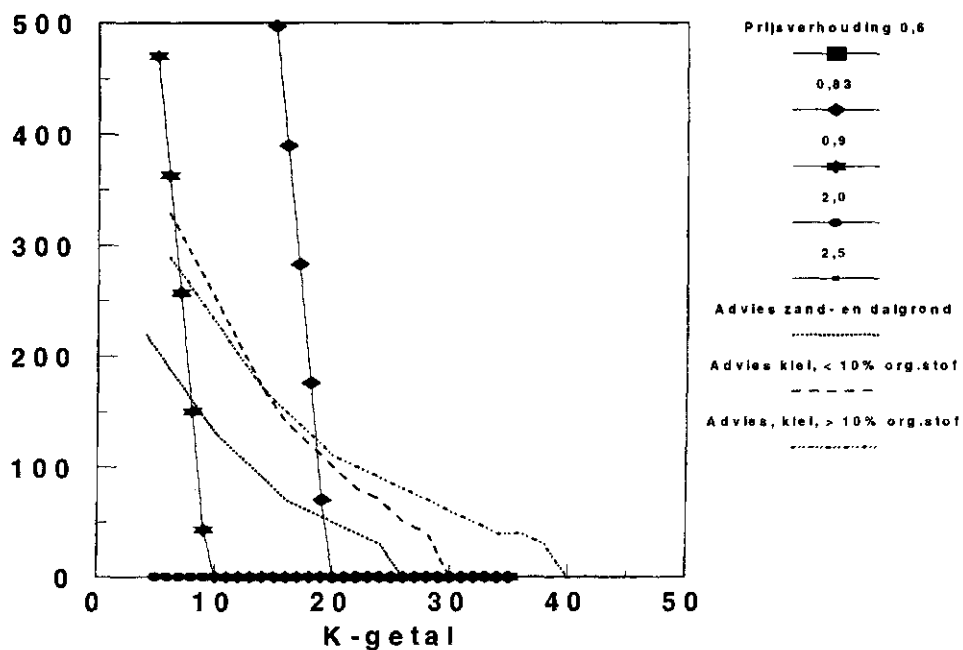
Figuur 21. Berekende respons van bonen op K-getal bij zes kaligiften

Op basis van de prijsverhouding kunnen excessieve giften aan kalium worden uitgesloten. Het huidige advies is berekend op een prijsverhouding van 0,83 (Prummel, 1979). Op basis van de Landbouwcijfers 1996 wordt voor de periode 1975-1994 voor K-60 een gemiddelde prijsverhouding van 0,9 berekend met een spreiding van 0,6-1,4. Voor patentkali is het gemiddelde 2,0 met een bereik van 1,6 - 2,5. In de figuren 22 en 23 worden de economisch optimale K-giften gegeven berekend op basis van K-HCl-ox en op basis van het K-getal. Alleen bij lage tot zeer lage prijsverhoudingen en een zeer lage kaliumtoestand rendeert het om een kaliumbemesting te geven. Bij de gemiddelde prijsverhoudingen gebaseerd op K-60 rendeert het alleen bij zeer lage kaliumtoestanden, voor patentkali is geen kaliumbemesting het beste advies. Op basis van de voorliggende analyse is er geen ondersteuning te geven aan het huidige advies voor tuinbonen.

### Economisch rendabele K-gift, kg K<sub>2</sub>O per ha



Figuur 22. Economisch optimale kaligiften afgeleid voor K-HCl-ox bij vijf prijsverhoudingen. Ter vergelijking zijn de bemestingsadviezen opgenomen voor zand- en dalgrond gegeven een organische-stofgehalte van 10%, voor klei-bouwland met een gehalte aan afslibbare delen van 35% voor minder of meer dan 10% organische stof.

Economisch rendabele K-gift, kg K<sub>2</sub>O per ha

Figuur 23. Economisch optimale kalibemestingsadvies voor vijf prijsverhoudingen op basis van het K-getal. Ter vergelijking zijn de bemestingsadviezen opgenomen voor zand- en dalgrond gegeven een organische-stofgehalte van 10%, voor klei-bouwland met een gehalte aan afslibbare delen van 35% voor minder of meer dan 10% organische stof.

## 7. Discussie en conclusies

Een herijking van de kaliumbemestingsadviezen voor bouwland heeft plaatsgevonden op basis van twee gewassen: aardappel en tuinboon. Aanvankelijk werd beoogd om de adviezen voor spinazie, aardappel en stamslaboon te herijken als representanten van belangrijke gewasgroepen. Er waren voldoende veldproeven met het gewas aardappel voorhanden voor een doeltreffende herijking van de bemestingsadviezen. Het aantal grondmonsters van veldproeven met spinazie en stamslaboon was echter te beperkt om een verantwoorde analyse toe te laten. Voor spinazie is geen geschikte vervanger gevonden, stamslaboon is vervangen door tuinboon waarvan voldoende grondmonsters aanwezig waren en de aard, opzet en uitvoering van het onderzoek een aantrekkelijk perspectief boden voor herijking. De herijking is uitgevoerd onder de randvoorwaarde dat de landbouwkundige condities die gelden voor de huidige bemestingsadviezen ook van toepassing zijn voor de extractie op basis van  $\text{CaCl}_2$ . Bij de herijking van het bemestingsadvies van het gewas bleek het geselecteerde materiaal ondanks voorselectie ook veldproeven te bevatten met een sub-optimale P-voorziening. Die sub-optimale voorziening met P leidde tot aanzienlijke zwakkere reactie op K-bemesting bij diverse K-toestanden (figuur 3). Daardoor zouden de giften voor de K-bemestingsadviezen aanzienlijk verhoogd worden, hetgeen onrealistisch en niet acceptabel is. Het verwijderen van de data met sub-optimale P-voorziening had tot gevolg dat met name het aandeel van de zandgronden en loess sterk verzwakt werd. Daardoor werd een analyse per grondsoort uitgesloten. Ondanks deze beperkingen is het mogelijk om voor het gewas aardappel een bemestingsadvies op te stellen op basis van een robuust analyseresultaat. Indien een analyse per grondsoort vereist wordt, dan verdient het aanbeveling om de veldproeven met een te lage fosfaattoestand alsnog op te nemen in de analyse. Het aantal veldproeven met een te lage P-voorziening is in de hier gebruikte dataverzameling beperkt maar door veldproeven van de voorselectie er bij te betrekken zal de verzameling veldproeven voldoende groot worden (ca. 300-350 veldproeven).

### 7.1. Aardappel

De opbrengstreactie van aardappel op kaliumtoestand en kaliumbemesting kan robuust geraamd worden. De standaardfout bij de maximale opbrengst bedraagt ca. 1-2 ton per ha. De opbrengst kan gegeven een AGO-instelling, gegeven een stikstofbemestingsniveau en gegeven een kaliumgift worden berekend. Vice versa kan een K-gift berekend worden voor een gegeven opbrengstdoelstelling bij een bepaalde AGO-instelling en gegeven stikstofbemesting. De grondslag van die berekening bepaalt sterk de hoogte van het advies. Zo zal bij huidige prijzen voor aardappelen en meststoffen het herijkte advies beduidend hoger zijn bij lagere kaliumtoestanden dan het advies uit de huidige adviesbasis. Een advies op basis van 5% opbrengstderving leidt alleen bij heel lage waarden tot een overschrijding van de richtlijnen van de huidige bemestingsadviezen. Indien

de betrouwbaarheid van de berekening wordt gewogen, dan vallen de adviezen lager uit. Welke grondslag ook gekozen wordt, het valt op dat bij hogere waarden voor de K-toestand (K-HCl-ox of K-getal) de berekende gift hier lager is dan de richtlijnen voor het advies. Dit lijkt een afwijking maar gerealiseerd dient te worden dat de giften bij hogere kaliumtoestand van de huidige adviesbasis berusten op een algemene kwalitatieve overweging op het uitsluiten van risico op opbrengstderving zonder dat daar een ijklijn aan ten grondslag lag. De berekeningen in dit rapport zijn gebaseerd op een uniforme methode. Dat is niet het geval voor de huidige bemestingsadviezen. Niet alleen zijn tussen grondsoorten door de verschillende onderzoekers verschillende grondslagen gebruikt maar ook hebben diverse Commissies Bemesting Bouwland daar in de loop der tijd verschillende interpretaties aan gegeven. Dergelijke kleurschakeringen ontbreken hier. Met de bodemvruchtbaarheidsmodellen voor de diverse K-parameters kunnen verschillende diverse in het verleden uitgevoerde kwalitatieve benaderingen (N-gift, effect afslibbaar/ lutum, ras, extractiemethode) omgezet worden in een kwantitatieve benadering.

De bemestingsadviezen uit de adviesbasis geven een grote mate van nauwkeurigheid aan. Er is hier echter sprake van een schijnnaauwkeurigheid. Van der Paauw (1958), Van der Paauw & Ris (1955, 1960, 1962), Boskma & Van der Heij, 1964) en Prummel (1962a, 1962b, 1964) geven in hun publicaties aan dat het advies voor kalium 'weinig nauwkeurig vaststaat' of dat 'de spreiding tussen de afzonderlijke proeven groot is'. Toch is een advies opgesteld waarbij verschillen van 20 kg K<sub>2</sub>O per ha zijn onderscheiden. Een dergelijk onderscheid is op basis van de voorliggende analyse zeker niet hard te maken en was al evenmin hard te maken op basis van het materiaal van de bovengenoemde onderzoekers.

Bij de analyses op basis van het K-getal is geen onderscheid aangebracht naar grondsoort. Dit is niet alleen een gevolg van het ontbreken van een voldoende aantal veldproeven op zandgrond en loess ten behoeve van een verantwoorde statistische analyse. Ook om instabiliteit in parameterschatting te voorkomen zijn de analyses met diverse K-parameters uitgevoerd met behulp van dezelfde verzameling veldproeven. Het ontbreken van dit onderscheid impliceert dat de waardering van de kaliumtoestand voor alle grondsoort gelijk gesteld is, hetgeen afwijkt van de waarderingen van kaliumtoestanden van de huidige adviesbasis. Die waardering is echter gebaseerd op relatieve opbrengsten, uitbetalingsgewicht, geldelijke opbrengst op basis van sortering of uitbetalingsgewicht. In het huidige onderzoek is gebruik gemaakt van een methode van onderzoek waardoor standaardisatie in waardering van de kaliumtoestand mogelijk gemaakt wordt. De grondslag van het herijkte advies zal de waardering bepalen.

De hier gevolgde methode van bewerking houdt rekening met meer variabelen. Nieuw ten opzichte van de huidige adviesbasis is dat nu rekening gehouden wordt met de hoogte van de stikstofgift. Het is niet zo dat met de resultaten van dit onderzoek een stikstofbemestingsadvies kan worden opgesteld. Wel kan op basis van een opgelegde stikstofgift, b.v. afkomstig van N-advies, de bijhorende kaliumbemestingsgift bepaald worden. Qua orde van grootte komt de invloed van

de N-bemesting overeen met die welke door Neeteson (1989) gegeven is (tabel 10). Op basis van het onderzoek van Neeteson (1989) wordt bij een N-gift van 350 kg N per ha 56,8 ton per ha behaald terwijl bij een N-gift van 90% of 75% van de geadviseerde gift (resp. ~300 kg N per ha en ~230 kg N per ha) resp. 56,5 ton per ha of 55,9 ton per ha wordt behaald. In het hier gerapporteerde onderzoek worden afhankelijk van de K-parameter bereiken van 54,6-61,3 ton per ha bij 300 kg N per ha en 51,0-54,3 ton per ha berekend (tabel 10). De standaardfouten zijn bij beide onderzoeken van vergelijkbare orde van grootte (~ 0,9-1,0 ton per ha).

Tabel 10. Maximale aardappelopbrengsten met bijhorende standaardfouten bij maximaal aanbod aan kalium voor vier stikstofgiften voor stochastische modellen op basis van K-HCl-ox, K-CaCl<sub>2</sub> en K-getal voor alle grondsoorten en het K-getal voor kleigronden gegeven een temperatuursom van 225 °C en een neerslagsom van 345 mm.

Parameter	Stikstofgift [kg N per ha]	Maximale opbrengst [kg per are]	Standaardfout [kg per are]
K-HCl-ox	0	370,0	22,4
	150	467,0	9,7
	230	518,7	13,1
	300	563,9	20,3
K-CaCl <sub>2</sub>	0	391,3	22,0
	150	468,8	10,0
	230	510,1	13,1
	300	546,2	19,9
K-getal alle grondsoorten	0	362,3	23,1
	150	464,6	10,2
	230	519,2	14,2
	300	567,0	21,7

De analyses op basis van de betrouwbaarheid van parameterschattingen tonen aan dat bij de meest voorkomende prijsverhoudingen de opbrengsten niet significant zullen afwijken van de maximaal te behalen opbrengsten gegeven een bepaalde conditie (N-gift, K-toestand en AGO-parameters). Het rendeert zonder meer om bij gunstige prijzen (of beter prijsverwachtingen) voor aardappelen meer kaliumbemesting te geven. De daardoor verkregen meeropbrengst is echter in statistische zin niet te onderscheiden van die bij een lagere bemesting.

De keuze van de K-parameter is afhankelijk van het gebruiksdoel en de mate van detail die nagestreefd wordt. De resultaten van analyses op basis van K-HCl-ox, organische stof en afslibbaar bieden de mogelijkheid rekening te houden met specifieke bodemkundige omstandigheden. Bij gebruik van K-CaCl<sub>2</sub> daarentegen kan geen rekening gehouden worden met bodemkundige om-

standigheden. Noch de CEC, noch de textuur verbeteren de voorspellende waarde van  $K-CaCl_2$ . Dat betekent dat  $K-CaCl_2$  geen uitsluitel geeft over de voorraad aan kalium in de bodem. Dat hoeft geen bezwaar te zijn zolang de totale voorraad aan voor het gewas beschikbaar kalium groter is dan de hoeveelheid die het gewas nodig heeft voor een optimale ontwikkeling. Deze situatie zal zich voordoen op de meeste (zee)kleigronden (uitgezonderd alluviale zandgrond). Op gronden met een geringe voorraad, bv. zandgronden, bestaat daarentegen het reële gevaar dat bij exclusief gebruik van  $CaCl_2$  als enige uniform extractiemiddel er minder kalium voor het gewas aanwezig blijkt te zijn dan  $K-CaCl_2$  aangeeft. Om een dergelijk risico uit te sluiten dient een capaciteitsmaatstaf gehanteerd te worden. Hiertoe zou de thans in gebruik zijnde  $K-HCl-ox$  kunnen worden genomen.  $K-CaCl_2$  is op te vatten als een maat voor de labiele hoeveelheid kalium in de bodem (~ intensiteitsparameter). De extractie met 0,1 N  $HCl$  en 0,4 N oxaalzuur zou opgevat kunnen worden als een capaciteitsparameter.

Het detail dat met het bodemvruchtbaarheidsmodel op basis van  $K-HCl-ox$ , organische stof en textuur kan worden aangebracht is groot. Dit voordeel ten opzichte van de huidige bemestingsadviezen heeft ook een beperking. Dergelijk detail heeft nl. geen voorlichtingskundige voordelen. Het verdient aanbeveling om bij voorlichting bij gebruik van dit model standaardisatie aan te brengen ten behoeve van de bemestingadvisering.

De keuze van de parameters voor grondonderzoek -  $K-HCl-ox$ , organische stof, lutum of afslibbare delen,  $K-CaCl_2$  of  $K$ -getal - hangt af van de mate van detail die men wenst aan te brengen. Het is niet zo dat één van deze bodemvruchtbaarheidsmodellen in statistische betekenis duidelijk slechter is dan een ander. Wel zijn er beperkingen en risico's. Een beperking van het model op basis van  $K-HCl-ox$ , organische stof, lutum of afslibbaar is dus het grote detail dat kan worden aangebracht. Bij  $K-CaCl_2$  ontbreekt dat detail maar het heeft daarentegen het risico van onderschatting van de beschikbare hoeveelheid kalium in geval van een te gering bufferend vermogen van de bodem (te geringe capaciteit). Het model op basis van het  $K$ -getal heeft de beperking dat de afleiding van de desbetreffende  $K$ -getallen nog steeds gebaseerd is op verouderd landbouwkundig onderzoek waardoor nog steeds verstrengelingen aanwezig zijn met laboratoriumtechnische wijzigingen gedurende de laatste dertig jaar. Bias is dus hier niet uit te sluiten. Daardoor gaat de voorkeur duidelijk uit naar de modellen op basis van  $K-HCl-ox$ , organische stof, lutum of afslibbare delen of die op basis van  $K-CaCl_2$ .

Het onderzoek heeft aangetoond dat de landbouwkundige betekenis van de textuur gemeten als afslibbare delen of als lutum volledig identiek is. Overgang naar lutum is dus voor de kaliumbemestingsadviezen op basis van  $K-HCl-ox$  of  $K$ -getal verantwoord.

## 7.2. Tuinboon

In tegenstelling tot aardappel, waarbij het mogelijk is om gegeven een kaliumtoestand van de bodem een bemestingsadvies te geven, blijken bij tuinboon de verbanden dermate zwak te zijn dat ze nauwelijks leiden tot verantwoorde ijklijnen. Slechts bij zeer lage waarderingen van de kaliumtoestand rendeert het om een kaliumbemesting te geven. Erg betrouwbaar zijn de adviezen niet. Met  $K-CaCl_2$  wordt geen verband met de opbrengst gevonden. Daardoor is er geen perspectief voor het gebruik van calciumchloride bij gewassen met een (zeer) zwakke kaliumbehoefte.

Het resultaat met tuinboon onderbouwt niet de huidige bemestingsadviezen. Er is eerder reden om geen grondonderzoek aan te bevelen. Het verdient aanbeveling om hier de onttrekking te geven. Mogelijk dat de relatie tussen de K-parameters en de K-opname meer grondslag biedt voor de ijking van het grondonderzoek dan de hier uitgevoerde ijking op basis van opbrengsten. Hierover kan met het beschikbare materiaal van tuinboon echter geen uitsluitel worden gegeven.

## 7.3. Naar een nieuw bemestingsadvies voor akkerbouland

Handvatten voor het opstellen van een nieuw bemestingsadvies voor akkerbouwgewassen worden in dit rapport aangereikt. Voor aardappel is het mogelijk om een bemestingsadvies op te stellen. Op basis van prijsverhoudingen kan een advies opgesteld worden dat past bij de huidige basis van het bemestingsadvies. Indien gespiegeld wordt aan huidige prijsverhoudingen betekent dat een forse verhoging van de kaliumbemestingsadviezen voor aardappel. Daardoor zal de kans op uitspoeling van kalium toenemen, hetgeen indirect ook zal leiden tot een verhoogde uitspoeling van stikstof. Dit leidt dan niet tot een milieukundig verantwoord bemestingsadvies. De advisering wint aan stabiliteit door geen economische grondslag te kiezen maar één gebaseerd op opbrengstderving of betrouwbaarheid van het advies. Door een bepaalde mate van opbrengstderving toe te laten kunnen milieukundig verantwoorde bemestingsnormen worden afgeleid. Een opbrengstderving van 5% wijkt doorgaans niet veel af van de - statistisch - maximaal te behalen opbrengst. Bij een meer milieukundig verantwoorde stikstofgift van 230 kg N per ha ligt een nieuw bemestingsadvies vast. Kaliumuitspoeling behoorde niet tot het studieobject van dit onderzoek. Er kan daardoor niet aangegeven worden hoeveel kalium bij de hierboven gegeven condities uitspoelt.

Andere gewassen vereisen bijzondere aandacht. Tuinboon als representant van gewasgroep 3 of 4 (afhankelijk van de grondsoort en indeling) toont nauwelijks een gewasreactie op K-toestand en K-bemesting. Het is niet aannemelijk dat gewassen die nog lager ingeschat zijn op hun gewasbehoefte wel op K-bemesting zullen reageren. Voor deze gewasgroepen zou een advies afgeleid



kunnen worden op basis van de export van K van het perceel verhoogd met een toeslag voor K-uitspoeling en verminderd met de hoeveelheid die door verwerking vrijkomt. De mate van K-uitspoeling is vast te stellen met mechanistische modellen, zoals die ontwikkeld zijn voor fosfaat, gegeven de fysisch-chemische gesteldheid van de bodem en gegeven een bepaald weertype. De beschrijving van het bodemchemische proces is dan – vanzelfsprekend – anders.

De kalium die door verwerking vrijkomt vraagt nader onderzoek. De literatuur op dit gebied is gedateerd maar biedt wel mogelijkheden tot grove schattingen.

Het onderzoek heeft plaatsgevonden binnen de door het project "Een nieuw kompas voor bemestingsadvisering" opgelegde randvoorwaarden. Daardoor is geconformeerd aan wetenschappelijke opvattingen van de jaren 1945-1975 die de basis hebben gelegd voor de huidige bemestingsadviezen. Alleen de databewerking is gespiegeld aan actuele en operationele statistische methoden. Er zijn nieuwe concepten voor onderbouwing van bemestingsadviezen ontwikkeld, bv. die welke nu gebruikt worden voor het opstellen van nieuwe fosfaatbemestingsadviezen voor bloembollen en intensieve open teelten van vollegrondsgroenten. Deze concepten bieden goede mogelijkheden om ook K-bemestingsadviezen te onderbouwen en te verbeteren. Deze benadering biedt met name perspectieven bij onderbouwing van zeer K-behoefte gewassen als spinazie. Met name bij zwak wortelende gewassen met een hoge K-behoefte zal K-CaCl<sub>2</sub> een landbouwkundige betekenis hebben.

## Referenties

- Anonymus, 1992. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouwgewassen. Commissie voor de Bemesting van Akkerbouwgewassen (bouwland). Informatie en Kenniscentrum voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond.
- Anonymus, 1994. Adviesbasis voor de bemesting van grasland en voedergewassen. Informatie en Kennis Centrum Veehouderij. Afdeling Rundvee-, Schapen- en Paardenhouderij. Publikatie nr. 44.
- Black, C.A., 1993. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Boskma, K., 1967. De invloed van het gehalte aan afslibbare delen en andere factoren op de optimale pH van kleigrond. Versl. Landbouwk. Onderz. 692.
- Boskma, K. & Heij, D. van der, 1964. Kalibemesting van fabrieksaardappelen op venige kleigrond. Versl. Landbouwk. Onderz. 644.
- Boskma, K. & Smet, L.A.H. de, 1968. Betekenis van een vochttrappenindeling voor oude veenkoloniale gronden, gemeten aan opbrengsten van fabrieksaardappelen in 1947. Landbouwkundig Tijdschrift 80(7): 269-275.
- Burg, P.F.J. van, 1967. Relation of rate of nitrogen fertilization, seed spacing and seed size to yield of potatoes. Netherlands Nitrogen Technical Bulletin, No. 4.
- Colwell, J.D., 1994. Estimating fertilizer requirements. A quantitative approach. CAB International, Wallingford.
- Ehler, P.A.I. & Steenhuizen, J.W., 1995. Landbouwkundige betekenis van calciumchloride als extractie-middel van grond voor de bepaling van de kaliumbehoefte van het gewas. Intern rapport. DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek, Haren.
- Ferrari, Th.J., 1950. Onderzoek betreffende kali- en fosfaatbemesting op de stroomgronden van de Bommelerwaard. Maandblad Landbouwvoorlichtingsdienst 7: 1-6.
- France, J. & Thornley, J.H.M., 1984. Mathematical models in agriculture. A quantitative approach to problems in agriculture and related sciences. Butterworths, Londen, 335 pp.
- Iritani, W.M., 1963. The effect of summer temperatures in Idaho on yield of Russet Burbank potatoes. American Potato Journal 40: 47-52.
- 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, UK.
- Heady, E.O. & Dillon, J.L., 1961. Agricultural production functions. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Henkens, Ch., 1981. Het bemestingsadvies ten aanzien van fosfaat en kali en hogere opbrengsten. Bedrijfsontwikkeling 12: 285-291.
- Horst, K. ter, 1970. Proef over de effecten van stikstof, kalium en chloride op de zetmeelopbrengst van fabrieksaardappelen. Verslag van IB 1027 (1965-1066). Rapport 3, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.
- Houba, V.J.G., Novozamsky, I., Lexmond, Th.M. & Lee, J.J. van der, 1990. Applicability of 0,01 M CaCl<sub>2</sub> as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. Communications in Soil Science and Plant Analysis 21: 2281-2290.
- Houba, V.J.G., Lexmond, Th.M., Novozamsky, I. & Lee, J.J. van der, 1993. Toekomst van grondonderzoek in Nederland. Bodem 4 (2): 63-67.
- Loon, C.D. van, Veerman, A. & Bus, C.B., 1993. De teelt van consumptieaardappelen. Teelthandleiding nr. 57. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad.

- Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO), Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), 1996. Landbouwcijfers 1996.
- Mead, R. & Pike, D.J., 1975. A review of response surface methodology from a biometric viewpoint. *Biometrics* 31: 803-851.
- Mitscherlich, E., 1909. Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages. *Landwirtschaftliche Jahrbücher* 38: 537-552.
- Mulder, J., 1973. Het verloop van de kaliumtoestand van de grond in de Noordoostpolder en Oostelijk Flevoland en de kaliumvoorziening van aardappelen.
- Neeteson, J.J., 1989. Effect of reduced fertilizer nitrogen application rates on yield and nitrogen recovery of sugar beet and potatoes. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 37: 227-236.
- Neeteson, J.J. & Wadman, W.P., 1987. Assessment of economically optimum application rates of fertilizer N on the basis of response curves. *Fertilizer Research* 12: 37-52.
- Neeteson, J.J., Wadman, W.P. & Ehlert, P.A.I., 1987. Assessment of optimum application rates of fertilizer K on the basis of response curves. In: *Methodology in Soil-K Research, Proc. 20th colloquium IPI, Worblaufen/Bern, 1989*, pp. 395-401.
- Novozamsky, I. & Houba, V.J.G., 1987. Critical evaluation of soil testing methods for K. In: *Methodology in Soil-K Research. Proc. 20th colloquium IPI, Worblaufen/Bern*, pp. 165-185.
- Paauf, F. van der, 1947. Onderzoekingen over fosfaat- en kalibemesting op kleigronden van de Zuidhollandsche eilanden. *Versl. Landbouwkd. Onderz. No. 53 (5): A213-246*.
- Paauf, F. van der, 1948. Fosfaat- en kalibemestingsonderzoek op de Betuwse rivierklei met behulp van zeer eenvoudig opgezette proefvelden. *Landbouwkundig Tijdschrift* 7: 290-293.
- Paauf, F. van der, 1958. De invoering van het kaligetal op kleibouwland. *Landbouwkundig Tijdschrift* 70: 737-748.
- Paauf, F. van der, 1959. Die Auswertung der Bodenuntersuchung auf Phosphorsäure und Kali in den Niederlande. *Landwirtschaftliche Forschung* 12: 86-94.
- Paauf, F., van der, 1966. Fluctuaties van aardappelopbrengsten in de veenkoloniën ten gevolge van veranderingen in de bodemvruchtbaarheid onder invloed van de regenverdeling. *Landbouwkundig Tijdschrift* 78: 136-142.
- Paauf, F. van der, & Ris, J., 1955. De betekenis van de kalitoestand voor aardappelen op kleigronden in Noord-Holland. *Versl. Landbouwkd. Onderz. No. 61.6*.
- Paauf, F. van der & Ris, J., 1960. Een nieuw kaligetal voor bouwland op zand- en dalgrond. *Landbouvoorlichting* 19: 719-725.
- Paauf, F. van der & Ris, J., 1962. Bruikbaarheid van het K-getal voor bouwland op sterk humushoudende gronden. *Landbouvoorlichting* 21: 265-267
- Prummel, J., 1962a. Najaars- en voorjaarsbemesting met fosfaat en kali op bouwland. *Landbouwkundig Tijdschrift* 74: 252-260.
- Prummel, J., 1962b. Voorraadbemesting met kali op rivierklei. *Landbouwkundig Tijdschrift* 74: 737-751.
- Prummel, J., 1964. Nieuw kali-advies voor aardappelen op kleigronden. *Kali* 61: 3-8.
- Prummel, J., 1977. Waardering van de kalitoestand van rivierleemgronden in vergelijking met zee-klei, rivierklei, löss en zandgrond. *Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, rapport 11-77*.
- Prummel, J., 1978. De kalibehoeftte van aardappelen op zand- en dalgrond in afhankelijkheid van de bouwvoordikte. *Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, rapport 18-78*.
- Prummel, J., 1979. Fosfaat- en kalibemesting van tuinbonen op landbouwgronden. *Bedrijfsontwikkeling* 10: 77-80.
- Prummel, J., 1981a. Kalidüngung und Kartoffelqualität. *Der Kartoffelbau* 32 (3): 73-76.
- Prummel, J., 1981b. Bemestingsbeleid voor fosfaat en kali op bouwland. 2. Kalium. *Stikstof* 8: 478-483.

- Prummel, J., 1984. K-HCl in het profiel op zeeklei en loess na kalibemesting in de herfst en in de winter (resultaten van 39 K-blauw-proeven consumptie-aardappelen, 1974, 1975, 1976 en 1977). *Buffer* 30 (1): 2-6.
- Richter, D. & Kerschberger, M., 1991. Methoden zur Ermittlung von Grenzwerten der Phosphor-, Kalium- und Magnesium-Gehalte in Ackerböden. *Zeitschrift für Pflanzernährung und Bodenkunde* 154: 337-342.
- Ris, J., 1972. De optimale fosfaatbemesting van aardappel. *Bedrijfsontwikkeling* 3(5): 473-474.
- Sluijsmans, C.M.J., 1956. De reactie van de aardappel op kalk-kali-verhoudingen in de grond. *Versl. Landbouwkd. Onderz.* 61 (11), 82 pp.
- Sissingh, H.A., 1964. Vergelijking van de K-HCl- en de K-ox-bepalingsmethode. Intern rapport van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, 18 pp.
- Venekamp, J.T.N. & Ris, J., 1953. Enige resultaten van de kaliproefvelden in het zuidwestelijk zee-kleigebied (serie 11 in 1952). *Gestencilde verslagen van interprovinciale proeven nr. 39*. Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen.
- Vierveijzer, H.C., Lepelaar, A. & Dijkstra, J., 1979. Analysemethoden voor grond, rioolslib, gewas en vloeistof. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, 261 pp.
- Vries, O., de & Hetterschij, C.W.G., 1945. Onderzoekingen over de methodiek bij kalibepalingen in de grond. *Versl. Landbouwkd. Onderz.* 50 (4): 139-191.