

# Wageningen UR Livestock Research

*Partner in livestock innovations*



Rapport 500

## Doeltreffend kali-bemestingsadvies voor snijmaïs

Studie naar achtergronden en verbeteringen  
van huidig advies

September 2011



## Colofon

### Uitgever

Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 65, 8200 AB Lelystad  
Telefoon 0320 - 238238  
Fax 0320 - 238050  
E-mail [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

### Redactie

Communication Services

### Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel  
van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek,  
2011

Overname van de inhoud is toegestaan,  
mits met duidelijke bronvermelding.

### Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt  
geen aansprakelijkheid voor eventuele schade  
voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van  
dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research en Central  
Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting  
Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen  
met het Departement Dierwetenschappen van  
Wageningen University de Animal Sciences Group  
van Wageningen UR (University & Research  
centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV  
onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze  
onderzoeksoopdrachten zijn de Algemene  
Voorwaarden van de Animal Sciences Group  
van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de  
Arrondissementsrechtbank Zwolle.

## Abstract

The current potassium fertilisation recommendation for silage maize is outdated and does not take into account the potential of production of plots and residual (K) effect from cover crops or grass. That is why a study was conducted on the background and efficiency of the current recommendations. This report described the results and conclusions of this study. Recommendations for further research were formulated from the conclusions.

## Keywords

Silage maize, potassium, fertilisation, yield, potassium content, residual effect

## Referaat

ISSN 1570 - 8616

## Auteurs

H.A. van Schooten  
L. van Schöll (NMI)  
W. van Dijk (PPO)  
J.C. van Middelkoop  
D.J. den Boer (NMI)

## Titel

Doeltreffend kali-bemestingsadvies  
voor snijmaïs

Rapport 500

## Samenvatting

Het huidige kali-bemestingsadvies voor snijmaïs is gedateerd en houdt geen rekening met productiepotentieel van percelen en de nalevering uit een groenbemester of graszode. Daarom is een studie uitgevoerd naar de achtergronden en doelmatigheid van het huidige advies. In dit rapport worden de resultaten en conclusies van deze studie beschreven. Vanuit de conclusies zijn tevens aanbevelingen voor vervolgonderzoek geformuleerd.

## Trefwoorden

Snijmaïs, kali, bemesting, opbrengst, kali-gehalte, nalevering



LIVESTOCK RESEARCH  
WAGENINGEN UR



PRAKTIJKONDERZOEK  
PLANT & OMGEVING  
WAGENINGEN UR



Rapport 500

## Doeltreffend kali-bemestingsadvies voor snijmaïs

### Effective potassium fertilisation recommendation for silage maize

H.A. van Schooten  
L. van Schöll (NMI)  
W. van Dijk (PPO)  
J.C. van Middelkoop  
D.J. den Boer (NMI)

September 2011



## Voorwoord

Maïs is naast gras het belangrijkste voedergewas voor de rundveehouderij. Jaarlijks wordt er ruim 240.000 ha maïs geteeld. De Nederlandse veehouder krijgt te maken met steeds strengere gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat. Voor een maximaal rendement van deze nutriënten dient de kalivoorziening op orde te zijn. Tegelijkertijd dient een te hoog aanbod voorkomen te worden omdat dit gepaard gaat met onnodige verliezen en kosten.

Het huidige kali-bemestingsadvies is gebaseerd op verouderde onderzoeksresultaten en tot stand gekomen binnen randvoorwaarden die nu niet meer gelden. Daarom is in samenwerking tussen Wageningen UR Livestock Research, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO) en het Nutriënten Management Instituut (NMI) een project gestart om tot een verbeterd kali-advies te komen. Het project werd gefinancierd door het Productschap Zuivel (PZ).

In dit rapport wordt de huidige kennis op een rij gezet en worden de hiaten genoemd om tot een nieuw advies te komen. Hopelijk draagt dit bij aan een efficiëntere inzet van kalibemesting en zodoende tot een beter rendement van de sector.

De auteurs



## Samenvatting

### Inleiding

Kalium (K) is een belangrijk element voor de groei en opbrengst van de maïs. In het verleden werd K in (zeer) ruime mate met dierlijke mest aangevoerd. Door de mestwetgeving zal de hoeveelheid fosfaat die mag worden aangevoerd worden beperkt tot 50 à 60 kg fosfaat per ha. Gevolg hiervan is dat er nog 35 à 40 m<sup>3</sup> runderdrijfmest per ha kan worden toegediend. Hiermee wordt nog 200 tot 230 kg kali aangevoerd. Het advies bij een lage K-toestand is 300 kg kali per ha. Dit betekent dat er een aanvulling met kunstmestkali nodig is. Tegelijkertijd zijn de snijmaïsofbrengsten de laatste decennia gestegen waardoor er meer kali wordt afgevoerd. Het aanvullen van kali uit kunstmest gaat gepaard met extra kosten voor de praktijk, terwijl niet aanvullen mogelijk leidt tot opbrengstreductie en daarmee tot een slechte benutting van N en P. Voor de praktijk is het daarom van belang om het huidige kalibemestingsadvies, dat dateert van begin jaren tachtig, nog eens tegen het licht te houden. Een aantal vragen zijn daarbij van belang, zoals: Wat is effect van krappere bemesting op de K-toestand van de bodem? Hoe kan bij K-advies rekening worden gehouden met productiepotentieel van percelen en met nalevering uit het ondergeploegde gewas? Wat is de werking van de kali als deze in de rij gegeven wordt? Is de analyse op basis van het K-getal voor verbetering vatbaar? Deze studie is erop gericht om vanuit bestaande kennis antwoorden op bovenstaande vragen te geven en om zo nodig van daaruit aanbevelingen te geven voor aanvullend onderzoek.

### Resultaten

Kali wordt gemakkelijk opgenomen en is het begeleidend ion van nitraat in de plant. Het is belangrijk voor de vochtregulatie, speelt een rol bij transport- en biochemische processen en is van belang voor de ontwikkeling van het wortelstelsel. Bij voldoende K is maïs minder stress gevoelig en treedt minder snel legering en stengelrot op.

In het huidige bemestingsadvies wordt het K-getal gebruikt als maat voor beschikbaarheid. Er is echter een slechte correlatie tussen het K-getal en de gewasrespons. Door het gebruik van het K-getal is het niet mogelijk rekening te houden met het effect van andere bodemfactoren en nutriënten in de bodem op de beschikbaarheid van K. Dit wordt nog eens bemoeilijkt door extractie van de verschillende nutriënten in verschillende extractiemiddelen. Er zijn momenteel analysemethoden beschikbaar waarmee de beschikbaarheid en nalevering van K beter kan worden geschat en waarbij tevens rekening gehouden kan worden met andere bodemparameters en nutriënten in de bodem.

Het huidige bemestingsadvies voor snijmaïs is opgebouwd uit een bodem- en een gewasgericht advies. Het bodemgerichte advies geeft aan welke toestand dient te worden nagestreefd en welke bemesting daarvoor nodig is. Het gewasgerichte advies geeft de economisch optimale kalibemesting gegeven de kalitoestand van de bodem. Laatstgenoemd advies is vooral afgeleid van onderzoek naar korrelmaïs in de jaren 40 en 50 van de vorige eeuw. Voor continueert zijn beide adviezen geïntegreerd tot één advies. Een vergelijking van de Nederlandse en Duitse adviezen laat zien dat de Nederlandse adviezen wat hoger zijn dan de Duitse.

In het verleden werden soms grote hoeveelheden mest naar het maïsland gebracht. De K-toestand was daardoor ruim voldoende. Tot 2010 kon met de mest nog voldoende K naar het maïsland worden gebracht om te voldoen aan het bemestingsadvies bij toestand laag. Een daling van de K-toestand hoeft dan (nog) niet te worden verwacht. In een studie naar het verloop van de K-toestand in de afgelopen decennia is er in voor maïs relevante regio's op zandgrond alleen een licht dalende tendens waarneembaar voor de K-toestand. K is van invloed op de opname van Mg. De Mg-toestand en de pH zijn niet duidelijk gewijzigd.

Uit een inventarisatie van Nederlands en buitenlands onderzoek bleek dat significante opbrengsteffecten (10-20%) vooral worden waargenomen op gronden met een lage kalitoestand. De onderzoeksresultaten naar de effecten van K-bemesting in de rij waren niet eenduidig en varieerden van geen effect tot een betere werking met een factor 3. Dit dient beter onderbouwd te worden.

Uit diverse onderzoeken is de nalevering van K uit ondergeploegde graszode en groenbemester gedestilleerd. Na het onderwerken van meerjarig grasland in vroege voorjaar (eind maart, begin april) komt vanuit boven- en ondergrondse delen 130 kg K<sub>2</sub>O per hectare vrij. Als er eerst een vroege snede geoogst wordt kan er 95 kg K<sub>2</sub>O per hectare beschikbaar komen. De hoeveelheid K<sub>2</sub>O die beschikbaar kan komen uit Italiaans raaigras als vanggewas varieert van 25

tot 120 kg per hectare. Bij winterrogge varieert dit van 20 tot 85 kg per hectare. De sterke variatie is afhankelijk van groeiomstandigheden en zaai- en inwerktijdstip van het vanggewas.

De opbrengst van maïs is de afgelopen 15 jaar gemiddeld met 250 kg drogestof per ha per jaar toegenomen. Uit analyse van een dataset van maïsproeven bleek er een duidelijk positief verband te bestaan tussen de drogestofopbrengst en het kaliafvoer van de maïs, waarbij de grootte van het effect afnam bij hogere opbrengsten. Het K-gehalte in de drogestof het gewas is afhankelijk van de groeifase. In de internationale literatuur zijn geen uniforme kritische K-gehalten gevonden.

### **Aanbevelingen**

- Overschakelen naar een methode die K-beschikbaarheid (direct en vanuit nalevering) beter inschat onder verschillende omstandigheden dan het huidige K-getal. Hiervoor kan worden voortgeborduurd op de kennis vanuit het graslandonderzoek (Bussink et al., 2011). Hieruit is gebleken dat voor het ontwikkelen van een nieuw K-advies voor zandgronden vooral de hoeveelheid K geëxtraheerd met 0,01 M CaCl<sub>2</sub> relevant is. Dit geeft de K-intensiteit weer. Op de klei- en zavelgronden gronden speelt daarnaast de levering uit K-uitwisselbaar en K-gebonden mee (K-capaciteit). Voor deze gronden is het nodig om de K-levering vast te stellen op basis van intensiteit en van capaciteit. Een combinatie van de 0,01 M CaCl<sub>2</sub> meting met een meting van K-bezetting of het lutumgehalte van de grond lijkt daarbij perspectiefvol. Indien met één extractiemethode meerdere elementen kunnen worden geanalyseerd kan tevens beter rekening gehouden worden met het effect van andere nutriënten op de K-beschikbaarheid..
- Het K-getal is slecht gecorreleerd met de gewasrespons. Daarnaast is het huidige gewasgericht advies gedateerd en gebaseerd op korrelmaïs. Daarom is het wenselijk om onderzoek te doen naar gewasrespons op K-beschikbaarheid, bepaald volgens de nieuwste inzichten. Belangrijk hierbij is dat gronden met verschillende K-beschikbaarheid worden meegenomen.
- Door de stijging van de maïs opbrengsten is kaliafvoer in de loop der tijd gestegen. Wanneer we er vanuit gaan dat de onttrekking minimaal moet worden gecompenseerd dan lijkt het derhalve zinvol om het huidige bodemgericht advies (dat deels is gebaseerd op de kaliafvoer) aan te passen aan de actuele opbrengst- en kaliafvoer-niveaus en om het advies opbrengstafhankelijk te maken. Gebleken is dat er een duidelijk verband is tussen drogestofopbrengst en kaliumopname. Het gevonden verband kan worden gebruikt om het bodemgericht advies te corrigeren voor verschillen in productiepotentieel en kaliumonttrekking tussen percelen.
- Er zijn geen actuele en eenduidige resultaten bekend over de efficiëntie van kali, toegediend als rijenbemesting. Voor een maximale fosfaat benutting uit drijfmest binnen het nieuwe mestbeleid zal in de praktijk steeds meer drijfmest als rijenbemesting worden toegediend. Daarmee wordt dus ook steeds meer kali gegeven als rijenbemesting. Het is daarom wenselijk om de efficiëntie van kali toegediend als rijenbemesting te onderzoeken.
- Uit de resultaten van deze deskstudie kan het bemestingsadvies worden gecorrigeerd voor de nalevering van kali uit een ondergeploegde zode en groenbemester. Hiervoor is geen aanvullend onderzoek nodig.
- Om in de praktijk vast te kunnen stellen of kali de beperkende factor is geweest voor de opbrengst is het wenselijk om onderzoek te doen naar het kritische K-gehalte.

### **Aanvullend onderzoek**

Om een K-bemestingsadvies te kunnen opstellen waarbij op adequate wijze rekening worden gehouden met de K-beschikbaarheid vanuit de bodemvoorraad is aanvullend onderzoek nodig in de vorm van veldproeven waarbij de volgende aspecten aan de orde komen:

- Betere schatting van de K-beschikbaarheid dan via huidige analyse methodiek.
- Relatie tussen K-beschikbaarheid en gewas opbrengst (drogestof en K).
- Het kritische K-gehalte.
- De relatie van K-beschikbaarheid met andere bodemparameters als pH, Ca, Mg, NH<sub>4</sub> en Na.
- De aanvulling met K uit bemesting gegeven een bepaalde K-beschikbaarheid.
- Onderscheid tussen grondsoorten.
- De benutting van kali wanneer het als rijenbemesting wordt toegediend.



## Summary

### Introduction

Potassium (K) is an important element for the growth and production of maize. In the past K was supplied through animal manure to a (very) large extent. Due to manure legislation the amount of phosphate that is allowed to be supplied will be limited to 50 to 60 kg of phosphate /ha, the consequence of which is that only 35 to 40 m<sup>3</sup> of cattle slurry can be applied per ha, adding up to 200 to 230 kg of potassium (K<sub>2</sub>O) in total. It is recommended to supply 300 kg of K<sub>2</sub>O/ha when the level of K is low. This means that an additional supply of artificial K is necessary. Meanwhile the silage maize yields have increased the past few decades, due to which more K is removed. The completion of K from artificial fertiliser is accompanied by extra costs, while non-completion may lead to less yield and hence to a poor utilisation of N and P. It is therefore important for practice to reconsider the current potassium recommendation, which dates back to the early 1980s. A number of questions are important here, such as: What is the effect of less fertilisation on the K-condition of the soil? In what way can the production potential of the plots and the residual effect from the crop ploughed in be taken into account? What is the effect of K if this is administered in the row? Is the analysis on the basis of the K-number open to improvement? This study aims at answering the questions above from existing knowledge and at giving recommendations for further research, if necessary.

### Results

Potassium is taken up easily and is the accompanying ion of nitrate in the plant. It is important for the moisture regulation, plays a part in transportation and biochemical processes and is important for the development of the root system. With sufficient K, maize is less subject to stress and there is less chance of lodging and fusarium.

In the current recommendation for fertilisation, the K-number is used as a measure for availability. There is however a poor correlation between the K-number and the crop response. By using the K-number it is not possible to take account of the effect of other soil factors and nutrients in the soil on the availability of K. This is made more difficult by the extraction of the different nutrients in the various extraction products. At the moment there are analysis methods with which the availability and release afterwards of K can be estimated better and where account can also be taken of other soil parameters and nutrients in the soil.

The current recommendation for fertilisation for silage maize is composed of soil and crop-targeted advice. The soil-targeted advice indicates what condition should be strived after and which fertilisation is needed for that. The crop-targeted advice includes the economically optimal K-fertilisation given the K condition of the soil. The latter advice is mainly derived from research on grain maize in the 1940s and 1950s. For a continuous production system both recommendations have been integrated into one recommendation. A comparison of the Dutch and German recommendations learns that the Dutch recommendations for K are somewhat higher than the German ones.

In the past large amounts of manure were sometimes applied to the maize land, resulting in soil fertility for K that was amply sufficient. Until 2010 sufficient K could be applied to the land through the manure to meet the fertilisation recommendation at low K soil fertility. Then a reduction of the K soil fertility need not be expected (yet). In a study on the course of the K soil fertility in the previous decades, only a slightly decreasing trend for the K soil fertility in the for maize relevant regions on sandy soil could be seen. K is important for the uptake of Mg. The Mg-condition and the pH did not change demonstrably.

A survey of Dutch and foreign research showed that significant yield effects (10-20%) are mainly seen on soils with a low K soil fertility. The research results as to the effects of banded K fertilisation were not unambiguous and varied from no effect to a better effect with a factor 3. This should be underpinned in a better way.

The residual K effect from grass and cover crops ploughed in was taken from various studies. After ploughing in of perennial grassland in early spring (end of March, beginning of April), 130 kg of K<sub>2</sub>O/ha is released from upper- and underground. If there is an early mowing first, 95 kg of K<sub>2</sub>O/ha can become available.

The amount of K<sub>2</sub>O that can become available from Italian rye-grass as catch crop varies from 25 to 120 kg/ha. For winter rye this varies from 20 to 85 kg/ha. The wide variation is dependent on the growth conditions and moment of sowing and affecting of the catch crop.

The past 15 years the yield of silage maize has increased by 250 kg of dry matter/ha per year. Analysis of a dataset of maize experiments showed a clearly positive relationship between the dry matter yield and the K-removal of the maize, where the level of the effect decreased with higher yields. The K-content in the dry matter is dependent on the growth stage. In international literature no uniform critical K-contents were found.

### **Recommendations**

- Change to a method that estimates the K-availability (direct and released afterwards) better in different circumstances than with the current K-number. For this the knowledge from the grassland study (Bussink et al., 2011) can be elaborated on. This study has shown that for developing a new K-recommendation for sandy soils, particularly the amount of K extracted with 0.01 M CaCl<sub>2</sub> is relevant. This indicates the K-intensity. On clay and sandy clay also supply from exchangeable K and fixed K plays a part (K-capacity). For these soils it is necessary to determine the K-supply on the basis of intensity and capacity. A combination of the 0.01 M CaCl<sub>2</sub> measurement with one of K-occupancy or the clay content of the soil seems promising. Moreover, if with one extraction method more elements can be analysed, better account can be taken of the effect of other nutrients on the K-availability.
- The K-number is poorly correlated with crop response. Moreover, the current crop-targeted advice is outdated and based on grain maize. That is why it is desirable to do research into crop response to K-availability, defined according the latest views. It is important that soils with different K-availability are considered.
- Due to the increase in maize yields, K-removal has also increased lately. If we assume that removal must at least be compensated for, it seems appropriate to adjust the current soil-targeted advice (partly based on K-removal) to the current yield and K-removal levels and to make the recommendations yield-dependent. It has been shown that there is a clear relationship between the dry matter yield and potassium uptake. The relationship found can be used to correct the soil-targeted advice for differences in production potential and potassium withdrawal among the plots.
- No current and unambiguous results are known on the efficiency of potassium application in the row. For maximum phosphate utilisation from slurry within the new manure policy, slurry will increasingly be applied as banded injection, the result of which is more potassium as row fertilisation. It is therefore desirable to study the efficiency of banded potassium fertilizer ..
- The results from this desk study can be used for correcting the fertilisation recommendation for potassium released afterwards from grassland and green manure ploughed in. Further research is not necessary for this.
- To be able to determine in practice whether potassium has been the limiting factor for the yield, it is recommended to do research on the critical K-content.

### **Further research**

To be able to formulate a K-fertilisation recommendation, where adequate account can be taken of the K-availability from the soil supply, further research is needed in the way of field experiments where the following aspects are considered:

- Better estimation of the K-availability than through the current analysis methodology.
- Relationship between K-availability and crop yield (dry matter and K).
- The critical K-content.
- The relationship of K-availability with other soil parameters such as pH, Ca, Mg, NH<sub>4</sub> and Na.
- Completion with K from manure given a particular K-availability.
- Distinction between kinds of soil.
- Utilisation of banded potassium fertilizer .

# Inhoudsopgave

## Voorwoord

## Samenvatting

## Summary

Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Achtergronden</b> .....	<b>2</b>
2.1	Betekenis van kalium voor (snij)maïs .....	2
2.1.1	Opname van K .....	2
2.1.2	Functies van K in de plant .....	2
2.1.3	K-gebrek .....	3
2.1.4	Wortelopnamecapaciteit van maïs voor kali .....	3
2.1.5	Kalibehoefte en voorziening door bemesting .....	4
2.1.6	Kritisch K-gehalte en interactie met Mg en Na .....	4
2.1.7	Conclusies .....	6
2.2	Analyse methoden voor K-levering bodem .....	6
2.2.1	Kalium in de bodem .....	6
2.2.2	Extractie op basis van K-HCl en omzetting naar K-getal .....	8
2.2.3	Kanttekeningen bij gebruik K-getal .....	10
2.2.4	Verbetering karakterisering K-levering bodem .....	12
2.2.5	Conclusies .....	14
2.3	Achtergronden huidig kaliadvies snijmaïs .....	14
2.3.1	Historie kalibemestingsadviezen algemeen .....	14
2.3.2	Huidig advies maïs .....	14
2.3.3	Duitse adviezen .....	17
2.3.4	Conclusies .....	18
<b>3</b>	<b>Bemestingsonderzoek</b> .....	<b>19</b>
3.1	Effecten van K-bemesting in recente veldproeven .....	19
3.1.1	Nederlands onderzoek .....	19
3.1.2	Buitenlands onderzoek .....	19
3.1.3	Conclusie .....	22
3.2	Werking K toegediend als rijenbemesting .....	23
3.2.1	Oud onderzoek voor 1970 .....	23
3.2.2	Recent onderzoek .....	24
3.2.3	Conclusies .....	25
<b>4</b>	<b>Bijdrage van K uit zode en groenbemesters</b> .....	<b>26</b>
4.1	Grasland als voorgewas, onderwerken vroege voorjaar .....	26
4.2	Grasland als voorgewas, onderwerken na oogst van 1 <sup>ste</sup> snede .....	27
4.3	Italiaans raaigras als vanggewas .....	28
4.4	Winterrogge als vanggewas .....	29
4.5	Conclusies .....	30

<b>5</b>	<b>Ontwikkeling K-toestand en relevante bodemvruchtbaarheidsparameters .....</b>	<b>32</b>
5.1	Regelgeving rond mest toedienen op maïsland .....	32
5.2	Verloop van K en relevante bodemparameters in bodem per regio .....	33
5.2.1	Zuidelijke zand .....	34
5.2.2	Noordelijk zand .....	35
5.2.3	Rivierklei .....	37
5.2.4	Flevopolder .....	38
5.2.5	Conclusies .....	39
<b>6</b>	<b>Drogestofopbrengsten en kaligehalten .....</b>	<b>40</b>
6.1	Ontwikkeling van de drogestofopbrengst van snijmaïs in de tijd .....	40
6.1.1	Land- en Tuinbouwcijfers.....	40
6.1.2	Trend op basis van BIN-bedrijven .....	40
6.1.3	Uitkomsten van rassenproeven .....	41
6.1.4	Vergelijking van de bronnen. ....	41
6.1.5	Conclusie .....	42
6.2	Ontwikkeling K-gehalten in snijmaïs .....	42
6.2.1	Onttrekking.....	42
6.2.2	Verloop K- en Mg-gehalten in snijmaïskuilen .....	42
6.2.3	Conclusies .....	43
6.3	Kaliumgehalte en drogestofopbrengst .....	43
6.3.1	Spreiding.....	43
6.3.2	Relatie drogestofopbrengst en kaliumgehalte .....	43
6.3.3	Relatie drogestofopbrengst en kaliumopname.....	43
6.3.4	Conclusies .....	44
6.4	Kritisch kaliumgehalte maïs .....	47
6.4.1	Informatie uit de literatuur .....	47
6.4.2	Kritische gehalten op basis van drog stof of verse stof .....	49
6.4.3	Conclusies .....	49
<b>7</b>	<b>Samenvattende conclusies.....</b>	<b>50</b>
<b>8</b>	<b>Aanbevelingen.....</b>	<b>52</b>
	<b>Referenties .....</b>	<b>54</b>

## 1 Inleiding

In maïs is kalium (K) een belangrijk element dat van belang is voor de stevigheid, watermanagement en stressbestendigheid. Een goede kali voorziening is tevens van belang voor een goede opbrengst en daarmee een efficiënte benutting van stikstof en fosfaat.

Het huidige kali-bemestingsadvies voor maïs dateert van begin jaren tachtig en is bij continueelt een combinatie van een bodemgericht en een gewasgericht advies ([www.bemestingsadvies.nl](http://www.bemestingsadvies.nl), Van Dijk & Van Geel, 2008 en Van Schooten et. al. 2009). Volgens dit advies moet er bij een K-getal van voldoende of lager 300 kg kali ( $K_2O$ ) worden gegeven. Bij vruchtwisseling is maïs ingedeeld in gewasgroep 4. Het kalibemestingsadvies is dan veel lager. Dit betreft echter een gewasgericht advies waar nog geen rekening is gehouden met het bodemgerichte advies dat meestal op rotatieniveau wordt ingevuld.

Vanuit het mestbeleid wordt de toegestane ruimte voor dierlijke mest beperkt. In het verleden werd met circa  $50\text{ m}^3$  runderdrijfmest ongeveer 300 kg  $K_2O$  per ha toegediend en daarmee altijd voldaan aan het kali-advies. De fosfaatbemesting op maïs wordt echter verder beperkt. Het streven is te komen tot een evenwichtsbemesting in 2015. Voor het meeste maïsland (fosfaattoestand gemiddeld tot hoog) betekent dit 50-60 kg  $P_2O_5$  per ha. Dit komt overeen met 35-40  $\text{m}^3$  runderdrijfmest. De kalibemesting met runderdrijfmest op maïsland wordt daarmee beperkt tot 200-230 kg  $K_2O$  per ha. Bij een K-getal van voldoende of lager zou dit volgens het huidige advies aangevuld moeten worden met 70-100 kg/ha kali uit kunstmest. Tegelijk is de verwachting dat de toestanden voldoende of lager meer zullen voorkomen door de krappere wordende bemesting met dierlijke mest en nattere winters (meer K-uitspoeling). Het huidige advies houdt bovendien geen rekening met het productiepotentieel van percelen en de nalevering uit de groenbemester of ondergeploegde zode. In de praktijk varieert de  $K_2O$ -afvoer met het gewas tussen de 150 en 325 kg  $K_2O$  per ha. Op sommige percelen is een grotere  $K_2O$ -aanvulling uit kunstmest nodig terwijl op percelen met een lage productie een krappere dierlijke mest gift nog steeds volstaat. Het aanvullen van kali uit kunstmest gaat gepaard met extra kosten voor de praktijk, terwijl niet aanvullen mogelijk leidt tot opbrengstreductie.

Samengevat is het voor de praktijk van belang om binnen het nieuwe mestbeleid de huidige kali-adviezen nog eens tegen het licht te houden. Daarbij zijn onderstaande vragen van belang:

- Hoe en onder welke omstandigheden is het kali advies van maïs destijds vastgesteld. Zijn de huidige omstandigheden aanleiding om het advies te herzien?
- Wat is het effect van een krappere kalibemesting op de kalitoestand van de bodem?
- Hoe is i.v.m. de K-opname de huidige Mg-toestand van de bodem?
- Hoe kan bij het K-advies rekening gehouden worden met het productiepotentieel van de percelen?
- Wanneer maïs na gras of een groenbemester wordt geteeld, wat is dan de levering van kali uit het ondergeploegde gewas en kan wisselbouw daarmee bijdragen aan een evenwichtiger kalibemesting op melkveebedrijven?
- Kali zou evenals N en P als rijenbemesting gegeven kunnen worden, wat is dan de werking?
- Is analyse op basis van het K-getal voor verbetering vatbaar?

Deze studie is erop gericht om na te gaan in hoeverre antwoorden op bovenstaande vragen zijn te geven vanuit bestaande kennis en welke hiaten er zijn. Van daaruit kunnen aanbevelingen worden gegeven voor aanvullend onderzoek.

Het uiteindelijke doel is een actueel kali-bemestingsadvies voor de teelt van maïs dat inspeelt op gewijzigde randvoorwaarden van het nieuwe mestbeleid en verschillen in productiepotentieel tussen percelen. In dit onderzoek wordt aangesloten bij de kennis die is opgedaan in het onderzoek naar een nieuw kali-bemestingsadvies voor grasland.

Dit rapport geeft een overzicht van:

- De functies en opname van kalium door maïs.
- De bestaande analyse methoden voor K-levering van de bodem en de mogelijke verbeteringen.
- Achtergronden van het huidige kali-bemestingsadvies en een vergelijking met een paar Duitse adviezen.
- Effecten van K-bemesting in (recente) veldproeven, inclusief de toepassing als rijenbemesting.
- De bijdrage van kali uit ondergeploegde zode en groenbemesters.
- Ontwikkeling van de K-toestand van de bodem tussen 1993 en 2009.
- Ontwikkeling van de drogestofopbrengsten en kaligehalten van snijmaïs.
- Relatie tussen drogestofopbrengst en kaligehalte en het kritische kaligehalte.

## 2 Achtergronden

### 2.1 Betekenis van kalium voor (snij)maïs

Kalium is een van de essentiële elementen voor alle levende organismen. In de plantenfysiologie is het de belangrijkste kation, zowel in concentratie in plantenweefsel als in fysiologische en biochemische functies.

De fysiologische betekenis van K voor planten is uitgebreid beschreven door Mengel and Kirkby (2001). De informatie in deze paragraaf is hieruit afkomstig, tenzij anders aangegeven.

#### 2.1.1 Opname van K

Een belangrijke eigenschap van K is de hoge snelheid en de efficiënte methode waarmee het wordt opgenomen en door de plant heen wordt verspreid. Het opname systeem van planten is in staat zich snel aan te passen aan een grote range van K-concentraties in de bodem. De snelle opname van K is te danken aan de verschillende K-opname systemen in planten, voornamelijk specifieke kanalen in het weefsel van planten.

Er zijn twee groepen van transportsystemen te onderscheiden in de wortel: de high affinity transporters en de low affinity transporters. De high affinity transporters zijn zeer selectief voor K, de low affinity transporters veel minder. De high affinity transporters zijn belangrijk wanneer er weinig K beschikbaar is. De low affinity transporters komen in actie bij hogere K-concentraties in de omringende nutriënten oplossing, in veel gevallen de bodem. De opname via low affinity transporters kunnen beschouwd worden als een passieve instroom van K via een elektrochemische gradiënt. Opname via high affinity K-opname gaat via een K-pomp tegen de elektrochemische gradiënt in, meestal in combinatie met een uitstroom van H of Na.

De opname en verdeling van K binnen de plantencel is strikt geregeld. Variatie van de omringende nutriënten oplossing met een factor 100 resulteerde in proeven in een variatie van K in de vacuoles van gerst met een factor 4 en de K in de cytosol (celvloeistof) bleef vrijwel gelijk in deze range.

#### 2.1.2 Functies van K in de plant

- K treedt op als begeleidend ion bij  $\text{NO}_3^-$  transport in de plant.
- K is van belang voor de vochtstatus van planten. Opname van water in cellen is vaak het gevolg van actieve K-opname. De waterretentie van planten is lager bij gebrek aan K. Een lage waterretentie kan tot gevolg hebben dat er te weinig water in de plant komt waardoor fysiologische en biochemische processen stoppen. Een voorbeeld is dat de celstrekking afhankelijk is van de turgor. De turgor is te laag wanneer er niet voldoende  $\text{K}^+$  in de plant komt en de celstrekking kan onvoldoende plaatsvinden. De meeste plantensoorten zijn voor het openen en sluiten van de huidmondjes, die van belang zijn voor de regulering van de vochttoestand in plant, afhankelijk K in de plant.
- Een optimale K voorziening van de plant zorgt voor een hoge waterefficiëntie (productie van eenheid drogestof per eenheid water transpiratie).
- De fotosynthese vereist een optimale K concentratie. Bij voldoende K in de plant worden er minder koolhydraten verbruikt voor de ademhaling en blijft er meer over voor groei.
- Biochemisch is de activering van diverse enzymsystemen een belangrijke functie van K. Andere kationen doen dat ook maar K geeft de hoogste activiteit bij lage maar ook bij hogere concentraties (vergeleken met onder andere  $\text{NH}_4$  en Na). Dit is onder andere bij de eiwitsynthese in planten. K-gebrek leidt tot synthese van toxische tussenproducten (amines) in de plant. Voldoende K-bemesting bij maïs zorgde in proeven voor een hoger eiwit- en aminozuurgehalte in de korrel (Pettigrew, 2008).
- Voor de biofysische functie kan K deels vervangen worden door Na, voor de biochemische functies niet.

### 2.1.3 K-gebrek

K-gebrek uit zich niet direct in zichtbare symptomen. In eerste instantie is er alleen groeireductie en later treden chlorose en necrose op: ontkleurd en dood weefsel. De symptomen treden het eerst op in oudere bladeren omdat deze bladeren de jonge bladeren van K voorzien. Bij mais beginnen de symptomen aan de randen en de punten van de bladeren (afbeelding 1 en 2).

Planten met K-gebrek vertonen een te lage turgor en bij te weinig vocht verleppe ze snel. Er is weinig droogte resistentie en planten vertonen gevoeligheid voor vorst-, schimmel- en zoutschade.

Er zijn ook wel abnormale ontwikkelingen van weefsels en celorganellen waargenomen in K-deficiënte planten. Vaatbundels kunnen extra verhouten. Waarschijnlijk veroorzaakt dat de snellere legering van planten bij K-gebrek. Verder zijn er weinig chloroplasten en mitochondriën. De cuticula (bovenste laagje cellen) is onderontwikkeld bij K-gebrek.

K heeft een functie in ziekteresistentie. In een maïsgewas zijn stengelrot en legering groter bij lage K-gehalten in de bodem. Dit is ook bij andere granen het geval.



**Afbeelding 1** Maïsgewas met kaliumgebrek (bron: K+S KALI GmbH)



**Afbeelding 2** Maïsbladeren met kaliumgebrek (Ohne K) en zonder kaliumgebrek (mit K) (bron: [www.kws-manager.com](http://www.kws-manager.com))

### 2.1.4 Wortelopnamecapaciteit van maïs voor kali

Een factor bij de bemesting van K is de wortelopnamecapaciteit die afhankelijk is van het wortelstelsel. Bij mengsels van gramineeën en leguminosen blijken in het veld de gramineeën veel meer K op te nemen. De wortelmorfologie (lengte, aantal wortelhaartjes) en waarschijnlijk de K opname potentie van een soort zijn belangrijke factoren in de concurrentie om K.

Door Samal et al. (2010) is een potproef onder gecontroleerde omstandigheden uitgevoerd waarin maïs, tarwe en suikerbiet vergeleken zijn in opnamecapaciteit van K uit de bodem. In de potproef was er één behandeling zonder toevoeging van K-bemesting en één met in de vorm van KCl, 250 mg K per kg grond. Alle potten kregen een bemesting met ammoniumnitraat. De maïs werd na 15 en 21 dagen geoogst, de tarwe en suikerbieten na 19 en 26. Spruit en wortel werden gescheiden en gewogen. Lengte en oppervlakte van de wortels werden bepaald.

De hoogste droge stofopbrengst in de spruit werd behaald door maïs, ongeveer twee keer zo hoog als tarwe en drie keer zo hoog als suikerbiet. Kennelijk heeft maïs een hoge begin groeisnelheid. Verder was er bij geen van de gewassen verschil tussen de twee K-niveaus in drogestof opbrengst.

De wortellengte per kg ds spruit was in de volgorde hoog-laag : tarwe-maïs-suikerbiet waarbij tarwe en maïs ongeveer te vergelijken waren en suikerbiet veel lager, ongeveer de helft van de twee granen. Suikerbiet is slechter voorzien van wortel op basis van wortellengte

De K-opname van maïs was op beide K-niveaus significant hoger dan die van suikerbiet en tarwe.

Bij alle gewassen was de K opname hoger bij een hogere bemesting. Bij tarwe een factor 1,4, bij maïs en suikerbiet een factor 2,4. De K-opname van maïs was een factor 1,5 hoger dan van suikerbiet.

Het K-gehalte in de wortel was bij suikerbiet 2 x hoger dan bij maïs. Per lengte was de wortel van suikerbiet efficiënter dan van maïs maar maïs maakte veel meer wortel aan.

Bij maïs werd de wortellengte per kg ds onder invloed van de K-bemesting 25% hoger, bij de andere twee gewassen had de K-bemesting geen invloed op de wortellengte.

### *2.1.5 Kalibehoeftte en voorziening door bemesting*

In de Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouwgewassen (van Dijk en van Geel, 2010) zit (snij)maïs in de gewasgroep 4, de minst behoeftige groep. Het advies voor continue teelt is maximaal 300 kg K<sub>2</sub>O per ha en voor vruchtwisseling maximaal 220 kg K<sub>2</sub>O per ha. Deze adviezen overtreffen nauwelijks de onttrekking (174 - 289 kg K<sub>2</sub>O). Dit strookt met de theorie dat snijmaïs een efficiënte K-opname heeft.

De hoeveelheid kalium die snijmaïs in ieder geval nodig heeft is de hoeveelheid kalium die in de plant terecht komt. De onttrekking van snijmaïs is te berekenen via het gehalte en de opbrengst van snijmaïs. De opbrengst van snijmaïs in Nederland varieert ongeveer tussen de 12 en de 20 ton ds per ha en het gehalte is gemiddeld 12 g K per kg ds (CVB, 2010). Dit is tussen de 144 en 240 kg K per ha, equivalent aan 174 en 289 kg K<sub>2</sub>O per ha. Dit is alleen het oogstbare deel en daarmee de onttrekking per jaar. Naast de K in de oogstbare delen, is er ook K aanwezig in wortel en stoppel. Dit blijft weliswaar achter in het veld en is weer beschikbaar voor een volgend gewas maar is voor de volledige ontwikkeling van het gewas wel nodig. Hoeveel dit is, is niet bekend. Wanneer er minder dan de hoeveelheid K voor oogstbare en niet oogstbare delen beschikbaar is in de bodem, is het fysiek onmogelijk om een volledig gewas te krijgen.

Belangrijk voor de bemesting van K is de timing van de beschikbaarheid (Mengel and Kirkby, 2001). Bij granen is de opname van K tijdens de vegetatieve fase belangrijk voor de uiteindelijke opbrengst. Bemesting met K tijdens de generatieve fase beïnvloedt de opbrengst nauwelijks. Bij aardappelen wordt de helft van de K opname van het gewas gerealiseerd in het eerste trimester van de groeiperiode. Bij maïs wordt het grootste deel van de K opgenomen voor de bloei (Pettigrew, 2008).

### *2.1.6 Kritisch K-gehalte en interactie met Mg en Na*

In niet-specifieke processen kan enige vervanging van K door Na vóórkomen zoals bij het onderhoud van cultuur. Het kritische K-gehalte in de plant is bij een ruime Na voorziening lager dan bij een krappe Na voorziening. In hoeverre, hangt af van de plantensoort omdat er veel verschil is in Na-opnamepotentieel tussen planten. Maïs heeft een lage Na-opname potentieel waardoor Na slechts in zeer geringe mate K-gebrek zal kunnen opvangen bij snijmaïs.

De kritische K-concentraties in plantmateriaal nemen af met de leeftijd van de plant omdat het aandeel groeiend weefsel afneemt en structureel weefsel toeneemt tijdens groei. In paragraaf 6.4 wordt verder ingegaan worden op het kritisch K-gehalte van maïs.



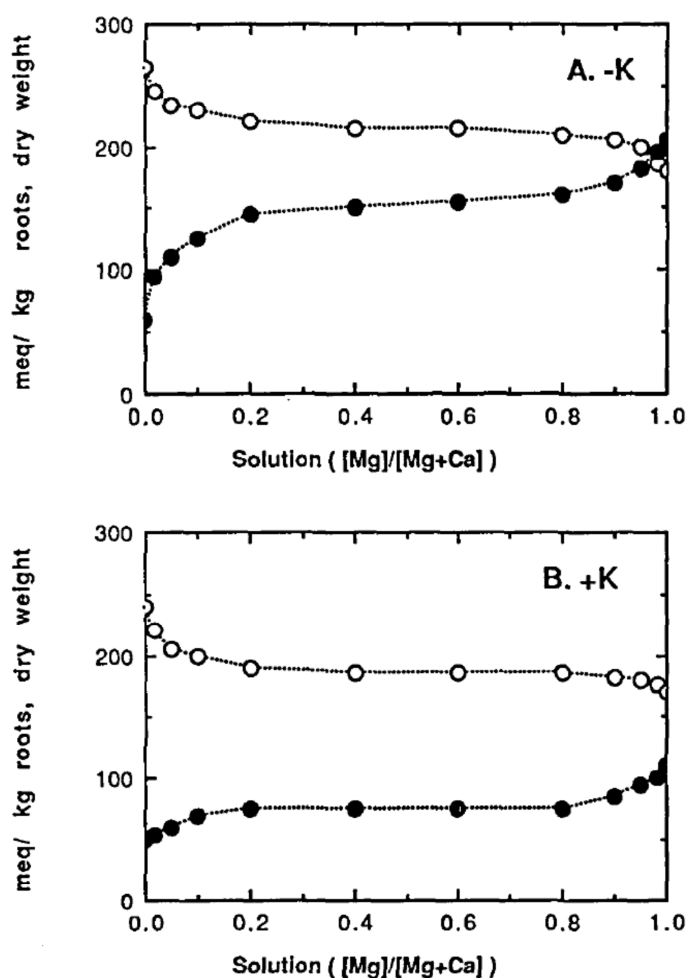
In Mengel and Kirkby (2001) wordt aangegeven dat er een negatieve invloed is van K opname op magnesium. Andersom beïnvloedt magnesium de K opname nauwelijks. Dit wordt over het algemeen over planten genoemd, er wordt niet specifiek ingegaan op de interactie in maïs.

In een onderzoek in het laboratorium is onderzoek gedaan aan de opname door maisplantjes van K, calcium en magnesium (Brauer, 1994). Maisplantjes, een week na ontkiemen, werden in oplossingen gezet met verschillende verhoudingen calcium en magnesium, steeds een totale oplossing van calcium plus magnesium van 2 mM, zonder K en met 0.1 mM K. Na 12 uur werden de plantjes uit de oplossing gehaald en afgespoeld met gedestilleerd water. De wortels werden afgesneden, gedroogd en geanalyseerd op kali-, magnesium- en calciumgehalte.

Het resultaat was dat vooral het gehalte van magnesium, maar ook dat van calcium verlaagd werd door de toevoeging van K in de oplossing (figuur 1). Magnesiumgehalte werd vrijwel gehalveerd door toevoeging van K.

Het K-gehalte werd vrijwel niet beïnvloed door de concentratie van magnesium (data werden niet getoond). Het K-gehalte was ongeveer 180 meq/kg ds wortel.

Een relatief kleine hoeveelheid K (0.1 mM K versus 2 mM Mg+Ca) heeft blijkbaar een grote invloed op het gehalte in de wortels van maiskiemplantjes.



**Figuur 1** Accumulatie in de wortel van calcium en magnesium onder invloed van de verhouding van  $[Mg]/[Mg+Ca]$  en K. (Brauer, 1994)

### 2.1.7 Conclusies

- Kali wordt gemakkelijk opgenomen door planten
- De K-concentratie in planten wordt strikt geregeld.
- Functies van K in de plant:
  - Begeleidend positief ion bij de opname van nitraat (negatief ion)
  - Regulator van de vochtstatus van de plant door het onderhoud van turgor en openen en sluiten van de huidmondjes. Er is minder water nodig bij voldoende K.
  - Nodig bij de fotosynthese en eiwitsynthese
- Het kritische K-gehalte (minimaal gehalte dat nodig is voor optimale groei) wordt lager bij het ouder worden van de plant.
- Kali kan voor een klein deel vervangen worden door Na. In mais is dit echter weinig omdat mais een laag opnamepotentieel heeft voor Na.
- Symptomen van K gebrek
  - Groeivertraging
  - Snel verleppen bij droogte
  - Weinig droogteresistentie
  - Gevoeligheid voor vorst-, schimmel en zoutschade
  - Gevoeligheid voor legering en stengelrot
  - Chlorose en necrose aan de bladranden, te beginnen bij de oudere bladeren.
- Het wortelstelsel van mais met voldoende K is een potproef na 15 en 21 dagen 25% langer per kg droge stof dan wanneer er onvoldoende K is.
- K-opname van een plant verdringt magnesium opname van een plant; magnesium opname van een plant beïnvloedt de K-opname van een plant niet.

## 2.2 Analyse methoden voor K-levering bodem

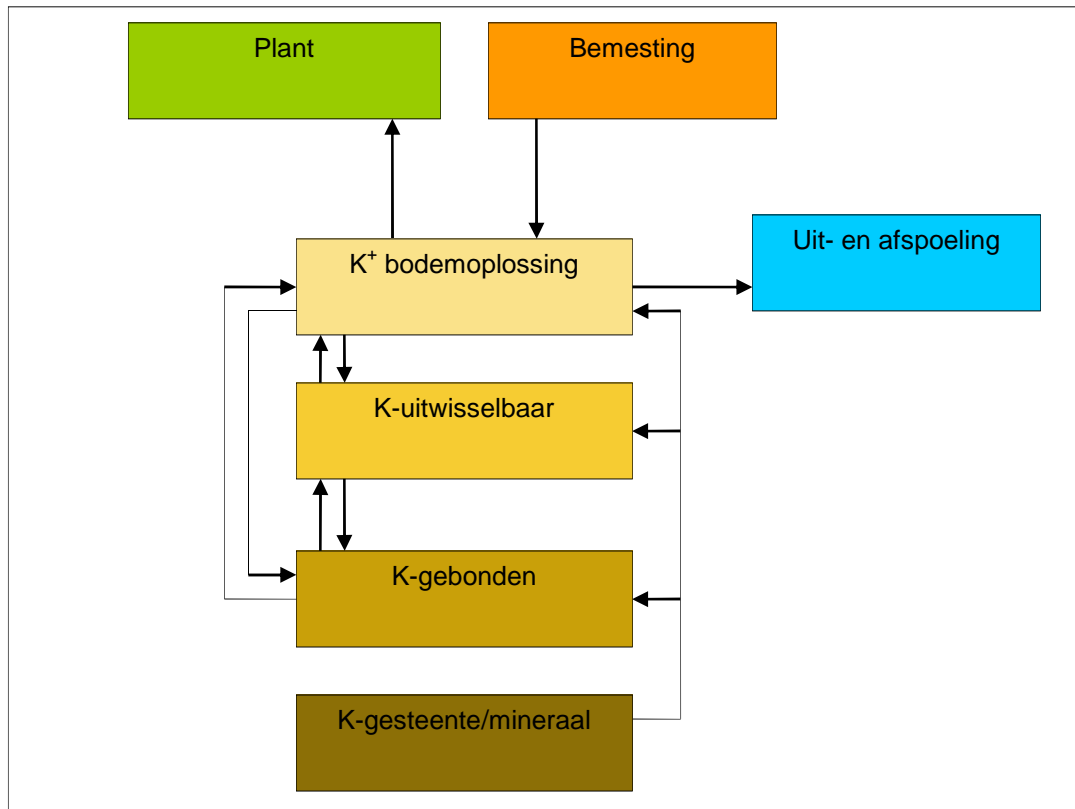
### 2.2.1 Kalium in de bodem

Het gedrag van kalium in de bodem is beschreven in eerdere rapporten over herziening K-advies grasland (Den Boer et al. 2010; Bussink et al 2011). Het volgende stuk is hiervan grotendeels overgenomen.

Kalium is in de bodem nagenoeg volledig aanwezig in minerale vorm. Hierdoor is de kringloop van K eenvoudiger dan van elementen als N, P en S, die ook in belangrijke mate voorkomen in de organische vorm. De hoeveelheid K in de bodem kan worden ingedeeld in 4 categorieën (Barber, 1995, Sparks & Huang, 1985):

1. K-oplossing,  $K^+$  ionen in de bodemoplossing;
2. K-uitwisselbaar, K geadsorbeerd aan de klei- en humusdeeltjes (CEC);
3. K-gebonden of gefixeerd, K ingesloten tussen de kleiplaatjes; en
4. K-gesteente/mineraal, K als bouwsteen van de vaste bodemdeeltjes, vooral kleiplaatjes.

Deze verdeling wordt schematisch weergegeven in figuur 2. Daarbij is er een dynamische evenwichtssituatie voor de verdeling over de categorieën K-oplossing, K-uitwisselbaar en K-gebonden.



**Figuur 2** De verdeling van K in de bodem

Na onttrekking (door gewasopname of uitspoeling) of toevoeging (vanuit bemesting of plantenresten) van K stelt er zich een nieuw evenwicht in, waarbij er een herverdeling van K over de drie categorieën plaatsvindt. De hoeveelheid K in de bodemoplossing wordt zodoende gebufferd door K-uitwisselbaar en K-gebonden. Buffering wil zeggen dat er bij hoge concentraties K aan de bodemoplossing wordt onttrokken, en bij lage concentraties K wordt nageleverd, zodat de concentratie in de bodemoplossing stabiel blijft.

Vanuit de gesteente/minerale pool komt er ook K vrij ten gevolge van verwerking. Hier is er strikt genomen geen sprake van evenwicht, omdat het K-verloop één richting opgaat: K-mineraal wordt na verwerking niet weer aangevuld vanuit de andere pools en de snelheid van verwerking is relatief onafhankelijk van de grootte van de andere pools.

De totale hoeveelheid K in de bodemoplossing is direct beschikbaar voor de plant. Omdat K niet wordt ingebouwd in organische verbindingen of slecht oplosbare zouten is de gehele voorraad aanwezig in de vorm van het mobiele K<sup>+</sup>. Door diffusie en, in veel mindere mate, massastroming wordt de K<sup>+</sup> naar het oppervlak van de wortel getransporteerd, waar het vrij opneembaar is. De hoeveelheid K in de bodemoplossing op enig moment is niet voldoende om de gewasbehoefte te dekken. Door nalevering vanuit de andere categorieën en/of door bemesting kan dit verschil overbrugd worden.

De K-uitwisselbaar is de hoeveelheid K die geadsorbeerd is aan de negatieve ladingen van de klei- en humusdeeltjes: de kationenuitwisselcapaciteit ofwel CEC (cation exchange capacity). Uitwisseling tussen K in de bodemoplossing en K aan de CEC vindt snel plaats: binnen enkele minuten tot 24 uur. De hoeveelheid K-uitwisselbaar wordt bepaald door:

- De omvang van het CEC-complex: De CEC van de bodem wordt grotendeels bepaald door de negatieve lading van klei- en humusdeeltjes. Voor de CEC zijn daardoor het klei- ofwel lutumgehalte, het type klei en het gehalte aan organische stof van belang. Daarnaast beïnvloedt de pH de lading van vooral de humusdeeltjes. Bij daling van de pH neemt de negatieve lading van de humus en daarmee de CEC af.

- De relatieve bezetting van de CEC (het adsorptiecomplex) met K: Dit wordt beïnvloed door de concentraties en activiteit (lading) van zowel K als andere kationen (voornamelijk  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ). Deze andere kationen kunnen K van het adsorptiecomplex verdringen. Daarbij worden  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{Mg}^{2+}$  door hun grotere positieve lading sterker aangetrokken door het adsorptiecomplex, waardoor zij K al bij lage concentraties kunnen verdringen. De relatieve kationenbezetting van de CEC globaal Ca (68-92%), Mg (5-25%), K (2-7%), Na (0-2%). Ook hier is sprake van een dynamisch evenwicht tussen  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  in de bodemoplossing en aan het CEC-complex. Hoge Ca en Mg-concentraties, bijvoorbeeld na bekalken of bemesten, verminderen daarmee de K-buffering aan het adsorptiecomplex.

De K-gebonden of gefixeerd is de hoeveelheid K die is ingesloten tussen de laagjes waaruit de kleideeltjes zijn opgebouwd. Uitwisseling tussen K-gebonden met K-bodemoplossing en K-CEC neemt dagen tot maanden in beslag. De hoeveelheid K-gebonden en de sterkte van de binding is afhankelijk van het gehalte en het type klei; waarbij vooral 2:1 silicaten zoals illiet, vermiculiet en mica aanzienlijke hoeveelheden K kunnen binden (Sposito, 1989). In de Nederlandse bodems is illiet een veel voorkomend kleitype. Zand en humusdeeltjes kunnen vrijwel geen K binden. In zand, dal- en veengronden is K-gebonden dan ook aanzienlijk lager dan in kleigronden. De hoeveelheid K-gebonden en de snelheid waarmee K-gebonden beschikbaar komt worden nauwelijks beïnvloed door andere kationen.

K-gesteente of K-mineraal is de hoeveelheid K die aanwezig is als onderdeel van de minerale bodemdeeltjes. K-mineraal komt zeer langzaam beschikbaar door vertering van voornamelijk veldspaat en mica. In het algemeen wordt aangenomen dat de hoeveelheid K die gedurende een groeiseizoen beschikbaar komt door vertering niet van belang is voor de gewasgroei.

### 2.2.2 Extractie op basis van K-HCl en omzetting naar K-getal

Kalium is slechts beperkt vrij aanwezig in de bodemoplossing. De meeste kalium is geadsorbeerd of gebonden aan het bodemcomplex (kleideeltjes en organische stof), of ingebouwd in kleideeltjes. Van belang is vast te stellen hoeveel er nageleverd kan worden. Tot nu toe is dit vooral tot stand gekomen op basis van empirisch onderzoek, waarbij de relatie is bestudeerd tussen de hoeveelheid K die in oplossing wordt gebracht door een extractiemiddel en de gewasrespons. Deze aanpak is tijdrovend maar kan tot redelijke resultaten leiden. Voor de Nederlandse situatie heeft dit geresulteerd in HCl als extractiemiddel. HCl is een sterk zuur waarmee voldoende kalium in oplossing wordt gebracht om het te kunnen meten met de laboratoriumtechnieken van de jaren 50-70 van de vorige eeuw.

Een groot nadeel van HCl was dat de gevonden kaliumgehaltenes slecht in verband te brengen waren met de gewasrespons (opbrengst en kwaliteit). HCl is een agressief extractiemiddel en is daarmee geenszins een weerspiegeling van het wortelmilieu. Dit heeft men gedeeltelijk kunnen verbeteren door rekening te houden met een aantal andere bodemeigenschappen. Met uitzondering van bouwland op löss wordt de uitslag van de K-HCl meting daartoe herleid tot het K-getal. Dit K-getal wordt als volgt berekend:

$$\text{K-getal} = F \times \text{K-HCl (mg K}_2\text{O per 100 g droge grond)}$$

F = Herleidingsfactor

De berekening van de herleidingsfactor F is verschillend per landgebruik (grasland of akkerbouw). Voor bouwland is de herleidingsfactor is afhankelijk van het organische stofgehalte, lutumgehalte en grondsoort (tabel 1). Bij grasland wordt de herleidingfactor berekend vanuit het gehalte aan organische stof.

**Tabel 1** Formules voor de berekening van het kaligetal op bouwland (afgeleid van CBGV, 2008)

Grondsoort	Formule
Zand-, dal en veengrond	K-getal = a x K-HCl met a = 20/(10+ os%)
Zeeklei < 10% os, rivierklei en alluviaal zand	K-getal = K-HCl x b/(0,15*pH-KCl-0,05) met b: <ul style="list-style-type: none"> <li>• bij alluviaal zand b = 1,513</li> <li>• bij lutumgehalte &lt; 11% b = 1,513</li> <li>• bij lutumgehalte &gt; 11% b = 1,75 – 0,040 x (lutum/LS) + 0,00068 x (lutum/LS)<sup>2</sup> – 0,0000041 x (lutum/LS)<sup>3</sup></li> </ul>
Zeeklei >10% organische stof	K-getal = K-HCl x b met b <ul style="list-style-type: none"> <li>• bij lutumgehalte &lt; 5% b = 1,513</li> <li>• bij lutumgehalte &gt; 5% b = 1,75 – 0,040 x (lutum/LS) + 0,00068 x (lutum/LS)<sup>2</sup> – 0,0000041 x (lutum/LS)<sup>3</sup></li> </ul>

Voetnoot bij tabel:

Men rekent met de gewenste pH, tenzij de gemeten pH hoger is. In het laatste geval wordt gerekend met de gemeten pH. Als de pH groter dan 7 is dan moet men de waarde 7,0 aanhouden.

Bij zeeklei <10% os, rivierklei en alluviaal zand is de herleidingsfactor mede afhankelijk van de pH. Hierbij wordt er klaarblijkelijk vanuit gegaan dat er bekalkt zal worden tot de gewenste pH. Bij snijmaïs zal dit echter vaak niet het geval zijn, er wordt in de praktijk weinig bekalkt bij maïs. Bij het rekenen met de gewenste pH zal het dan K-getal lager uitvallen dan bij het rekenen met de daadwerkelijke lagere pH. Dit leidt tot een hoger K-bemestingsadvies.

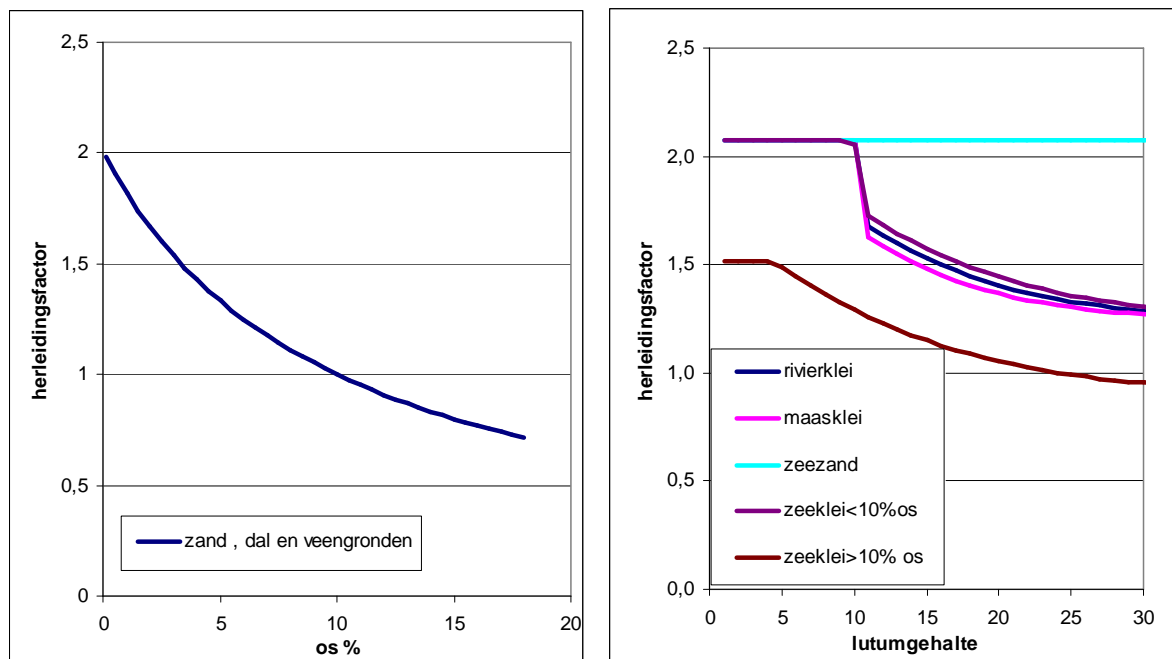
Er wordt dus aangenomen dat bij een lagere pH en verder gelijke K-gehalten in de bodem een lagere K-bemestingsgift nodig is. Hoewel deze relatie bij het afleiden van het K-getal mogelijk goed werkte ontbreekt hiervoor een (theoretische) onderbouwing.

LS is de lutum-slib verhouding. Deze is afhankelijk van de grondsoort en wordt gegeven in tabel 2.

**Tabel 2** Lutum-slib verhouding (LS) afhankelijk van grondsoort (CBVG, 2008)

Grondsoort	Grondsoortcode	LS
Alluviaal zand, jonge zeeklei, oude zeeklei, kleiachtig veen, IJsselmeergronden	00, 20, 30, 60, 85-89	0,67
Rivierklei	40	0,61
Maasklei	45	0,55
Löss	71-73	0,50

De waarde van de herleidingsfactor voor de verschillende grondsoorten is weergegeven in figuur 3.

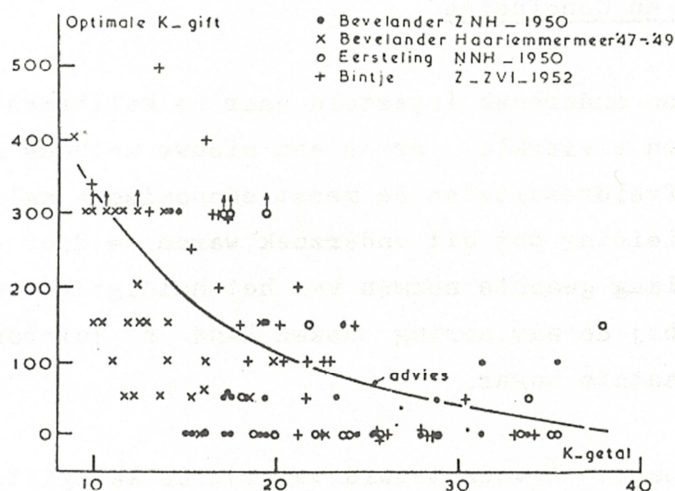


**Figuur 3** Waarde van de herleidingsfactor waarmee K-getal wordt berekend uit K-HCI

Zoals te zien kunnen de herleidingsfactoren sterk uiteenlopen. Bij de kleigronden treedt daarnaast een sprong op bij verlaging van lutumgehalte van 11 naar 10%. Opgemerkt moet worden dat gronden met een lutumgehalte <10% niet geclassificeerd worden als kleigrond.

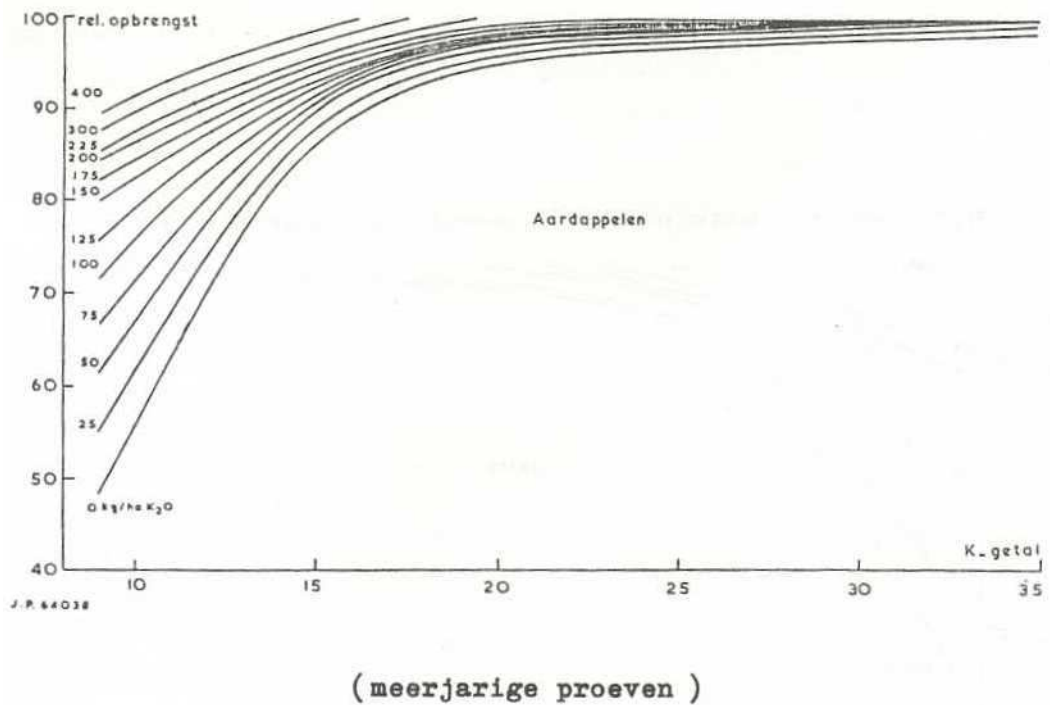
### 2.2.3 Kanttekeningen bij gebruik K-getal

De basis van het huidige bemestingsadvies en de daarbij behorende bepalingsmethode stamt uit de jaren 40 en 50. In 1958 verscheen een publicatie van Van der Paauw over de invoering van het K-getal op kleibouwland. Begin 60'tiger jaren verschenen er een aantal aanvullende artikelen waarin het K-getal werd toegepast voor een aantal teelten. Ook toen was al bekend dat de relatie met gewasrespons niet sterk was, zoals bijvoorbeeld blijkt uit figuur 4 (figuur 6 van Van der Paauw (1958)).



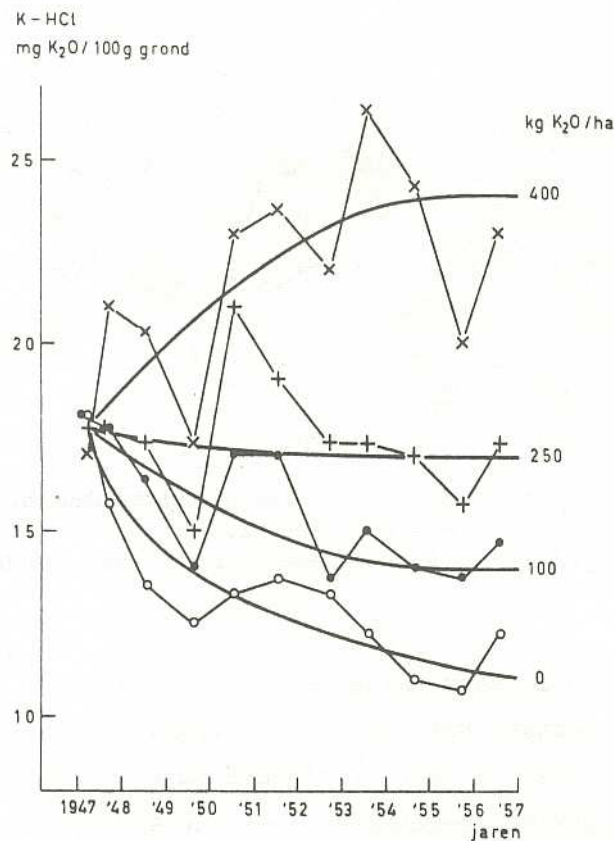
**Figuur 4** Series eenjarige proefvelden (BRON: figuur 6 van Van der Paauw (1958) Buffer 1981 nr. 2, pag 97) Het huidige advies kent een onderscheid naar grondsoorten. Van der Paauw & Ris (1960), Prummel (1962) en Boskma & Van Der Heij (1964) gaven al aan dat het verband van de te adviseren gift als functie van de grondsoort niet sterk is. In de loop der jaren is het advies nog wel iets bijgesteld maar niet wezenlijk veranderd.

De bemestingsadviezen uit de adviesbasis suggereren een grote nauwkeurigheid. Er is echter sprake van een schijnnaauwkeurigheid. De relaties in de adviesbasis zijn vooral ontwikkeld op basis van proefmateriaal voor aardappelen en gras, waarin de gewasrespons als functie van K-getal en kaligift is gegeven. De spreiding om de gewasrespons curves is hoog, maar wordt echter achterwege gelaten (zie figuur 5). Ook Van der Paauw (1958), Van der Paauw & Ris (1955, 1960, 1962), Boskma en 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 proeven groot is". Desondanks is er een advies opgesteld, waarbij voor bouwland verschillen van 20 kg K<sub>2</sub>O per hectare zijn onderscheiden. Uit het materiaal van voornoemde onderzoekers is een dergelijk nauwkeurige relatie niet zodanig af te leiden. Ehlert et al. (1998) hebben een groot aantal aardappelproeven op een uniforme wijze geanalyseerd. Ook daaruit blijkt duidelijk dat een dergelijk onderscheid onvoldoende onderbouwd is.



**Figuur 5** Verband tussen het K-getal en de relatieve opbrengst met en zonder kalibemesting op zeeleigronden. (BRON: figuur 3 Buffer 1981 nr. 2 pag. 145).

In 1955 is onderzoek uitgevoerd naar de nauwkeurigheid van grondonderzoek (Ferrari & Vermeulen, geciteerd door Henkens, 1984). Hieruit kwam naar voren dat men bij K-HCl rekening dient te houden met een standaardafwijking van 10%. Hierbij is echter nog niet de invloed van de voorvrucht en de jaarinvloed begrepen. Deze effecten kunnen aanzienlijk zijn (figuur 6).



**Figuur 6** Verloop van K-HCl op zware rivierklei (proef Zge 596 met 67% deeltjes < 16 $\mu$ ) bij verschillende kalibemestingen (BRON: figuur 4 Buffer 1984, nr. 2, pag. 42)

De beschikbaarheid van K en de gewasopname zijn daarnaast ook afhankelijk van de concentratie van andere elementen in de bodemoplossing en de vaste fase (klei, zand, oxiden en organische stof) zoals bijvoorbeeld Mg. Om hier goed rekening mee te kunnen houden dienen elementen zoveel mogelijk in het zelfde extractiemiddel te worden geëxtraheerd. Nu nog wordt elke parameter bepaald met een ander extractiemiddel (tabel 3). Dit maakt grondonderzoek relatief duur en traag en het leidt tot relatief hoge kosten voor het verbeteren/herijken van de adviezen op basis van de bestaande extractiemethodieken. Multi-nutriënt gebaseerde bemestingsadviezen zijn dan ook gewenst (Van Erp, 2002). Er zijn nieuwe analysemethoden beschikbaar waardoor het mogelijk is om zowel de analyse op macro-elementen als sporelementen uit te voeren op basis van extractie met een zwak zout om zo het wortelmilieu te benaderen.

**Tabel 3** De gangbare analysemethodieken voor een aantal elementen

Parameter	Extract	Schudverhouding
pH	1 M KCl	1:5 (m/v)
K, Na	0,1 M HCl + 0,2 M oxaalzuur*	1:10 (m/v)
Mg	0,5 M NaCl	1:5 (m/v)

\* ook wel uitgedrukt als 0,4 N oxaalzuur

#### 2.2.4 Verbetering karakterisering K-levering bodem

De overdraagbaarheid van een empirisch resultaat van de ene naar een andere situatie is vaak slechts beperkt mogelijk. Door het ontbreken van een theoretische onderbouwing is aanpassing van het K-bemestingsadvies op basis van het K-getal dan ook beperkt mogelijk. Een beschrijving van het nalevergedrag van K op meer theoretische grondslag kan hier uitkomst bieden. Van Erp (2002) en Van Rotterdam-Los (2010) laten zien dat daar goede mogelijkheden voor zijn met behulp van CaCl<sub>2</sub>-



extractie. In analogie met het vernieuwde P-bemestingsadvies zijn daarbij de begrippen intensiteit, capaciteit en buffering van belang.

- K-intensiteit = de hoeveelheid K die direct beschikbaar is.
- K-capaciteit = de hoeveelheid k die nageleverd kan worden
- K-buffering = het vermogen om de K-concentratie in de bodemoplossing constant te houden

Doll & Lucas (1973) geven aan dat bij de interpretatie van bodemtesten voor het vaststellen van de gewenste K-bemesting de volgende factoren tegen elkaar afgewogen moeten worden:

- gewasbehoefte;
- concentratie en activiteit van K in de bodemoplossing in relatie tot die van andere kationen zoals  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{Na}^+$ .
- omvang en sterkte van het K-adsorptiecomplex (de CEC);
- het fixatievermogen van de bodem bij K-bemesting; en
- het vermogen van de bodem om gefixeerde K vrij te maken.

Bussink et al. (2011) hebben voor grasland laten zien dat K-getal een slechtere voorspeller is voor het gewenste K-gehalte in gras dan het K-gehalte in grond zoals bepaald met K-HCl of K-PAE. De omzetting van K-HCl gehalte naar K-getal op basis van organische stof en lutum is dus een verslechtering.

Den Boer et al. (2010) onderzochten recent de mogelijkheden tot verbeteren van K-bemestingsadvies voor grasland, dat tot nu toe eveneens is gebaseerd op K-getal. Hierin is aangegeven dat een verbetering van het grondonderzoek en de daarop gebaseerde adviezen mogelijk is. Zij baseren zich op de bevindingen van Van Rotterdam-Los (2010).

Van Rotterdam-Los heeft onderzoek uitgevoerd om de K-levering en K-dynamiek op graslandpercelen beter te duiden door de K-status van de bodem te karakteriseren op basis van analyse met 0,01 M  $\text{CaCl}_2$ , 0,1 M  $\text{BaCl}_2$  en 3 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Hierbij is  $\text{CaCl}_2$  een maat voor het direct beschikbare K. Dit is de hoeveelheid K in oplossing plus 50-80 % van het uitwisselbare K op zandgrond of 20 – 50 % van het uitwisselbare K op kleigronden. De hoeveelheid geëxtraheerd K met 0,1 M  $\text{BaCl}_2$  komt overeen met de hoeveelheid die geëxtraheerd wordt met 0,1 M HCl en is een maat voor de beschikbaarheid van K gedurende het groeiseizoen. Met 3 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  wordt de totale hoeveelheid K in de bodem geschat. In het onderzoek van Van Rotterdam-Los (2010) is onder andere een 6 weken durende potproef uitgevoerd met verschillende grondsoorten. Het gras is na 4 weken geoogst en geanalyseerd. Vervolgens is de K-opname in de hergroei gemeten.

Dit onderzoek leidde tot het volgende resultaten:

- De opname van K door het gewas is sterk gerelateerd aan het direct beschikbare K;
- Deze beschikbaarheid van K was op alle grondsoorten voor de eerste snede (4 weken) goed te voorspellen met 0,01 M  $\text{CaCl}_2$ ;
- Op de zandgronden bleek de nalevering na 4 weken opgehouden te zijn en ontstond een duidelijke groeivertraging. Op deze gronden kon de beschikbaarheid met alleen K- $\text{CaCl}_2$  worden voorspeld; en
- Op de zavel- en kleigronden was er een duidelijke nalevering uit de fractie K-gebonden. Naarmate de concentratie aan K in oplossing lager werd, werd de nalevering uit K-gebonden groter.

Bij het ontwikkelen van een nieuw K-advies lijkt voor zandgronden vooral de hoeveelheid K geëxtraheerd met 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  relevant te zijn. Dit geeft de K-intensiteit weer. Omdat zandgronden een lage CEC hebben en weinig lutum bevatten is de K-buffering en nalevering op deze gronden gering.

Op de klei- en zavelgronden gronden speelt daarnaast de levering uit K-uitwisselbaar en K-gebonden mee. Deze zorgen dat de K-onttrekking door de plant aangevuld wordt gedurende het groeiseizoen. Voor deze gronden is het dus nodig om de K-levering vast te stellen op basis van intensiteit en van capaciteit. Een combinatie van de 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  meting met een meting van K-bezetting of het lutumgehalte van de grond lijkt daarbij perspectiefvol. Dit komt naar voren uit parallel onderzoek naar verbetering van het K-bemestingsadvies voor grasland (Bussink et al 2011).

### 2.2.5 Conclusies

- Het K-getal is slecht gecorreleerd met gewasrespons.
- Het K-getal biedt onvoldoende aanknopingspunten voor verbetering door ontbreken van theoretische basis van de factoren die herleidingsfactor opmaken. Er is geen onderbouwing of verklaring voor het veronderstelde effect van pH en organische stof op de K-beschikbaarheid bij verder gelijke K-gehaltenes.
- Door de koppeling van het bemestingsadvies aan het K-getal is het niet mogelijk een causaal verband vast te stellen tussen het beschikbare K in de bodem en ander bodemfactoren die van invloed zijn zoals pH, omvang en sterkte van het adsorptiecomplex en het effect van andere nutriënten als Ca, Mg Na en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Dit wordt nog bemoeilijkt doordat momenteel de verschillende nutriënten met verschillende extractiemiddelen worden geanalyseerd.
- Voor een optimale opbrengst is het van belang de K-beschikbaarheid goed te kunnen schatten.
- Er zijn nu analysemethoden waarmee op basis van extractie met een zwak zout, zoals 0,01 M CaCl<sub>2</sub>, aangevuld met meting van de K-bezetting aan de CEC of lutumgehalte de K-beschikbaarheid beter ingeschat kan worden. Hiermee wordt het wortelmilieu het best benaderd.
- Voor het vaststellen van de relaties tussen beschikbare K in de bodem en pH en beschikbaarheid van andere elementen zoals Mg<sup>2+</sup> en Na<sup>+</sup> heeft grondextractie in één extract de voorkeur. Nu nog worden de verschillende bepalingen uitgevoerd met verschillende extractiemiddelen. Multinutriënt extractie in combinatie met bodemchemische kennis maakt het bovendien mogelijk om elementen met elkaar te relateren. Zo kan beter gestuurd worden op een gewenst K-, Mg- en Na-gehalte.

## 2.3 Achtergronden huidig kaliadvies snijmaïs

### 2.3.1 Historie kalibemestingsadviezen algemeen

Vanaf eind jaren vijftig en begin jaren zestig was er voor kali sprake van een landelijke adviesbasis. Daarvoor werden de uitslagen van Blgg door de voorlichters van de Rijkslandbouwvoorlichtingsdienst naar de boer gebracht en mondeling toegelicht op de bedrijven. In 1960 kreeg Blgg een computer en kwamen de adviezen op het formulier met de resultaten van grondonderzoek. Toen is voor het eerst een landelijke adviesbasis gemaakt. De kaligiften in die eerste adviesbasis voor de verschillende gewassen op zandbouwland zijn gebaseerd op (ongeveer) de gemiddelden van de adviezen in de rayons van de landbouwvoorlichtingsdienst c.q. daarbinnen onderscheiden gebieden. Deze adviezen berustten vooral op praktijkervaringen. Voor slechts een enkel gewas (o.a. fabrieksaardappelen, voederbieten) kon ook gebruikt worden gemaakt van resultaten van onderzoek. Ook op kleigrond lag de focus vooral op aardappelen. Daarnaast is onderzoek verricht bij suikerbieten en een aantal vollegronds-groentegewassen (o.a. spruitkool, erwten, sperziebonen en spinazie). Uit de verschillende publicaties (Bakker, 1972; Henkens, 1981; Prummel, 1971 en 1980) komt naar voren dat de adviesgiften vooral zijn gebaseerd op handhaving van de kalitoestand van de bodem.

### 2.3.2 Huidig advies maïs

Het huidige advies bestaat uit een gewasgericht advies voor het behalen van een economisch optimale opbrengst en uit een bodemgericht advies voor handhaving van de streeftoestand van de bodem en eventuele reparatie daarvan. Beide adviezen worden hieronder toegelicht.

#### *Bodemgericht advies*

In tabel 4 is de waardering van de kalitoestand van bouwland weergegeven. De laatste aanpassingen dateren uit 1971. Dit betrof een aanpassing van de waardering voor zandgrond. Voor de andere grondsoorten is de waardering in de eerste helft van de jaren zestig vastgesteld.

Bij het bodemgerichte advies wordt gestreefd naar de toestand voldoende. Op veeljarige proefvelden is gevonden dat op klei en löss de kalitoestand van de grond invloed heeft op de opbrengst en de kwaliteit van met name aardappelen. Bij een lage kalitoestand werd in combinatie met een hoge kalibemesting niet de opbrengst behaald als bij een hogere kalitoestand in combinatie met een lagere kalibemesting (Henkens, 1984). Daarom worden er vanaf 1984 streefwaarden vermeld voor de kalitoestand waarboven dit effect niet meer optreedt (tabel 5). Met name voor kleigrond met >12% lutum, rivierklei tussen 8-17.5% lutum en löss is de streefwaarde hoger dan de bovenkant van het

traject voldoende voor deze grondsoorten. Op zandgrond werd bovengenoemd effect niet waargenomen. Om te voorkomen dat in extreme jaren de kalivoorziening geheel afhangt van een verse bemesting, wordt ook op deze gronden gestreefd naar een bepaalde kalitoestand (tabel 5). Overigens bevindt de streefwaarde zich in het midden van het traject voldoende. Naast streefwaarden zijn ook trajecten genoemd waarbinnen wordt geadviseerd de toestand te handhaven (tabel 5). De bovenkant van het streeftraject ligt voor alle grondsoorten duidelijk hoger dan de bovenkant van de klasse voldoende.

Benadrukt moet worden dat de streefgetallen dus vooral gelden voor een bouwplan met aardappelen. Dat houdt in dat voor maïs het niet perse nodig zou zijn om uit te gaan van de streefwaarden maar dat een toestand voldoende (tabel 4) toereikend is.

**Tabel 4** Waardering van de kalitoestand bouwland (uitgedrukt in het kaligetel m.u.v. löss) (1971)

Waardering	Grondsoort			
	Dekzand, zeezand, dal-, veengrond	Zeeklei < 10% org. stof, rivierklei	Zeeklei > 10% org.stof	Löss (K-HCl)
Zeer laag	< 7	< 11	-	< 9
Laag	7-9	11-12	< 13	9-10
Voldoende	10-12	13-15	13-15	11-12
Ruim voldoende	13-17	16-20	16-20	13-15
Vrij hoog	18-25	21-26	21-30	16-20
Hoog	> 25	27-34	31-37	21-25
Zeer hoog	-	> 34	> 37	> 25

**Tabel 5** Het voor een bouwplan met aardappelen gewenste kaligetel en het traject waarbinnen wordt geadviseerd om de toestand te handhaven (1984)

Grondsoort	Streefgetal	Toestand handhaven
Dekzand- en dalgrond	11	11-17
Zeezand (<5% lutum)	11	11-15
Zeeklei		
- < 12% lutum	14	14-20
- ≥ 12% lutum	18	18-26
Rivierklei		
- < 8% lutum	14	14-20
- 8-18% lutum	18	18-26
- ≥ 18% lutum	14	14-26
Löss	15 (K-HCl)	15-20 (K-HCl)

#### Gewasgerichte advies

In tabel 6 en 7 is het gewasgerichte advies weergegeven voor respectievelijk maïs in continueelt en maïs geteeld in vruchtwisseling met andere bouwlandgewassen. Het advies voor maïs in continueelt betreft eigenlijk een combinatie van een gewasgericht en bodemgericht advies. Omdat er toch geen andere gewassen worden verbouwd dan maïs is besloten het bodemgerichte advies te integreren met het gewasgerichte advies. Bij maïs in vruchtwisseling is dat niet mogelijk omdat het bodemgerichte advies mede wordt bepaald door de kaliafvoer van de andere gewassen in het bouwplan. De laatste aanpassingen vonden plaats in 1984. Dit betrof echter vooral vormtechnische aanpassingen. Daar waar in de zestiger en zeventiger jaren de adviezen per waarderingsklasse (voor klassen zie tabel 4) werden weergegeven zijn deze nu voor meer waarden van het kaligetel binnen een waarderingsklasse weergegeven. Feitelijk stamt het advies voor de gewasgroep waarin maïs is geplaatst uit de jaren zestig.

Niet helemaal duidelijk is op basis van welk onttrekkingsniveau het kaliadvies voor maïs in continueelt is gebaseerd. Door de stijging van de opbrengsten zal de kali-afvoer in de loop der tijd zijn gestegen. Het lijkt derhalve zinvol het huidige continueeltadvies aan te passen aan de actuele opbrengst- en kali-onttrekkingsniveaus.

Uit tabel 7 blijkt dat het gewasgerichte advies voor een mais lager is dan het gecombineerde gewas/bodemgerichte advies voor mais in continueelt. Dit geeft aan dat mais weliswaar veel kali onttrekt maar dat de gewasbehoefte gegeven een bepaalde kalitoestand blijkbaar niet hoog is. In het akkerbouwadvies wordt maïs ingedeeld in de minst kalibehoeftige groep waarin ook de graangewassen zijn opgenomen.

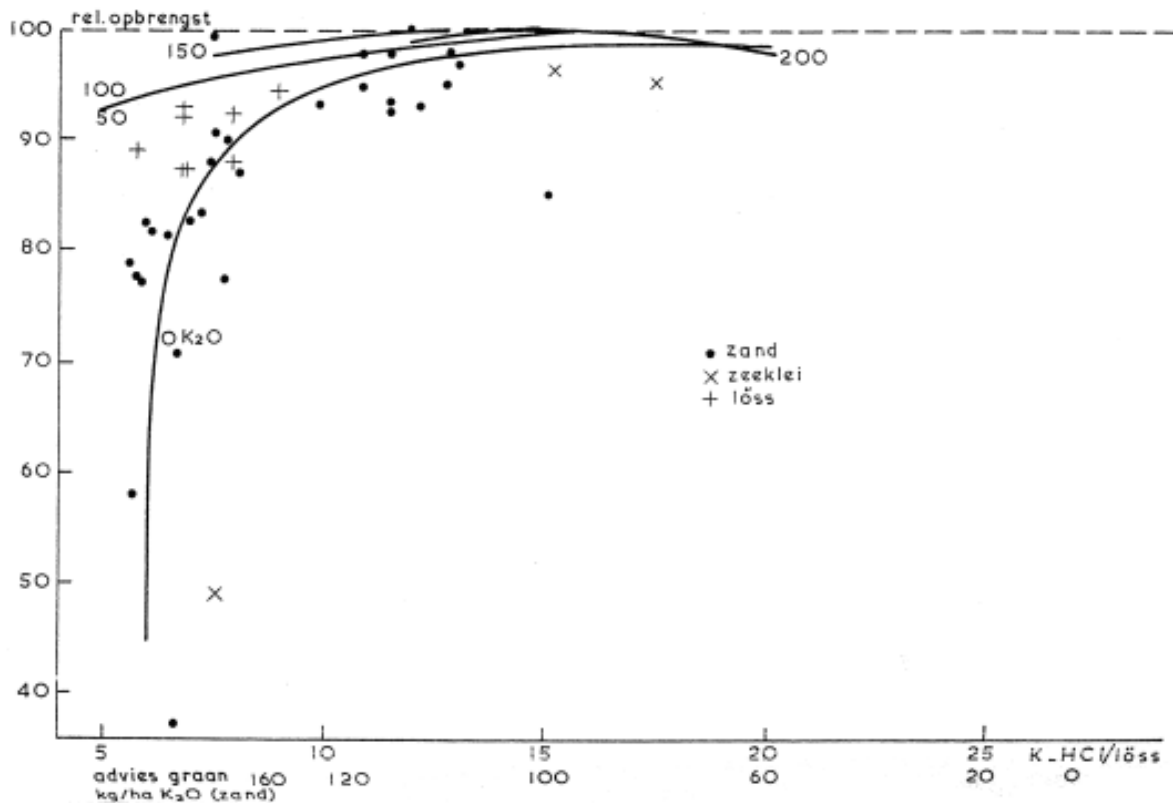
Aanvankelijk was maïs ingedeeld in bij de gewassen met een hoge kalibehoeftige. Uit proefresultaten met korrelmaïs (10 proeven op zand, 2 proeven op zeeklei en 2 proeven op löss). bleek echter dat de behoefte meer overkwam met die van granen (figuur 7; Prummel, 1966). Op basis hiervan is maïs vervolgens ingedeeld bij gewassen met een lage kalibehoeftige. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de betreffende onderzoeksresultaten betrekking hadden op korrelmaïs, waarbij de onttrekking veel lager is dan van snijmaïs. Dat laatste is echter vooral van belang voor het bodemgerichte advies en niet direct voor de gewasbehoefte.

**Tabel 6** Gecombineerd gewas- bodemgericht kaliadvies (kg K<sub>2</sub>O/ha) maïs in continueelt

K-getal	Grondsoort			
	Veen	Zand. dalgrond	Zeeklei, rivierklei	Löss
< 11	300	300	300	300
12	280	260	300	300
14	250	210	300	260
16	230	160	240	190
18	200	110	190	120
20	180	60	140	60
22	150	30	90	0
24	130	0	40	0
26	100	0	0	0
28	80	0	0	0
30	50	0	0	0
32	30	0	0	0
34	0	0	0	0

**Tabel 7** Gewasgericht kaliadvies (kg K<sub>2</sub>O/ha) maïs in vruchtwisseling

K-getal	Grondsoort			Löss
	Zand-, dal-, en veengrond	Rivier_ en zeeklei (< 10% OS)	Zeeklei (> 10% OS)	
<4	220	-	-	160
6	190	160	180	150
8	160	130	160	130
10	130	100	130	110
12	110	70	110	90
14	90	50	80	70
16	70	30	60	40
18	60	0	40	0
20	50	0	0	0
22	40	0	0	0
24	30	0	0	0
26	0	0	0	0



**Figuur 7** Verband tussen het K-getal (bij löss K-HCl) en de relatieve opbrengst van korrelmaïs met en zonder kalibemesting. Ter vergelijking is onder de x-as het advies weergegeven dat gold voor granen bij de betreffende waarde voor het K-getal (respectievelijk K-HCl) (Bron: Prummel, 1966)

### 2.3.3 Duitse adviezen

Nagegaan is welke kaliadviezen voor maïs worden gehanteerd bij de Landwirtschaftskammer Niedersachsen en Nordrhein-Westfalen.

#### Nieder-Sachsen

Indien de kali-toestand op streefwaarde (toestand C in tabel 8) is wordt voor maïs 160-230 kg K<sub>2</sub>O per ha geadviseerd ([www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/341/article/11622.html](http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/341/article/11622.html)). Dit advies geldt voor een gemiddelde opbrengst van 45 ton verse opbrengst per ha (circa 14-15 ton drogestof per ha). Bij hogere opbrengsten wordt geadviseerd de gift te verhogen met 5 kg K<sub>2</sub>O per ton verse massa. Ter vergelijking is het Nederlandse continueeladvies tevens weergegeven voor de verschillende waarderingsklassen. Dat lijkt wat hoger te zijn. Wel moet worden benadrukt dat de klassenindeling uiteraard niet volledig vergelijkbaar is.

**Tabel 8** Kali-advies (kg K<sub>2</sub>O per ha) maïs Landwirtschaftskammer Niedersachsen

LWK-NS	Bodemtoestand				
	A	B	C	D	E
	270-300	240-260	<b>160-230</b>	40-150	0
Nederland	Bodemtoestand				
	Zeer laag	Laag	<b>Voldoende</b>	Ruim voldoende	Vrij hoog tot hoog
	300	300	<b>260-300</b>	140-240	0-110

### Nordrhein-Westfalen

De Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen geeft voor kali geen concrete gewasgerichte adviezen. Bij een kalitoestand voldoende wordt aanbevolen een bouwplangerichte onderhoudsbemesting uit te voeren die is gebaseerd op de afvoer met geoogst product en een compensatie voor de uitspoeling in de winterperiode ([www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/phosphat-kalium-magnesium-pdf.pdf](http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/phosphat-kalium-magnesium-pdf.pdf), [www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/basisinfos/lufa-duengeempfehlung-pdf.pdf](http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/basisinfos/lufa-duengeempfehlung-pdf.pdf) ). Voor snijmaïs wordt een afvoer gehanteerd van 190 en 265 kg K<sub>2</sub>O per ha voor een opbrengstniveau van respectievelijk van 40 en 55 ton verse massa per ha (32% drogestof).

Aangegeven wordt dat de bemestingsbehoefte niet gewasgericht hoeft te zijn, maar dat de kalibemesting bij voorkeur aan hakvruchten en maïs dient te worden toegediend.

### 2.3.4 Conclusies

- In het huidige kali-advies wordt onderscheid gemaakt tussen een bodem- en een gewasgericht advies. Aan beide moet worden voldaan. Voor continueelt maïs zijn beide adviezen geïntegreerd tot één advies.
- Het bodemgerichte advies is erop gericht een bepaalde kalitoestand te handhaven en hangt vooral af van de kaliafvoer met geoogst product. Daarvoor is een goed inschatting van het opbrengstniveau en K-onttrekking van de maïs belangrijk.
- Het gewasgerichte advies is vooral gebaseerd op onderzoeksresultaten van korrelmaïs in de jaren veertig en vijftig. Daarna heeft voor maïs geen nieuw onderzoek meer plaatsgevonden.
- Het Nederlandse continueelt advies lijkt wat hoger te zijn dan het Duitse.

### 3 Bemestingsonderzoek

#### 3.1 Effecten van K-bemesting in recente veldproeven

##### 3.1.1 Nederlands onderzoek

Nederlands onderzoek naar de effecten van kalibemesting bij maïs dateert uit de jaren veertig en vijftig. Dit betrof onderzoek aan korrelmaïs en is samengevat in Prummel (1966). De resultaten hebben ten grondslag gelegen aan het huidige kali-advies voor maïs in vruchtwisseling (zie ook hoofdstuk 'Achtergronden huidig kali-advies maïs'). Uit dit onderzoek kwam naar voren dat er alleen bij lage kalitoestand van de grond (< streefwaarde) sprake was van een duidelijke reactie op kalibemesting (zie ook figuur 1 in hoofdstuk "Achtergronden huidig kali-advies maïs"). Dit effect beperkte zich tot giften tot 150 kg K<sub>2</sub>O per ha.

##### Recent kali-bemestingsonderzoek groentegewassen Nederland

In de periode 1998-2000 is voor een aantal vollegrondsgroentegewassen (prei, peen, bloemkool en sla) en referentiegewas consumptieaardappel onderzoek verricht naar de kalibehoeft (Clevering et al., 2001). Dit ter onderbouwing van een nieuw kali-advies. Er zijn hoeveelhedenproeven uitgevoerd (K-trappenproeven op percelen met een bepaalde kalitoestand) en toestandenproeven waarbij (in het verleden) binnen een proefveld verschillen zijn aangebracht in kalitoestand. Het algemene beeld dat naar voren kwam is dat indien de kalitoestand op streefwaarde was, kalibemesting vrijwel geen effect had op de marktbaar opbrengst. Pas bij een toestand onder streefwaarde bleef de opbrengst achter en had bemesting een significant effect op de opbrengst.

De onttrekking bij peen en aardappelen bevond zich zo tussen 300 en 350 kg K<sub>2</sub>O per ha. Dit is wat hoger dan voor snijmaïs. Beide gewassen (peen en aardappel) staan in het akkerbouwadvies in de gewasgroep met de hoogste behoefte. Toch werden in deze proeven geen duidelijke effecten gevonden van bemesting mits de kalitoestand zich op streefwaarde bevond.

##### 3.1.2 Buitenlands onderzoek

In Kroatië zijn een aantal onderzoeken uitgevoerd naar de reactie van korrelmaïs op K-bemesting. In Kovacevic (2005) en Kovacevic et al. (2006) is de respons van maïs op KCl-bemesting getest in een veldproef op K-fixerende bodems. In 2001-2004 werd in de proef jaarlijks een standaardbemesting toegediend van 170 kg N, 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en 150 kg K<sub>2</sub>O per ha. Daarnaast werd in het eerste jaar (2001) in april eenmalig 0, 500 en 1250 kg K<sub>2</sub>O per ha toegediend.

De pH-KCl was 6,15, Humus 2,64. K<sub>2</sub>O-AL was 92,7 mg/kg. In Nederland wordt K-HCl gegeven in mg per 100 g, een getal dat een factor 10 lager is, dus 9,3 mg per 100 g. K<sub>2</sub>O-AL is vrijwel gelijk aan K-HCl. Dit is getest in 2004 in een Nederlands-Kroatisch project. In dat project zijn grondmonsters uit NL op gestuur naar Kroatië en aldaar geanalyseerd op KHCl (niet gepubliceerde data Livestock Research).

De korrelopbrengsten in de proef zijn weergegeven in tabel 9. De bemesting in de tabel strookt niet met de omschrijving in de tekst (jaarlijks 150 kg K<sub>2</sub>O per ha en eenmalig 0, 500 en 1250 kg K<sub>2</sub>O). Uit het artikel kan niet afgeleid worden welke bemesting juist is.

**Tabel 9** Korrelmaïs opbrengst (ton/ha) bij verschillende kalibemestingsniveaus (Kovacevic et al., 2006)

	Kg K <sub>2</sub> O per ha		
	150	650	1400
2001	10,09	11,04	11,54
2002	9,13	10,63	11,28
2003	4,72	5,28	5,10
2004	9,49	9,64	9,77
gemiddeld	8,36	9,15	9,42
Opbrengst verhoging		+9,4%	+ 12,7%

2003: jaar met veel droogtestress, LSD 1% 0,67, LSD 5% 0,49

De legering in deze proef is vastgesteld. Bij de controle was de gemiddelde legering 15.5% van de planten, bij 650 kg K<sub>2</sub>O per ha 8.4 en bij 1400 kg K<sub>2</sub>O per ha 6.6 %. Dit strookt met de theorie dat K-gebrek een hogere legering veroorzaakt dan als er voldoende K is (Mengel and Kirkby, 2001). Op basis van deze proef werd een advies gegeven om bij continu maisteelt ieder derde jaar een K-bemesting te geven van 1000 kg K<sub>2</sub>O per ha (gemiddeld 333 kg K<sub>2</sub>O per ha per jaar).

Een vergelijkbare proefopzet, maar dan op niet-fixerende grond, is wederom in Kroatië uitgevoerd in 2004 (Kovacevic et al, 2007). Hierin werden P en K bemesting op maïs en soja onderzocht in drie P en drie K niveaus, afzonderlijk van elkaar. P en K niveau werden gecombineerd in P2 en K2 (zie tabel 10). De bodem had een laag P-AL-getal, PAL in 0-30cm was 9.4. K-AL was 17.8. en humus 1.93.

**Tabel 10** Respons van maïs (hybride OsSK552) op bemesting (Kovacevic et al., 2007)

Fertilization (April 23, 2004)					Maize properties: the growing season 2004					
Treatment		kg ha <sup>-1</sup>			t ha <sup>-1</sup> Grain yield	Percent in dry matter				
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		Grain			Leaves*	
					Protein	P	K	P	K	
a	control	374	125	82	12.28	8.10	0.246	0.313	0.308	2.58
b	P-1	374	625	82	12.67	8.10	0.260	0.321	0.327	2.59
c	P-2	374	1125	82	12.62	7.80	0.285	0.348	0.333	2.59
d	P-3	374	1625	82	12.65	7.93	0.289	0.346	0.354	2.59
e	K-1	374	125	582	12.58	8.10	0.239	0.308	0.308	2.66
f	K-2	374	125	1082	12.73	7.83	0.226	0.325	0.312	2.67
g	K-3	374	125	1582	12.95	8.27	0.233	0.323	0.325	2.70
h	P2K2	374	1125	1082	13.75	9.03	0.288	0.361	0.358	2.59
LSD 5%					0.52	0.90	0.24	0.12	0.020	0.09
LSD 1%					0.71	n.s.	0.33	0.16	0.027	n.s.

\* the ear-leaf at silking stage

P en K gaven afzonderlijk weinig respons, P en K samen gaven meer respons. Dat duidt op dat er zowel te weinig P als te weinig K beschikbaar was.

Het verschil P2 en P2K2 is te beschouwen als het effect van K2 bij voldoende P. De K-gift heeft dan 1,13 ton korrel opgeleverd. Dit is een verhoging van  $1,13/12,62 = 9,0\%$ .

In deze publicatie gaat men er vanuit dat een K-gehalte van < 1,0 % in de bladeren, uit welks bladoksel de kolf groeit (ear leaf), tijdens de bloei duidt op een tekort aan K (uit Mengel and Kirkby, 2001). Het K-gehalte in het blad gaf echter geen indicatie van K-gebrek en het gehalte bleef gelijk ondanks de hogere K-bemesting.

De bemestingen in deze proef zijn relatief hoog voor één jaar. De N-bemesting is ruim twee maal zo hoog als in het Nederlandse bemestingsadvies. De controle P-bemesting is vergelijkbaar met het Nederlandse advies bij voldoende, de controle K-bemesting is laag.

Een vergelijkbare proef over 4 jaren is beschreven in Kovacevic (2008). In deze proef leverde 500 kg K<sub>2</sub>O per ha in het eerste jaar, gemiddeld over 4 jaar een verhoging van ongeveer 7,5% ton korrel per ha door onderling te vergelijken behandeling a en e en behandeling c en f uit tabel 11.



**Tabel 11** Respons van maïs op P en K bemesting – Maslenjaca experiment 2003-2006 (Kovacevic, 2008)

Fertilization (kg ha <sup>-1</sup> ) in spring 2003			Grain yields of maize (t ha <sup>-1</sup> )* and plant density realization (PDR in % TPD)								
				2003		2004		2005		2006	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	t ha <sup>-1</sup>	%TPD	t ha <sup>-1</sup>	%TPD	t ha <sup>-1</sup>	%TPD	t ha <sup>-1</sup>	%TPD	
a	125	125	7.37	63.6	13.33	91.4	10.71	94.9	8.70	73.7	
b	375	125	7.44	57.5	13.33	93.0	11.11	95.4	9.66	72.4	
c	625	125	7.57	56.5	13.70	94.5	11.09	92.1	9.64	75.0	
d	825	125	8.07	60.6	13.76	95.4	12.23	95.4	10.10	70.6	
e	125	625	7.21	64.2	14.28	93.0	12.10	94.0	9.57	72.4	
f	625	625	8.46	65.6	14.07	96.0	12.51	93.0	9.55	70.0	
Average			7.69	61.3	13.75	93.9	11.63	94.1	9.70	72.4	
LSD 5%			0.46		0.50		0.82		0.77		
LSD 1%			0.63		ns		1.13		ns		
TPD plants ha <sup>-1</sup>				51948		58333		62111		54945	

\* yield calculations on 14% grain moisture and TPD %: 60, 90, 90 and 70, for 2003, 2004, 2005 and 2006

In deze proef zijn de gehalten in het blad bij de kolf (ear leaf) en korrel gemeten. Ondanks dat K-bemesting de opbrengst verhoogde, bleek het K-gehalte in dit blad in de range van voldoende te vallen die Mengel and Kirkby (2001) aangaven (tabel 12).

**Tabel 12** Invloed van P en K bemesting op gehalten in maïs in 2004 en 2005 (Kovacevic, 2008)

Year	2003* (kg ha <sup>-1</sup> )		The ear-leaf at flowering and grain at maturity stage (mg kg <sup>-1</sup> on dry matter basis)									
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Leaf					Grain				
			P	K	Ca	Mg	Zn	P	K	Ca	Mg	Zn
2004	125	125	3602	16212	10455	4146	46.9	2817	3440	54.2	848	18.5
	375	125	-	-	-	-	-	3034	3484	43.1	967	18.8
	625	125	3529	16015	10764	4169	42.4	2942	3562	58.4	906	16.5
	875	125	3859	18543	10953	3947	39.0	3108	3532	67.0	947	17.0
	125	625	3604	22211	10411	3137	61.9	2779	3526	55.2	847	18.4
	625	625	3664	19854	10908	3350	45.6	3102	3720	57.7	921	19.0
	LSD 5%			250	3194	ns	719	7.9	155	ns	ns	77
2005	125	125	3350	17900	8900	3100	38.6	2816	3360	49.0	844	15.4
	375	125	3480	17700	9800	2900	41.1	2906	3423	40.6	856	18.4
	625	125	3970	16200	10700	3000	42.3	3083	3682	84.9	879	16.0
	875	125	3600	18500	9800	2900	39.1	2939	3519	24.1	876	18.8
	125	625	3610	18600	9600	2500	44.2	2651	3660	14.9	811	18.6
	625	625	3660	18700	9600	2500	43.7	3034	3638	27.5	856	18.2
	LSD 5%			290	ns	ns	500	ns	63	40	4.4	ns

\* ordinary fertilization of all treatments for the growing seasons 2004 and 2005

In 2003 tot 2008 is een vergelijkbaar experiment uitgevoerd, wederom in Kroatië (Kovacevic et al, 2009). In vier van de zes jaar was het toetsgewas maïs (tabel 13). In dit experiment zijn in april 2003 op drie niveaus P en drie niveaus K-bemesting gegeven. De invloed van de K-bemesting kon bepaald worden door de behandelingen te vergelijken waarin de P-bemesting gelijk was en de K-bemesting verschilde.

**Tabel13** Invloed van bemesting (voorjaar 2003) op korrel opbrengst en gerealiseerde plantdichtheden (RD) van gewassen (2003-2008) (Kovacevic et al, 2009)

	Fertilization (April 15, 2003)		Realized plant densities (RD for maize = % of planned or PD; for wheat and barley = number of ears per m <sup>2</sup> ) and grain yields (Y in t ha <sup>-1</sup> ) of field crops in rotation												
	(kg/ha)		Maize		Maize		W. Wheat		Maize		W. Barley		Maize		
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	2003		2004		2005		2006		2007		2008		
				RD	Y	RD	Y	RD	Y	RD	Y	RD	Y	RD	Y
a)	150	100	89.3	9.77	88.4	11.9	642	6.14	98.4	9.47	696	6.19	89.6	12.2	
b)	650	100	90.0	10.1	88.2	11.8	644	6.58	98.4	10.1	670	6.47	88.4	12.5	
c)	1150	100	90.3	9.92	87.0	11.9	625	6.41	96.6	10.4	707	6.59	91.2	12.6	
d)	150	600	83.2	9.77	90.0	12.1	601	6.80	98.4	9.10	681	6.74	89.6	12.1	
e)	150	1100	85.6	10.3	89.5	12.0	567	6.53	99.6	9.64	741	6.91	92.5	12.4	
f)	650	600	89.0	10.1	87.7	12.3	605	7.04	95.4	9.52	743	6.99	90.2	12.7	
g)	1150	1100	90.0	10.7	90.8	12.2	585	7.17	100	9.62	695	7.35	91.4	12.9	
LSD 5%								0.60		0.64		0.69			
LSD 1%				ns		ns		ns		ns	ns	ns			ns
Average				88.2	10.1	88.8	12.0			98.1	9.73			90.4	12.5

\* 100 % RD or RD (plants ha<sup>-1</sup>) = 54946 (2003 and 2004), 57143 (2006) and 58310 (2008)

\*\* maize yield calculations on 14% moisture and 90% (2003, 2004 and 2008) and 96% (2006) of PRD basis; yield calculation on 13% moisture, 600 (wheat) and 700 (barley) ears per m<sup>2</sup> basis.

Uit tabel 13 zijn a vs e, b vs f, c vs g vergeleken. Er waren in de resultaten weinig significante verschillen, er was alleen in 2006 een significant verschil in de maisopbrengsten en daar waren de contrasten tussen K bemestingen negatief (hoger K gift, lagere opbrengst) of niet significant. De K<sub>2</sub>O-AL was laag, nl. 8,5 na het tweede jaar bij het laagste object (a) en 18,7 bij het hoogste bemonsterde object e. In tarwe en gerst waren wel significante effecten.

Het beeld van de Kroatische proeven was dat 300 kg K<sub>2</sub>O per ha per jaar op K-arme grond de korrelopbrengst circa 10% verhoogde.

In een veldproef in Hongarije (Izsaki, 2006) met mais op een kleigrond (chernozem) waar relatief veel K in zat, werd geen effect van K-bemesting gevonden in de korrelopbrengst. De K<sub>2</sub>O-AL varieerde tussen 206 en 465 mg K<sub>2</sub>O per kg (20,6 en 46,5 mg K<sub>2</sub>O per 100 g).

De nutriëntstatus van maïs werd gemeten aan het K-gehalte in het blad tegenover de kolf. Dat varieert tussen 1,79 en 2,47% K. Er bestond een negatief verband tussen % K en % Mg in het blad en een positief verband tussen K<sub>2</sub>O-AL en het K% in het blad.

Een veldproef in Canada (Subedi, 2009) werd uitgevoerd in de vochtige gematigde regio van oost Canada (Ontario). Drie jaar (2003 – 2005) zijn er proefvelden aangelegd. Als basis lag er een behandeling waarin zoveel mogelijk de geldende adviezen werden gevolgd: N bemesting voor de zaai en later N bijbemesten, bespuiting tegen onkruid, zaaidichtheid, P, K, Zn, Mg en Mn bemesting. Overige behandelingen waren een van deze geadviseerde behandelingen weglaten en de rest wel uitvoeren. De adviesbemesting voor K was 20 kg K per ha voor de zaai.

De meest limiterende factor bleek de onkruidbeheersing te zijn. Weglaten kostte 27-38% korrelopbrengst. Het weglaten van de K-bemesting kostte alleen in 2004 13% opbrengst in de korrel. In de overige jaren was er geen effect van het weglaten van de K-bemesting.

Van de boven genoemde proeven waren alleen de korrelopbrengsten gegeven. Bij de oogst van snijmaïs worden alle bovengrondse delen van de plant geoogst. Ten opzichte van de bovengrondse droge stofproductie is de korrel slechts een deel. In een studie waarin een groot aantal data vanuit Nebraska en Z-O Azië zijn verzameld, is op basis van 2579 proefdata een harvest index (kg korrel/kg totaal droge stof) bepaald van 50% (Setiyono, 2010). Dit zou betekenen dat een opbrengstverhoging in de korrel het dubbele zou betekenen wanneer de maïs als snijmaïs geoogst zou worden. Procentueel blijft de opbrengstverhoging gelijk.

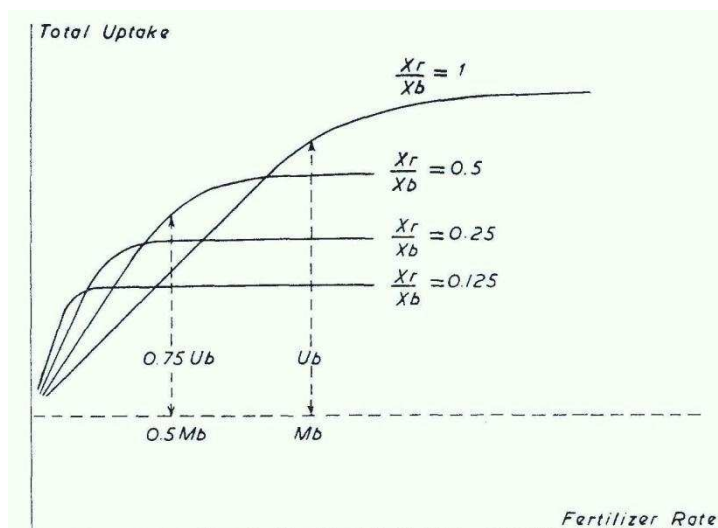
### 3.1.3 Conclusie

Zowel Nederlands als buitenlands onderzoek naar kalibemesting bij maïs laten zien dat significante opbrengsteffecten (10-20%) vooral worden waargenomen op gronden met een lage kalitoestand.

### 3.2 Werking K toegediend als rijenbemesting

#### 3.2.1 Oud onderzoek voor 1970

De Wit (1953) beschrijft een modelmatige benadering van het effect van rijenbemesting. Volgens deze benadering is het effect van rijenbemesting op de opname afhankelijk van de verhouding tussen de breedte van de kunstmestband (rijbreedte) en de rijafstand van het gewas en van de hoogte van de kunstmestgift (figuur 8). Bij relatief lage giften geeft rijenbemesting een hogere opname dan breedwerpig. In figuur 8 is te zien dat wanneer bij een rijbreedte/rijafstand ratio van 0,5 de gift wordt gehalveerd de opname bij rijenbemesting 0,75 keer de opname bij breedwerpig wordt. Als gevolg van een maximale opname capaciteit van de wortels per volume-eenheid grond stagneert de opname bij rijenbemesting eerder dan bij breedwerpig. Dit betekent dat rijenbemesting een voordelig effect heeft bij relatief lagere giften en een nadelig effect bij relatief hogere giften. Het nadelig effect treedt eerder op naarmate de kunstmestband smaller wordt. Deze conclusie werd niet ondersteund door het onderzoek van Prummel (1957) waarbij het effect van N, P en K rijenbemesting werd onderzocht. Hij vond een voordelig effect bij relatief lage giften en geen (nadelig) effect bij relatief hoge giften. Kali gegeven als rijenbemesting was op kleigrond bij graan 3,65 keer zo effectief dan breedwerpig en bij aardappelen en bij een hoge pH een factor 1,60. Bij aardappelen bij een lage pH en bij bieten vond hij geen effect. Dit is een opvallend resultaat omdat bieten en aardappelen normaal een ruimere rijafstand hebben van graan. Niet duidelijk is welke rijafstand in het onderzoek is gehanteerd.



**Figuur 8** Relatie tussen kunstmesthoeveelheid ( $M_b$ ) en opname bij rijenbemesting en breedwerpig gift ( $U_b$ ) in afhankelijkheid van de rijbreedte/rijafstand ( $X_r/X_b$ ) ratio

Welch et al. (1966) vonden in hun onderzoek met korrelmaïs dat minder K nodig was voor een bepaalde opbrengst wanneer het werd toegediend als rijenbemesting. De relatieve efficiëntie van breedwerpig toegediende kali vergeleken met rijenbemesting varieerde in hun onderzoek van 0,33 tot 0,88. Voor hun onderzoek werden in de periode 1961-1964 drie proefvelden aangelegd op gronden met een laag tot medium K-toestand. In het onderzoek werden vier of vijf breedwerpig doseringen (0, 34, 67, 134 en 267 kg  $K_2O$  per ha) vergeleken met 4 rijenbemestingdoseringen (0, 17, 34 en 67 kg/ha). De rijenbemesting werd 5 cm naast en 5 cm onder het zaad toegediend.

Parks en Walker (1969) modelleerden het effect van K-bemesting op de opbrengst van maïs middels een kwadratisch model met K-gehalte van de bodem, K-gift en toedieningsmethode (breedwerpig en rijenbemesting) als variabelen op basis van 3-jarig veldonderzoek met korrelmaïs. De  $K_2O$ -doseringen waren: 0, 34, 67 en 100 kg per ha. Het K-gehalte van de bodem varieerde van 59 tot 515 kg per ha volgens de Tennessee bodem analyse procedure, waarbij  $< 134$  kg /ha als 'laag' wordt gekwalificeerd, 135-224 als 'midden' en  $> 224$  als 'hoog'. Zij vonden een positief effect van rijenbemesting t.o.v. breedwerpig toediening. Het effect nam af naarmate het K-gehalte van de bodem toenam en naarmate de K-gift hoger was. Bij een gift van 100 kg  $K_2O$  per ha in combinatie met een hoog K-

gehalte van de bodem werd geen effect meer gevonden. Gemiddeld was rijenbemesting 1,75 keer zo efficiënt dan breedwerpige toediening.

Op basis van hetzelfde veldonderzoek werd ook het effect van K-bemesting, K-toestand van de bodem en methode van toediening op legering van maïsplanten gemodelleerd (Walker en Parks, 1969). De legering nam af naarmate de K-toestand van de bodem en de K-bemesting toenam. Er werd nauwelijks een verschil tussen de toedieningsmethode gevonden.

### 3.2.2 Recent onderzoek

Recentere literatuur m.b.t. rijenbemesting met kali betreft veelal Amerikaans onderzoek met korrelmaïs en soja. Vaak is het onderzoek uitgevoerd in combinatie met no till systems omdat de jeugdgroei en korrelopbrengst van no-till teeltsystemen vaak lager zijn van dan conventionele teeltsystemen (Mallarion et al., 1999), waardoor de verwachte effecten van rijenbemesting groter zijn. Veel onderzoeken zijn uitgevoerd met meststoffen waarmee verschillende elementen tegelijkertijd werden gegeven. Dat maakt het lastig om behandelingseffecten toe te schrijven aan een bepaald element.

Vyn et al. (2002) onderzochten in een tweejarige veldproef het effect op de korrelopbrengst van rijenbemesting met K bij toepassing van geen grondbewerking, alleen rijen grondbewerking en niet kerende grondbewerking met een cultivator. Het onderzoek werd uitgevoerd op een zavelgrond (38% sand, 53% silt en 9% clay) waarop minstens 15 jaar soja, winter tarwe en maïs in een rotatie bouwplan werden geteeld. Het K-gehalte in de laag 0-30 cm was laag (46 mg K/L). De onderzochte vormen van K-bemesting waren diepe K-rijenbemesting op een diepte van 15 cm recht onder de rij, halve gift breedwerpig plus halve gift rijenbemesting op 5 cm naast en 5 cm onder de maisrij, volledig breedwerpig en geen K-bemesting. De K-bemesting bedroeg 100 kg K (=120 kg K<sub>2</sub>O) per ha. Tijdens de bloei hadden de behandelingen met K-bemesting duidelijk meer biomassa dan de onbemeste behandeling. Tussen de verschillende bemeste behandelingen zat geen verschil. Opvallend was dat er ondanks de lage K-toestand van de bodem niet altijd een effect van bemesting met K werd gevonden op de korrelopbrengst. Bij niet kerende grondbewerking was er in geen van de beide jaren een reactie. Gemiddeld hadden de beide vormen van rijenbemesting geen noemenswaardig effect op de korrelopbrengst.

Yin en Vyn (2002) vonden in hun onderzoek met soja geen significante effecten van rijenbemesting (volledig dosering op 15 cm diepte of halve dosering oppervlakkige rijenbemesting plus halve dosering breedwerpig) met 100 kg K/ha op het K-gehalte van het blad en opbrengst. Daarentegen vonden ze in hun onderzoek van 2003 een positief effect van K-rijenbemesting ten opzicht van breedwerpig op de K-gehalte van het blad en zaadopbrengst van soja wanneer deze geteeld werd op een rijafstand van 76 of 38 cm in een no-till systeem. Bij nauwere rijafstanden werden geen positieve effecten meer gevonden.

Buah et al. (2000) onderzochten drie jaar achtereenvolgend op twee locaties in Iowa het effect van rijenbemesting ten opzicht van breedwerpige bemesting bij twee K-doseringen (51 en 102 kg K/ha) bij korrelmaïs. Ze vonden geen effect op de korrelopbrengst. In het 5-6 bladstadium was er gemiddeld wel een positief effect op de ds-opbrengst en K-gehalte van de plantjes. Het effect op het K-gehalte van het blad in bloeistadium was wisselend.

Bordoli en Mallarino (1998) onderzochten bij korrelmaïs in no-till systemen het effect van twee methoden van rijenbemesting ten opzichte van breedwerpige toediening van 132 kg K/ha middels. De beide rijenbemestingsmethoden waren plaatsing van de meststof op 5cm naast en onder de rij met de zaaimachine (side banded) en plaatsing van de meststof recht onder de rij op een diepte van 15-20 cm (deep banded). Totaal werden er vijf driejarige proeven op verschillende locaties aangelegd en elf éénjarige proeven verdeeld over drie jaar. In de éénjarige proeven werd alleen de 'deep banded' methode onderzocht. Geconcludeerd werd dat K-bemesting in z'n algemeenheid de opbrengst licht verhoogde (ca.4%) en dat rijenbemesting recht onder de rij een licht hogere opbrengst (2,5%) gaf dan breedwerpig. Rijenbemesting naast/onder de rij had geen meerwaarde t.o.v. breedwerpig.

Chen en Mackenzie (1993) onderzochten het effect van K-rijenbemesting bij twee doseringen op de opbrengst van snijmaïs ten opzichte van breedwerpige K-bemesting. Bij rijenbemesting werd de K 5

cm onder en 5-7 cm naast de rij geplaatst. De K werd gegeven in de vorm van KCl en de beide K-doseringen waren 100 en 200 kg K/ha. Zij vonden geen respons van K-bemesting op de opbrengst en dus ook geen verschil tussen de beide methoden.

Heckman en Kamprath (1992) vonden in 3-jarig onderzoek met korrelmaïs alleen een effect van K-rijenbemesting op de opbrengst in een jaar met droge omstandigheden. In het onderzoek werd uitgevoerd op een lemige zandgrond met een relatief hoge K-toestand. De  $K_2O$ -doseringen waren 67 en 135 kg per ha. De kali werd als rijenbemesting 5 cm onder en 5 cm naast de rij geplaatst.

### 3.2.3 Conclusies

- Er is geen recent West-Europees onderzoek bekend waarbij de efficiëntie van van K-rijenbemesting t.o.v. breedwerpige toediening is onderzocht. Meer recent onderzoek is vooral Amerikaans onderzoek, veelal met korrelmaïs en bij teeltsystemen met beperkte grondbewerking.
- Gemiddeld werd een positief effect van rijenbemesting gevonden. De gevonden effecten varieerden echter van geen effect tot een betere werking met een factor 3. De resultaten zijn daarmee onvoldoende eenduidig om een advies voor rijenbemesting op te baseren.
- De vochttoestand lijkt een rol te spelen bij het effect van rijenbemesting.

## 4 Bijdrage van K uit zode en groenbemesters

De teelt van snijmaïs zal op zandgrond nagenoeg altijd voorafgegaan worden door een voorgewas. Bij het onderwerken van dit voorgewas zal een hoeveelheid kalium vrijkomen. Kalium is in hoge gehalten aanwezig in planten, en wordt niet ingebouwd in organische verbindingen. Daarom kan er van uitgegaan worden dat de kalium uit de ondergewerkte plantendelen geheel en snel beschikbaar komt voor het volggewas snijmaïs.

Bij wisselbouw van snijmaïs met grasland worden hier twee situaties onderscheiden:

1. doodspuiten en scheuren van het grasland in vroege voorjaar
2. doodspuiten en onderwerken gras na het oogsten van een eerste snede gras

Bij continue teelt snijmaïs is uitgegaan van twee vanggewassen:

3. Italiaans raaigras
4. winterrogge

Wintergerst of wintertarwe zijn daarnaast ook mogelijk maar zullen geen wezenlijk ander patroon geven dan winterrogge. Ook voor de verschillende soorten grassen en mengsels daarvan worden geen wezenlijke verschillen in kaliumlevering verwacht. Naast gras en wintergranen zijn bladrammenas en bladkool wettelijk toegestaan als vanggewas na maïs. Deze vanggewassen geven bij de late zaaidatum na de oogst van maïs geen geslaagde groei en worden daarom nauwelijks ingezaaid na maïs.

Er zijn weinig gegevens gevonden over de hoeveelheid droge stof en kaliumgehalten van grasland en vanggewassen, vooral voor de wortels en de stoppel. Waar nodig zijn aannames en afleidingen in de tekst opgenomen. Er is hier geen rekening gehouden met eventuele verliezen ten gevolge van uitspoeling.

### 4.1 Grasland als voorgewas, onderwerken vroege voorjaar

De hoeveelheid droge stof in de bovengrondse delen en wortels is afgeleid van metingen van Van Dijk et al. (1996) aan wortels en bovengrondse delen van meerjarig grasland voor het scheuren in maart (gemiddeld over jaren 1990-1993). De hoeveelheid bovengrondse delen in maart bedroeg gemiddeld 3,5 ton. Hierbij is zowel de stoppel de hergroei gedurende het najaar en voorjaar meegerekend, waarbij vermeld wordt dat het zachte winters met een vroeg voorjaar betrof. De resultaten van Van Dijk et al. geven aan dat er nauwelijks verschil is tussen de drogestofopbrengst van een tweedejaars of een meerjarige zode. Ook uit eerder onderzoek (Whitehead et al. (1990) en Baker (1957)) komt naar voren dat de hoeveelheid droge stof in het voorjaar bij meerjarige zoden redelijk constant is. Whitehead et al. (1990) vonden gemiddeld 3,0 ton droge stof in de bovengrondse delen van meerjarig grasland in voorjaar.

In afwijking van de resultaten van Van Dijk et al. (1996) en Whitehead et al (1990) is hier uitgegaan van een hoeveelheid droge stof in de bovengrondse delen van 2,25 ton droge stof per hectare, waarvan 1 ton oogstbaar en 1,25 ton in de stoppel. De hoeveelheid oogstbaar droge stof in vroege voorjaar ligt rond 1 ton per hectare. Daarnaast is uitgegaan van een hoeveelheid droge stof in de stoppel van 1,25 ton per hectare. Voor de hoeveelheid droge stof die met de stoppel wordt ondergewerkt zijn geen gegevens gevonden. De hoeveelheid droge stof in de stoppel is daarom geschat op basis van de relatie tussen de drogestofopbrengst en de grashoogte, zoals afgeleid in het project Koe & Wij (van den Pol-van Dasselaar & Den Boer, 2007). Bij een grashoogte van 9 cm wordt bij een maaihoogte van 5 cm 825 kg per ha geoogst, ofwel ruim 200 kg per cm. De dichtheid in de stoppel is hoger, en is verondersteld 250 kg per cm. Dit geeft een hoeveelheid droge stof in de stoppel van 1,25 ton ds per hectare. Voor de wortels van de meerjarig zode is een hoeveelheid van 7 ton ds aangehouden (tabel 14), zoals afgeleid door Den Boer & Ros (2005).

Het kaliumgehalte in gras in het voorjaar wordt gegeven door Den Boer & Ros (2005). Bij gras geoogst begin mei was het kaliumgehalte 32 g K per kg ds. Dit gehalte valt binnen kaliumgehalten zoals gemeten in gras van de eerste snede, met een spreiding tussen de 25 en 50 gram per kg ds (Bussink et al 2011). Een later oogstmoment geeft ook een hogere drogere stofopbrengst en een verdunning van het K-gehalte in het gras. Het K-gehalte neemt af bij een toename van het droge

stofgehalte. Mogelijk wijkt het kaliumgehalte van de totale bovengrondse delen af van dat van het oogstbare deel. Er zijn echter geen gegevens gevonden over het kaliumgehalte in de stoppel van grasland aan de hand waarvan dit aangepast zou worden.

Er zijn nagenoeg geen gegevens gevonden over de gehalten aan kalium in de wortels van grasland. Het kaliumgehalte in wortels ligt in het algemeen veel lager dan in de bovengrondse delen (Hakala et al. 2009, Van Rotterdam-Los, 2010 niet gepubliceerde gegevens), waarbij er ook een verschil wordt gevonden tussen verschillende plantensoorten. Voor eenjarig timoteegras vonden Hakala et al. 2009 een gehalte in de wortel van 5 g K per kg ds.

**Tabel 14** Hoeveelheid droge stof en kalium gehalten in wortel en stoppel van meerjarig grasland bij onderwerken in voorjaar zonder oogst 1<sup>ste</sup> snede

Gewasdeel	Hoeveelheid droge stof (ton ds/ha)	K-gehalte (g K/kg ds)	K-opbrengst (kg K/ha)	K <sub>2</sub> O opbrengst (kg K <sub>2</sub> O/ha)
Bovengronds	2,25	32	72	86,8
Wortel	7,0	5	35	42,2
Totaal	9,25	37	107	129

#### Resultaat voor ondergewerkt grasland

De hoeveelheid kalium die beschikbaar komt vanuit een voorgewas meerjarig grasland dat in het voorjaar wordt ondergewerkt zonder een oogst 1<sup>ste</sup> snede kan circa 105 kg K ofwel 130 kg K<sub>2</sub>O bedragen.

## 4.2 Grasland als voorgewas, onderwerken na oogst van 1<sup>ste</sup> snede

Bij het onderwerken van grasland na een eerste snede gras zal de hoeveelheid kalium die beschikbaar komt uit de stoppel en wortels lager zijn doordat met het gras ook een aanzienlijke hoeveelheid kalium wordt afgevoerd.

Voor de hoeveelheid stoppel is 1,25 ton ds per hectare aangehouden volgens de afleiding zoals hierboven bij gras onderwerken in vroege voorjaar zonder oogst eerste snede is toegelicht.

Bij het oogsten van het gras treden voederwinningsverliezen op doordat er grasresten in de stoppel terecht komen en er oogstresten op het veld achterblijven. Hier wordt uitgegaan van een voederwinningsverlies gelijk aan 6% van geoogste gras. De opbrengst van een vroege eerste snede bedraagt tussen de 2 en 2,7 ton ds per ha (Den Boer en Ros, 2005), en de voederwinningsverliezen liggen daarmee gemiddeld op 0,14 ton ds per ha.

De hoeveelheid wortel wordt verondersteld gelijk te zijn aan die bij de situatie onderwerken van grasland in vroege voorjaar, namelijk 7000 kg ds ha.

Voor het kaliumgehalte in de stoppel en de voederwinningsverliezen is aangenomen dat deze gelijk is aan die in het gras. Het kaliumgehalte in het gras in een vroege snede gras is 32 g K kg ds zoals gegeven door Den Boer en Ros (2005). Het kaliumgehalte in de wortels wordt evenals bij vroeg ondergewerkt grasland op 5 g K per kg ds verondersteld.

**Tabel 15** Hoeveelheid droge stof in stoppel, oogstverliezen, wortel en de kaliumgehalten na vroege oogst 1ste snede gras

Gewasdeel	Hoeveelheid droge stof (ton ds/ha)	K-gehalte (g K/kg ds)	K-opbrengst (kg K/ha)	K <sub>2</sub> O opbrengst (kg K <sub>2</sub> O/ha)
Stoppel	1,25	32	40	48,2
Voederwinnings- verliezen	0,14	32	4,5	5,4
Wortel	7,0	5	35	42,2
Totaal	8,39		80	95,8

Resultaat ondergewerkt grasland na oogst eerste snede

De hoeveelheid kalium die beschikbaar kan komen uit een voorgewas gras waarvan de eerste snede gras is geoogst is lager dan die van een vroeg ondergewerkt grasland: De kaliumlevering is dan circa 80 kg K wat overeenkomt circa 95 kg K<sub>2</sub>O per ha.

**4.3 Italiaans raaigras als vanggewas**

Italiaans raaigras mag gebruikt worden als vanggewas bij de teelt van snijmaïs. Dit gras kan gezaaid zijn in de stoppel na de oogst van het hoofdgewas of aanwezig zijn geweest als ondervrucht van de maïs. Dilz et al (1997) hebben de droge stofproductie van raaigras gezaaid in augustus en geoogst in november gemeten. Bij een lage N-bemesting (tot 50 kg N per ha) liep de bovengrondse opbrengst (inclusief stoppel) bij de opeenvolgende proefjaren uiteen van 1,0 tot 2,38 ton ds per hectare. Door Schröder et al. (1992) is een droge stofproductie (exclusief stoppel) tussen de 1,5 en 2,0 ton ds per ha gemeten (onderzaai in maïs met vroege oogst). Schröder et al vermelden daarbij dat de proef uitgevoerd werd in warme droge winters. Den Boer & Ros (2005) melden opbrengsten voor de bovengrondse maaibare droge stof op praktijkpercelen tussen de 2,0 en 2,75 ton ds per ha. Op Kennisakker.nl wordt een bovengrondse droge stof opbrengst van 2,5 ton ds per ha gegeven voor een goed geslaagd vanggewas Italiaans raaigras.

Afhankelijk van het tijdstip van zaaien en onderwerken en de weersomstandigheden gedurende het groeiseizoen kan de hoeveelheid gewas in het voorjaar sterk uiteenlopen. Daarom zijn berekeningen uitgevoerd bij drie opbrengstniveaus: 0,5-1,5 en 2,5 ton droge stof per ha.

De drogestofproductie van de wortels is gemeten door Dilz et al (1977), en blijkt sterk samen te hangen met de bovengrondse drogestofproductie. Gebruikmakend van de data van Dilz et al. valt de volgende relatie af te leiden voor raaigras (N-bemesting tot 50 kg per hectare, groeiperiode augustus-november, n=4, R<sup>2</sup> = 0,99).

$$ds_{\text{wortel}} = ds_{\text{bovengronds}} \times 0,46 + 106$$

Dit sluit aan bij de door Schröder et al. (1992) gehanteerde aanname voor spruit-wortel ratio van 2:1. Bij bovengrondse drogestof producties van 0,5-1,5-2,5 ton ds levert dit wortelhoeveelheden van 0,336-0,796-1,256 ton ds ha. Het is lager dan de 1,7 ton ds wortelmassa die op Kennisakker.nl wordt genoemd bij een bovengrondse drogestofproductie van 2,5 ton ds. Omdat hiervoor de onderbouwning ontbrak is dit niet meegenomen in berekeningen.

Het kaliumgehalte van een vanggewas Italiaans raaigras wordt gegeven door Den Boer & Ros (2005). In het maaibare gedeelte was het gehalte 37 g K per g ds. Mogelijk wijkt het gehalte in de totale bovengrondse productie iets af vanwege een afwijkende samenstelling in de zode. Hier zijn echter geen gegevens over gevonden.

Het kaliumgehalte in de wortels wordt verondersteld gelijk te zijn aan die in de wortels van meerjarig grasland, namelijk 5 g K per kg ds.



**Tabel 16** Hoeveelheid bovengrondse biomassa en wortel bij een slechte, redelijke en goede gewasstand en gehalten kalium van een vanggewas Italiaans raaigras

Gewasdeel	Hoeveelheid droge stof (ton ds/ha)	K-gehalte (g K/kg ds)	K-opbrengst (kg K/ha)	K <sub>2</sub> O opbrengst (kg K <sub>2</sub> O/ha)
<b>Bovengronds</b>				
Slecht	0,5	37	19	22,3
Redelijk	1,5	37	56	66,9
Goed	2,5	37	93	111,5
<b>Wortels</b>				
Slecht	0,336	5	2	2,0
Redelijk	0,796	5	4	4,8
Goed	1,256	5	6	7,6
<b>Totaal</b>				
Slecht	0,836		20	24,3
Redelijk	2,296		59	71,7
Goed	3,756		99	119,0

Resultaat voor Italiaans raaigras als vanggewas

De hoeveelheid kalium die beschikbaar kan komen uit een vanggewas Italiaans raaigras ligt tussen de circa 20 en 100 kg K per ha ofwel circa 25 en 120 kg K<sub>2</sub>O per hectare, afhankelijk van de stand van het gewas. Dit is lager dan bij meerjarig grasland, voornamelijk door het verschil in de droge stof van de zode, welke bij meerjarig grasland veel beter ontwikkeld is.

**4.4 Winterrogge als vanggewas**

Winterrogge kan gebruikt worden als vanggewas bij de teelt van snijmaïs. Schröder & De la Lande Cremer (1989) vonden zeer lage opbrengsten voor een onbemest vanggewas winterrogge, namelijk 0,08 en 0,346 ton ds per ha voor bovengrondse delen. Van Dijk et al (1995) hebben een niet-bemest vanggewas rogge geoogst bij een opbrengst van 1,22 ton ds per ha. Van Laarhoven et al. (2003) vonden opbrengsten tussen 0,687 en 1,309 bij een N-bemesting van respectievelijk 0-30 kg N per ha. Den Boer & Ros (2005) melden een opbrengst van 1,841 ton ds per ha bij een N-bemesting van 25 kg N. Hierbij werd de winterrogge geoogst alvorens het onder te werken.

Afhankelijk van het tijdstip van zaaien en onderwerken en de weersomstandigheden gedurende het groeiseizoen kan de hoeveelheid gewas in het voorjaar sterk uiteenlopen. Daarom zijn berekeningen uitgevoerd bij drie opbrengstniveaus: 0,5-1,25 en 2,0 ton ds per ha voor bovengrondse delen.

Over de hoeveelheid wortelmassa van een vanggewas winterrogge zijn geen gegevens gevonden. De door Schröder et al (1992) gehanteerde aanname van een spruit-wortel ratio van 2:1 wordt hier gebruikt. Dat levert een wortelhoeveelheid van 0,25-0,625 en 1,0 ton bij de hierboven genoemde opbrengstniveaus voor bovengrondse delen. Dit komt iets lager uit dan de 0,6 ton ds wortelhoeveelheid die genoemd wordt op [www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl) bij 1,0 ton ds stof bovengronds. Omdat dit getal niet is onderbouwd is er hier niet verder mee gerekend.

Het kaliumgehalte van de bovengrondse delen van een vanggewas winterrogge is gemeten door Schröder & De la Lande Cremer (1989). In twee opeenvolgende jaren was het gehalte 27 en 37 g K per kg ds. Hier wordt gerekend met de gemiddelde waarde 32 g K per kg ds. Er zijn geen gegevens gevonden over het kaliumgehalte in de wortels van winterrogge. Hakala et al (2009) hebben wel het kaliumgehalte in de wortels van eenjarig wintergerst gemeten en vonden 5 g K per kg ds. Gezien de taxonomische verwantschap tussen winterrogge en wintergerst wordt dit gehalte hier als beste schatting gebruikt.

**Tabel 17** Hoeveelheid bovengrondse biomassa en wortel bij een slechte, redelijke en goede gewasstand en gehalten kalium van percelen winterrogge als vanggewas voor het inzaaien van snijmaïs

Gewasstand	Hoeveelheid droge stof (ton ds/ha)	K-gehalte (g K/kg ds)	K-opbrengst (kg K/ha)	K <sub>2</sub> O opbrengst (kg K <sub>2</sub> O/ha)
<b>Bovengronds</b>				
Slecht	500	32	16	19,3
Redelijk	1250	32	40	48,2
Goed	2000	32	64	77,1
<b>Wortel</b>				
Slecht	250	5	1	1,5
Redelijk	625	5	3	3,8
Goed	1000	5	5	6,0
<b>Totaal</b>				
Slecht	750		17	20,8
Redelijk	1875		43	52,0
Goed	3000		69	83,1

De hoeveelheid kalium die beschikbaar kan komen uit een vanggewas winterrogge ligt bij een slecht aangeslagen gewas tussen circa 20 en 70 g K, ofwel circa 20 en 85 kg K<sub>2</sub>O per ha, afhankelijk van de stand van het gewas. Deze hoeveelheid is iets lager dan bij Italiaans raaigras als vanggewas en veel lager dan bij meerjarig grasland als voorgewas. Dit komt voornamelijk door het verschil in de droge stof en kalium van de zode, welke bij meerjarig grasland veel beter ontwikkeld is.

#### 4.5 Conclusies

Een overzicht van de hoeveelheid K<sub>2</sub>O die vrijkomt na het onderwerken van de verschillende voorgewassen is gegeven in tabel 18.

**Tabel 18** Hoeveelheid K<sub>2</sub>O (kg/ha) die beschikbaar komt na het onderwerken van een voorgewas in het voorjaar

	Bovengronds	Wortel	Totaal*
1. Gras niet geoogst	85	40	130
2. Gras na oogst 1ste snede	55	40	95
3. Italiaans raaigras vanggewas			
slechte stand	20	0	25
redelijke stand	65	5	70
uitbundige stand	110	10	120
4. Winterrogge vanggewas			
slechte stand	20	0	20
redelijke stand	50	5	50
uitbundige stand	80	5	85

\* alle hoeveelheden zijn afgerond op 5-tallen. Door afronding kan dit bij totaal een afwijking geven ten opzichte van de som van bovengronds en wortel.

- Vanuit een ondergewerkt gewas kan een aanzienlijke hoeveelheid K<sub>2</sub>O beschikbaar komen voor een volgend gewas.
- De hoeveelheid K<sub>2</sub>O die beschikbaar komt verschilt per voorgewas, waarbij er vooral bij vanggewassen ook een sterk effect is van de gewasstand op de hoeveelheid K<sub>2</sub>O die beschikbaar kan komen.
- Na het onderwerken van meerjarig grasland in vroege voorjaar (eind maart, begin april) komt vanuit boven- en ondergrondse delen 130 kg K<sub>2</sub>O per ha vrij.

- Als er in voorjaar een vroege eerste snede geoogst wordt (begin mei) en aansluitend ondergewerkt kan er 95 kg  $K_2O$  per hectare beschikbaar. Het grasland heeft langer door kunnen groeien en meer K opgenomen maar met de eerste wordt ook een hoeveelheid K afgevoerd.
- De hoeveelheid  $K_2O$  die beschikbaar kan komen vanuit een ondergewerkt vanggewas is sterk afhankelijk van de stand van het gewas. Door uiteenlopende zaaidata, bodemvruchtbaarheid van het perceel en verschillen in temperatuur en vocht tussen de jaren kan de hoeveelheid droge stof ook sterk verschillen.
- De hoeveelheid  $K_2O$  die beschikbaar kan komen uit Italiaans raaigras als vanggewas is 70 kg  $K_2O$  per ha, maar dit kan afnemen tot 25 kg  $K_2O$  bij een slechte stand en toenemen tot 120 kg  $K_2O$  bij een uitbundige gewasstand.
- Bij winterrogge kan er 50 kg  $K_2O$  per ha beschikbaar komen voor een volgend gewas, en dit kan afnemen tot 20 kg  $K_2O$  bij een slechte gewasstand en oplopen tot 85 kg  $K_2O$  bij een zeer uitbundige gewasstand.

## 5 Ontwikkeling K-toestand en relevante bodemvruchtbaarheidsparameters

### 5.1 Regelgeving rond mest toedienen op maïsland

In het verleden is veel dierlijke mest op maïsland uitgereden. Door de mestwetgeving is de toegestane hoeveelheid dierlijke mest op maïsland de afgelopen jaren sterk beperkt. Vanuit de regelgeving is de hoeveelheid fosfaat die met de mest wordt toegediend vaak de regulerende factor. Door het streven naar evenwichtsbemesting voor fosfaat in 2015 zal de hoeveelheid dierlijke mest die op het maïsland toegediend kan worden nog verder afnemen. Daarmee neemt ook de voorziening met kalium vanuit de dierlijke mest af.

Voor 1980 was er geen wettelijke beperking voor de hoeveelheid mest die op het maïsland mocht worden toegediend en de tijd, waarin dit gebeurde. Doordat veel bedrijven maar een beperkte opslagcapaciteit hadden voor de dierlijke mest (circa 2- 4 maanden) werd veel mest in de winterperiode op het maïsland uitgereden. Medio tachtiger jaren van de vorige eeuw is regelgeving geïntroduceerd, waarmee het toedienen van mest op bouwland op zandgrond tussen de oogst en 1 november werd verboden. Deze nog zeer beperkte regelgeving is aanvankelijk aangehouden om veehouders de gelegenheid te geven hun mestopslagcapaciteit uit te breiden. De tijd waarin mest niet mag worden toegediend is geleidelijk uitgebreid. In 2011 geldt voor bouw- en maïsland op zand- en lössgrond een mesttoedieningsverbod in de periode van 1 september tot 1 februari. Met ingang van 2011 wordt dit verlengd tot een periode van 1 augustus tot 1 februari.

Daarnaast zijn regels opgesteld voor de hoeveelheid fosfaat die jaarlijks per ha op bouw- en maïsland met mest mocht worden gegeven. Tabel 19 laat de toegestane hoeveelheid fosfaat per ha zien voor de periode van 1987 – 1999 (Van Boheemen, 1987). Naast dierlijke mest was fosfaat uit kunstmest toegestaan.

**Tabel 19** Maximaal toegestane hoeveelheid fosfaat vanuit dierlijke mest per ha per jaar op diverse gewassen

	1987 - 1991	1991 - 1995	1995 - 1999
Grasland	250	200	175
Maïsland	350	250	175
Overig bouwland	125	125	125

In de periode 1995 – 1999 mocht dus wettelijk nog  $175/1,8 = 97 \text{ m}^3$  dunne rundveemest per ha worden gegeven (zie tabel 21).

In de periode van Minas (1999 – 2005) is gewerkt met verliesnormen (maximaal toegestaan overschot per ha). Voor fosfaat waren deze verliesnormen op bouwland in 1999 en 2003 respectievelijk 40 en 20 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  per ha per jaar. Bij een onttrekking van 65 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  kon dan nog circa 85 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  met mest worden gegeven. Dit komt overeen met 50 -55  $\text{m}^3$  dunne rundveemest per ha. Voor de kalivoorziening betekent dit dat hiermee bij een lage kalitoestand steeds voldoende kali kon worden gegeven vanuit de dierlijke mestgift.

In 2006 werden de gebruiksnormen van kracht. De gebruiksnorm voor fosfaat is de hoeveelheid  $\text{P}_2\text{O}_5$  per ha die jaarlijks mag worden gegeven uit dierlijke mest en kunstmest samen. De gebruiksnorm is voor enkele jaren gegeven in tabel 20. Daaruit is af te leiden dat de hoeveelheid dierlijke mest die op maïsland per ha kan worden gegeven, en daarmee de hoeveelheid kali in mest, afneemt.

**Tabel 20** Gebruiksnormen voor fosfaat, kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  per ha per jaar\*

	2006	2008	2010	2012	2014***	2015***
Maïsland	95 (85)**	85	80	70	65	60

\* Vanaf 2010 gelden er gedifferentieerde normen. Genoemde normen gelden voor de klasse 'neutraal'; \*\* ( ) uit dierlijke mest; \*\*\* nog indicatief

Ook de samenstelling van de mest verandert onder invloed van de bedrijfsvoering en het mestbeleid. In tabel 21 is de gemiddelde samenstelling van dunne rundveemest gegeven uit de 'Adviesbasis voor de bemesting van grasland en voedergewassen' in verschillende jaren. De gegeven samenstelling is gebaseerd op een groot aantal analyses in voorgaande jaren.

**Tabel 21** Gemiddelde samenstelling (kg/ton) dunne rundveemest periode 1994-2011

	ds	os	Ntot	Nmin	Norg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O
1994	90	67	4,8	2,3	2,5	1,7	6,5	1,3	0,7
1998	90	66	4,9	2,6	2,3	1,8	6,8	1,3	0,9
2002	86	64	4,4	2,2	2,2	1,6	6,2	1,3	0,7
2011	85	64	4,1	2,0	2,1	1,5	5,8	1,2	0,7

Tabel 21 laat zien dat de stikstof- fosfaat- en kaligehalten in de mest zijn afgenomen. Momenteel bemesten veel bedrijven het maïsland met 40 m<sup>3</sup> dunne rundveemest per ha en een aanvullende rijenbemesting met N en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Het maïsland krijgt dan 232 kg K<sub>2</sub>O per ha. Bij een lage kalitoestand is het advies op zandgrond 300 kg K<sub>2</sub>O per ha. De maïs wordt dan beneden het advies bemest. Aanvulling met dure kunstmestkali zal dan in veel gevallen nodig zijn.

Bij een voldoende fosfaattoestand is het advies 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Dit is dan alleen mogelijk door de dierlijke mest in de rij toe te dienen. Naar verwachting zal dit in de toekomst veel gebeuren. Daarom is het belangrijk ook de werking van kali uit mest in de rij goed te onderbouwen.

In tabel 22 is de hoeveelheid mest die toegediend mag worden vanuit de regelgeving rondom fosfaat weergegeven, evenals de hoeveelheid kali die met deze hoeveelheid mest gegeven wordt. Hierbij is uitgegaan van de gemiddelde samenstelling van dunne rundmest (tabel 21). Te zien valt dat de hoeveelheid kali die toegediend kan worden via de mest de afgelopen 25 jaar sterk is gedaald. Tot aan 2010 was deze hoeveelheid echter voldoende om aan het bemestingsadvies bij de kalitoestand laag te voldoen. Met de voorziene daling van de toegestane P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gift uit dierlijke mest zal de kaligift uit dierlijke mest echter ontoereikend worden om de kalitoestand op peil te houden en het gewas te voorzien van voldoende kali.

**Tabel 22** Toegestane hoeveelheid P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> op bouwland en daarvan afgeleide hoeveelheden dunne rundmest en K<sub>2</sub>O 1987-2015

	1987 - 1991	1991 - 1995	1995 - 1999	2006	2008	2010	2012	2014*	2015*
Mest (m <sup>3</sup> /ha)	206	147	97	53	53	50	47	43	40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	350	250	175	85	85	80	70	65	60
K <sub>2</sub> O (kg/ha)	1338	956	661	329	329	310	271	251	232

\* nog indicatief

## 5.2 Verloop van K en relevante bodemparameters in bodem per regio

Om een indruk te krijgen van het mogelijk effect van de verlaging van de mestgiften in de afgelopen jaren is het verloop van de kalium-toestand van de bodem in voor snijmaïs relevante regio's onderzocht met behulp van de database van BLGG AgroXpertus. Hierbij zijn de volgende regio's onderscheiden:

- Zuidelijk zand
- Noordelijk zand
- Rivierklei
- Flevopolder

Daarbij was het de vraag of er een effect zou zijn van teeltsysteem: continueelt of vruchtwisseling. Als eerste verkenning is daarvoor bij de regio zuidelijk zand voor het jaar 2009 een uitsplitsing gemaakt tussen continu maïs en vruchtwisseling. Daarbij omvat vruchtwisseling zowel de wisselbouw van snijmaïs met grasland als snijmaïs met andere voedergewassen.

Naast kalium is het verloop van os%, pH en Mg onderzocht. De kaliumtoestand wordt naast het kaliumgehalte beïnvloedt door het organisch stofgehalte en de pH. Ook is er een interactie met Mg, zowel bij de buffering aan de CEC als bij de opname door de plantenwortels.

De data zijn weergegeven vanaf 1992 met intervallen van 2-5 jaar. Bij het weergegeven van de K-gehalten is er een trendbreuk tussen 2000 en 2003. Dit komt omdat BLGG AgroXpertus in die tijd is overgegaan op een ander extractiemiddel: zowel K als Mg worden nu gemeten in CaCl<sub>2</sub>. In vergelijking met HCl, waarin K voorheen gemeten werd is CaCl<sub>2</sub> een milder extractiemiddel. Een milder extractiemiddel betekent dat er minder omgewisseld wordt vanuit het klei-humuscomplex en de fractie K-gebonden, zodat de gemeten K-gehalten lager zijn dan bij een sterker extractiemiddel. Bij het berekenen van het K-getal door BLGG AgroXpertus wordt hier overigens rekening mee gehouden.

### 5.2.1 Zuidelijke zand

Voor het zuidelijk zand lijkt er een licht dalende trend waar te nemen. Bij aanvang van de meetreeks, jaren 1993 en 1995, was het K-getal hoger dan in de overig jaren, terwijl die in 2009 juist iets lager was. Het is onduidelijk of deze afwijkende waarden ook daadwerkelijk het gevolg zijn van een daling in de kaliumtoestand of dat deze veroorzaakt zijn door jaarinvloeden. Schommelingen in de K-meting door jaarinvloeden kunnen aanzienlijk zijn. Ook de Mg-gehalten, het gehalte organische stof en pH laten geen eenduidige trend zien.

Tot en met 2006 valt de gemiddelde kaliumtoestand in de klasse vrij hoog (18-25), enkel in 2009 valt de gemiddelde kaliumtoestand in de klasse ruim voldoende (13-17). Bij het 10% percentiel valt de kaliumtoestand tot 2006 in de klasse voldoende (10-12), slechts in 2009 valt het in klasse laag (7-9).

Een uitsplitsing in continueelt en vruchtwisseling laat geen enkel verschil zien tussen de beide teeltwijzen in kaliumtoestand.

**Tabel 23** K-gehalte (mg K kg grond); tot 2000 K-HCL, na 2000 K-PAE

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	131	120	1642	57	70	200
1995	150	140	1958	57	80	220
2000	120	110	1057	51	70	190
2003	77	69	2367	44	37	125
2006	76	66	1176	41	34	130
2009	70	61	3301	38	34	115

**Tabel 24** K-gehalte (mg K kg grond)

2009	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
Continu	70	61	2313	39	34	115
Vruchtwisseling	70	62	988	35	35	114

**Tabel 25** K-getal

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	19	18	1642	8,4	11	29
1995	22	21	1958	8,4	12	32
2000	18	16	1057	7,2	10	27
2003	18	16	2367	8,8	10	27
2006	18	17	1176	8,4	10	29
2009	17	15	3300	7,4	9	25

**Tabel 26** K-getal

2009	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
Continu	16,5	15	2312	7,6	9	25
Vruchtwisseling	16,4	15	988	6,9	9	24

**Tabel 27** MgO gehalte (mg Mg / kg grond); tot 2000 Mg-NaCl, na 2000 Mg-PAE

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	72	68	1310	29	40	109
1995	77	117	1428	55	69	198
2000	81	126	772	62	65	209
2003	76	70	2363	38	36	124
2006	79	69	1176	45	35	138
2009	86	76	3301	45	39	144

**Tabel 28** MgO gehalte (mg Mg / kg grond); tot 2000 Mg-NaCl, na 2000 Mg-PAE

2009	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
Continu	85	75	2313	46	37	143
Vruchtwis-seling	87	78	988	43	41	145

**Tabel 29** OS%- meting (%)

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	3,5	3,4	1642	1,0	2,5	4,6
1995	3,5	3,3	1958	1,2	2,4	4,6
2000	3,6	3,4	1057	1,2	2,5	4,8
2003	3,4	3,3	2367	1,2	2,3	4,4
2006	3,0	2,7	1176	1,3	1,9	4,1
2009	3,5	3,4	3301	1,2	2,4	4,9

**Tabel 30** Organische stofgehalte (%)

2009	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
Continu	3,5	3,3	2313	1,1	2,4	4,8
Vruchtwis-seling	3,6	3,4	988	1,2	2,3	5,1

**Tabel 31** pH- meting

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	5,3	5,3	1642	0,6	4,6	6,0
1995	5,2	5,2	1958	0,6	4,5	6,0
2000	5,2	5,2	1057	0,6	4,6	5,9
2003	5,3	5,3	2367	0,6	4,6	6,0
2006	5,2	5,2	1176	0,5	4,5	5,9
2009	5,2	5,2	3301	0,5	4,7	5,8

**Tabel 32** pH- meting

2009	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
Continu	5,2	5,2	2313	0,5	4,7	5,8
Vruchtwis-seling	5,3	5,3	988	0,4	4,8	5,9

### 5.2.2 Noordelijk zand

Voor het noordelijk zand lik ter een licht dalende trend in het verloop van de kaliumtoestand. De jaren 1993 en 1995 laten een licht hoger K-getal zien ten opzicht van de daaropvolgende jaren. Evenals bij het zuidelijk zand is het daarbij niet duidelijk of dit wijst op een dalende trend in K-toestand of dat de afwijkingen veroorzaakt wordt door jaarinvoeden. De Mg-gehalten laten geen eenduidig verloop zien, en zijn hoger dan bij zuidelijk zand, terwijl de pH waarden iets lager liggen.

In alle jaren valt de kaliumtoestand in de klasse ruim voldoende (13-17). Opvallend is wel dat de kaliumtoestand lager is dan bij het zuidelijk zand, bij een globaal gelijk K-gehalte. Dit kan toegeschreven worden aan het hogere gehalte aan organische stof, waardoor de herleidingfactor waarmee de K-meting omgerekend wordt naar het K-getal, lager is. De hogere gehalten organische stof en lagere pH zijn te verklaren door de aanwezigheid van dalgronden en zandgronden met venige resten in het noorden. De kaliumtoestand bij het 10% percentiel is lager dan bij zuidelijk zand, klasse laag.

**Tabel 33** K-gehalte (mg K kg grond); tot 2000 K-HCL, na 2000 K-PAE

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	126	110	215	61	60	210
1995	136	120	326	64	70	215
2000	113	100	296	46	70	170
2003	80	67	540	53	37	130
2006	68	60	737	34	36	109
2009	70	65	1776	32	37	108

\* tot 2000 is kaliumgehalte bepaald in HCl, na 2000 in het mildere extractiemiddel CaCl<sub>2</sub> als extractiemiddel. Bij omrekening naar K-getal wordt hiervoor gecorrigeerd

**Tabel 34** K-getal

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	16	14	215	7	8	28
1995	17	15	326	7	9	28
2000	14	13	296	6	8	21
2003	15	14	540	8	8	24
2006	14	13	737	6	9	21
2009	14	13	1776	5	9	20

**Tabel 35** MgO gehalte (mg Mg/kg grond); tot 2000 Mg-NaCl, na 2000 Mg-PAE

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	96	85	101	46	46	154
1995	112	174	113	87	99	276
2000	122	181	69	104	94	348
2003	112	104	540	61	46	183
2006	111	99	737	61	48	191
2009	105	92	1776	55	48	174

**Tabel 36** Organische stofgehalte (%)

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	5,8	5,5	215	2,2	3,6	8,4
1995	5,9	5,2	326	2,9	3,7	8,3
2000	5,9	5,5	296	2,2	3,9	8,2
2003	6,2	5,7	540	2,6	4,0	8,6
2006	5,3	4,7	737	2,7	3,1	7,9
2009	5,9	5,4	1776	2,6	3,8	8,3

**Tabel 37** pH- meting

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	4,9	4,9	215	0,5	4,4	5,5
1995	4,9	4,9	326	0,5	4,2	5,5
2000	5,0	4,9	296	0,5	4,4	5,7
2003	4,9	4,8	540	0,5	4,3	5,4
2006	4,9	4,9	737	0,4	4,4	5,4
2009	5,0	5,0	1776	0,4	4,5	5,4



## 5.2.3 Rivierklei

Bij rivierklei is er geen duidelijk waarneembare trend in kaliumtoestand. Met uitzondering van het jaar 1993 dat met de waarde 19 lager uitvalt, is het K-getal stabiel op 22-23. De gemiddelde kaliumtoestand valt in de klasse vrij hoog (21-26). Het 10% percentiel valt in de klasse voldoende (13-15). Ook voor de andere metingen valt er geen verloop in de tijd waar te nemen.

Ten opzichte van de zandbodems valt op dat de K-metingen iets hoger zijn, maar dat de kaliumtoestand aanzienlijk hoger is, vooral ten opzichte van noordelijk zand.

**Tabel 38** K-gehalte (mg K/kg grond); tot 2000 K-HCL, na 2000 K-CaCl<sub>2</sub>

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	162	150	314	64	100	230
1995	200	190	555	81	120	320
2000	210	190	320	98	120	310
2003	84	70	680	51	39	147
2006	83	69	550	51	41	141
2009	80	70	1329	41	40	133

\* tot 2000 is kaliumgehalte bepaald in HCl, na 2000 in het mildere extractiemiddel CaCl<sub>2</sub> als extractiemiddel. Bij omrekening naar K-getal wordt hiervoor gecorrigeerd

**Tabel 39** K-getal

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	19	17	314	9	11	28
1995	23	21	555	10	13	38
2000	23	20	320	11	13	35
2003	22	19	680	9	14	33
2006	22	19	550	10	14	33
2009	22	20	1328	8	14	32

**Tabel 40** MgO gehalte (mg Mg/kg grond); tot 2000 Mg-NaCl, na 2000 Mg-PAE

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	117	106	46	50	59	187
1995	142	229	103	126	97	366
2000	156	227	41	130	139	417
2003	215	197	676	106	93	365
2006	212	198	550	106	87	360
2009	192	173	1329	102	74	338

**Tabel 41** Organische stofgehalte (%)

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	4,8	4,1	314	2,7	2,5	7,7
1995	5,0	4,2	555	3,1	2,2	8,9
2000	5,4	4,4	320	3,5	2,6	9,2
2003	5,5	4,2	680	3,8	2,2	10,2
2006	5,8	4,8	550	3,8	2,2	11,0
2009	5,2	4,1	1329	3,9	2,2	8,8

**Tabel 42** pH- meting

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1993	5,9	5,8	314	0,9	4,8	7,2
1995	5,9	5,9	555	0,9	4,8	7,2
2000	6,0	6,0	320	0,9	4,8	7,2
2003	6,1	6,1	680	0,9	4,9	7,3
2006	5,9	5,9	550	0,9	4,8	7,1
2009	6,1	6,0	1329	0,8	5,1	7,0

## 5.2.4 Flevopolder

Voor de Flevopolder zijn er weinig data beschikbaar. Daarom zijn meer jaren opgenomen. Het jaar 1993 bevatte slechts 1 meting en is niet weergegeven. De gemiddelde kaliumtoestand viel in alle jaren in de klasse vrij hoog (21-30). Zelfs bij het 10% percentiel geldt de klasse ruim voldoende (16-20). Er lijkt een dalende trend in de kaliumtoestand waar te nemen. In de jaren 1995 en 1995 is het K-getal hoger dan in de volgende jaren, terwijl het K-getal in 2009 wat lager was dan de voorgaande jaren. Dit komt vooral naar voren bij het K-getal. Voor de K-gehalten valt op dat er tussen 1995 en 2001 geen dalende trend is. Dat betekent dat de daling het K-getal hier grotendeels veroorzaakt lijkt te zijn door de gehanteerde herleidingfactor, die grotendeels bepaald wordt door de gehalten aan organische stof en lutum. Bij de K-gehalten vanaf 2003 lijkt er wel een afname te zijn, maar een dergelijk verschil kan veroorzaakt zijn door jaarinvloeden.

Zowel de K-gehalten als de K-getallen zijn hoger dan bij rivierklei en veel hoger dan bij zand.

Bij het organisch stof gehalte valt wel een afname te zien in de gemiddelde waarden. Dit valt moeilijk te interpreteren: in de jaren 1995-1996 waren er enkele monsters met een zeer hoog gehalte organische stof (20% bij het 90% percentiel), waardoor het gemiddelde hoger kwam te liggen. Ook is onzeker in hoeverre de grondmonsters van voor 2001 overeenkomen met die vanaf 2001. Hier wordt de geringe representativiteit van kleine aantallen problematisch bij de interpretatie.

**Tabel 43** K-gehalte (mg K/kg grond); tot 2000 K-HCL, na 2000 K-PAE

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1995	240	23	12	10	12	38
1996	250	21,5	14	10	15	39
2000	220	21	9	6	16	30
2001	260	26	115	8	16	35
2003	104	104	91	36	57	154
2006	101	105	18	26	66	131
2009	87	82	41	39	46	123

**Tabel 44** K-getal

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1995	27	27	12	8	17	36
1996	27	22	14	12	16	43
2000	24	25	9	6	17	31
2001	25	25	115	6	18	32
2003	25	26	91	6	17	34
2006	24	25	18	5	18	29
2009	22	21	41	6	15	27

**Tabel 45** MgO gehalte (mg Mg/kg grond); tot 2000 Mg-NaCl, na 2000 Mg-PAE

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
2001	112	109	10	50	53	175
2003	94	100	87	34	48	131
2006	108	91	18	65	53	162
2009	107	90	41	98	43	151

**Tabel 46** Organische stof gehalte (%)

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1995	11,1	6,8	12	9,0	3,1	20,8
1996	6,4	5,8	14	3,0	3,4	10,3
2000	5,3	5,3	9	2,4	2,7	7,6
2001	4,7	4,4	115	2,2	2,3	7,3
2003	4,1	4,1	91	1,6	2,1	6,6
2006	4,4	4,6	18	1,7	2,4	6,1
2009	4,2	3,6	41	2,8	1,6	5,5

**Tabel 47** pH- meting

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1995	6,0	6,6	12	1,2	4,7	7,1
1996	6,6	7,0	14	0,8	5,2	7,3
2000	7,3	7,3	9	0,1	7,2	7,4
2001	7,3	7,4	115	0,4	7,2	7,5
2003	7,4	7,4	91	0,2	7,1	7,5
2006	7,1	7,1	18	0,4	7,0	7,5
2009	7,0	7,1	41	0,5	6,8	7,4

### 5.2.5 Conclusies

- De hoeveelheid kalium die toegediend kan worden met dierlijke mest is de afgelopen 25 jaar sterk is gedaald. Tot aan 2010 was deze hoeveelheid echter voldoende om aan het bemestingsadvies vanaf de kaliumtoestand laag te voldoen.
- Met de voorziene daling van de dierlijke mestgift zal de kaliumgift uit dierlijke mest echter ontoereikend worden om de kaliumtoestand op peil te houden en het gewas te voorzien van voldoende kalium.
- Er lijkt een licht dalende trend in het verloop van de kaliumtoestand in voor maïs relevante regio's waar te nemen. Het K-getal in 2009 (meest recente meetjaar) is daarbij lager dan in voorgaande jaren, terwijl in 1993 en 1995 (begin meetreeks) het K-getal in de meeste gronden iets hoger ligt. Dergelijke afwijkingen zouden kunnen duiden op een dalende trend maar evengoed veroorzaakt kunnen zijn door jaarinvloeden.
- De gemiddelde kaliumtoestand is ruim voldoende (noordelijk zand) tot vrij hoog (zuidelijk zand, rivierklei, Flevopolder)
- De kaliumtoestand bij het 10% percentiel is in noordelijk zand laag. In de andere regio's valt de kaliumtoestand in de klasse voldoende (zuidelijk zand en rivierklei) of zelfs ruim voldoende (Flevopolder).
- Verschil in kaliumtoestand tussen zuidelijk en noordelijk zand werd vooral veroorzaakt door verschil in gehalte organische stof. De K-gehalten liepen weinig uiteen.
- Er lijkt geen aanleiding voor de veronderstelling dat teeltsysteem de kaliumtoestand beïnvloedt. Bij het zuidelijk zand waren de meetgegevens voor continumaisteelt en maïs in vruchtwisseling voor 2009 gelijk.
- Er is geen duidelijk verloop waarneembaar in de overige bodemparameters die van invloed zijn op de K-beschikbaarheid of het K-getal.

## 6 Drogestofopbrengsten en kaligehalten

### 6.1 Ontwikkeling van de drogestofopbrengst van snijmaïs in de tijd

#### 6.1.1 Land- en Tuinbouwcijfers

Ieder jaar wordt in Land- en Tuinbouwcijfers van het CBS de opbrengst van akkerbouwgewassen gepubliceerd. De data zijn tot 1997 afkomstig uit de oogstraming, er is achteraf geen correctie toegepast van de werkelijke hoeveelheid geoogste snijmaïs. Vanaf 1997 zijn ze samengesteld op basis van een steekproef. Het is niet vermeld of de data uit de steekproef worden bepaald op basis van werkelijk gemeten opbrengsten of op basis van schattingen van de teler. In tabel 48 staan de gemiddelde opbrengsten vermeld.

**Tabel 48** Gemiddelde opbrengst van snijmaïs uit Land- en Tuinbouwcijfers

Jaar	Gemiddelde opbrengst
1985	11,5
1990	11,5
1994	11,9
1995	11,5
1996	12,1
1997	15,0
1998	13,2
1999	14,8
2000	13,9
2001	14,3
2002	14,2
2003	14,4
2004	14,0
2005	14,4
2006	14,4
2007	15,0
2008	16,1
2009	16,2

Met ingang van 1997 op basis van steekproef rundvee/graslandgebruik.

#### 6.1.2 Trend op basis van BIN-bedrijven

Het LEI (Landbouw Economisch Instituut) houdt jaarlijks van een groot aantal bedrijven gegevens bij van het BedrijfsInformatie Netwerk, de zgn. BIN-bedrijven.

In 2008 is een studie verricht naar de grasproductie op de BIN-bedrijven, om na te gaan hoe hoog de grasproductie en de stikstofbenutting in de Nederlandse melkveehouderij werkelijk is (Aarts et al, 2008). Deze studie is uitgevoerd voor 1998-2006.

De productie van snijmaïs die in deze studie is gebruikt, is geschat door veehouder of bedrijfsadviseur. Tabel 49 geeft een overzicht van de gemiddelde schattingen.

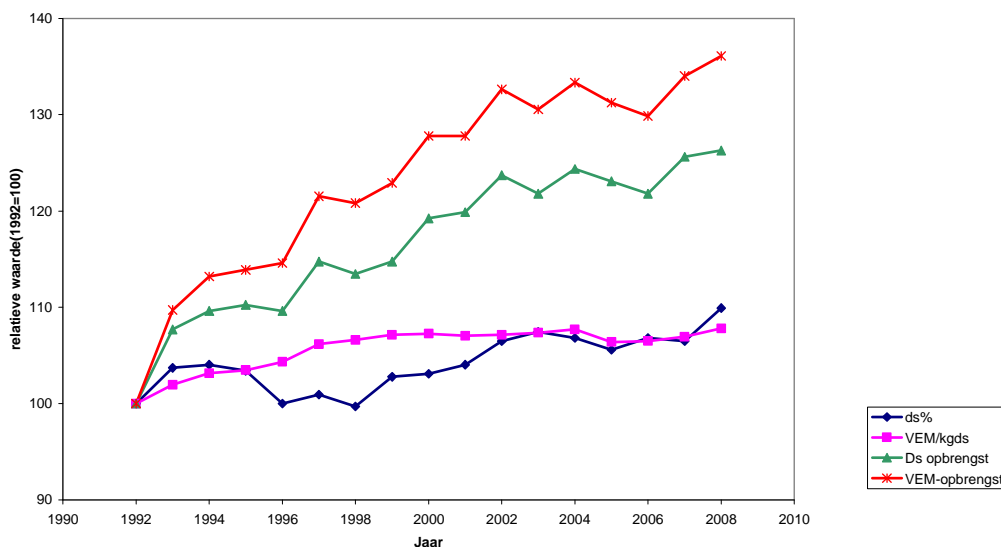
**Tabel 49** Opbrengst van maïsland, gemiddeld voor de BIN-bedrijven en uit Land en Tuinbouwcijfers.

Jaar	Gemiddelde geschatte opbrengst BIN-bedrijven
1998	12,7
1999	14,7
2000	
2001	14,7
2002	14,6
2003	15,1
2004	15,2
2005	15,7
2006	15,5

Bron: Aarts et al, 2006

### 6.1.3 Uitkomsten van rassenproeven

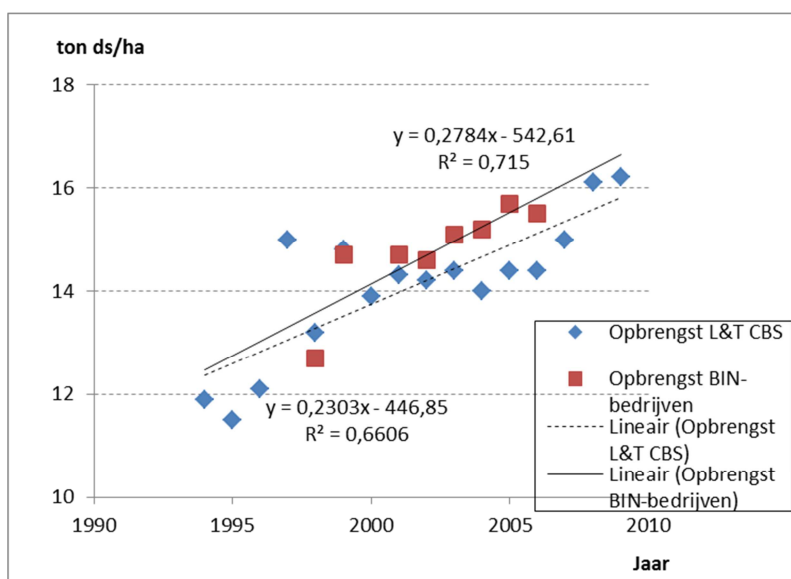
In het Handboek Snijmaïs ([www.handboeksnijmais.nl](http://www.handboeksnijmais.nl)) zijn gegevens opgenomen over de uitkomsten van de rassenproeven vanaf 1992 (figuur 9). Vanaf 1992 is de drogestofopbrengst per ha voortdurend toegenomen. Omdat dit de uitkomsten van rassenproeven zijn, mag er vanuit gegaan worden dat deze gegevens zijn verkregen bij optimale zaai, bemesting en teelt. Dit kunnen we beschouwen als het optimaal haalbare. In de praktijk zullen incidenteel wel hogere opbrengsten voorkomen maar gemiddeld zullen de opbrengsten vermoedelijk lager zijn. In de figuur zijn echter relatieve getallen opgenomen. Verwacht wordt dat deze stijging in de praktijkopbrengsten teruggevonden kan worden.



**Figuur 9** Relatieve ontwikkeling van de vroegheid (ds%), droge stofopbrengst, energiewaarde (VEM/kgds) en VEM-opbrengst. Per jaar is de gemiddelde waarde van de A- en N-standaardrassen\* als relatieve waarde opgenomen, waarbij 1992 op 100 is gesteld.  
\*A: rassen die voor algemene teelt worden aanbevolen, N: nieuw aanbevolen rassen

### 6.1.4 Vergelijking van de bronnen.

In figuur 10 staat de opbrengst van maïs op BIN-bedrijven uit de Land en Tuinbouwcijfers uitgezet tegen de tijd.



**Figuur 10** Snijmaïsoopbrengst uit Land- en Tuinbouwcijfers (CBS) en BIN-bedrijven

De trend in droge stofopbrengsten uit Land- en tuinbouwcijfers en van BIN-bedrijven van snijmaïs zijn redelijk vergelijkbaar. De trend van de afgelopen 10 jaar is ongeveer 2,5 ton ds per ha stijging.

### 6.1.5 Conclusie

De trend van de drogestofopbrengst van snijmaïs was een stijging van ongeveer 0,25 ton ds per ha per jaar in de laatste 15 jaar. Als gevolg van het steeds strenger wordende mestbeleid zal naar verwachting deze stijgende trend in de komende jaren gaan afvlakken.

## 6.2 Ontwikkeling K-gehalten in snijmaïs

### 6.2.1 Onttrekking

De onttrekking van kalium door snijmaïs loopt uiteen van 154 kg K per ha bij een opbrengstniveau van 12,5 ton ds per ha tot 214 kg K per ha bij een opbrengstniveau van 17,5 ton ds per ha (Burema en Bussink 2004). Op rundveebedrijven wordt de kaliumbehoefte voor een groot deel ingevuld met dierlijke mest. In het verleden werd met 50m<sup>3</sup> runderdrijfmest ongeveer 300 kg K<sub>2</sub>O toegediend, waarmee de onttrekking ruimschoots werd gecompenseerd en werd voldaan aan het bemestingsadvies. Vanuit het mestbeleid is de toegestane hoeveelheid dierlijke mest beperkt, en daarmee de kaliumvoorziening. De vraag is of dit heeft geleid tot een dalend kaliumgehalte in het gewas.

### 6.2.2 Verloop K- en Mg-gehalten in snijmaïskuilen

De ontwikkeling van het kaliumgehalte in snijmaïskuilen is onderzocht met de database van BLGG AgroXpertus. BLGG AgroXpertus analyseert jaarlijks een groot aantal maïskuilmonsters uit het hele land, waardoor een globaal overzicht wordt verkregen. Bekend is dat kalium en magnesium elkaars opname kunnen beïnvloeden. Daarom is eveneens gekeken naar de magnesiumgehalten. In tabel 50 en 51 zijn de gehalten aan kalium en magnesium in de maïskuilmonsters vanaf 1997 met 3-jaarlijkse intervallen gegeven. Voor zowel kalium als magnesium geldt dat de gemiddelde waarde alsook de 10% en 90% percentiel waarden zijn constant in de tijd.

**Tabel 50** Kalium in de maïskuil (g/kg)

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1997	13	13	4634	1,85	10	15
2000	11	11	2165	1,64	10	13
2003	12	12	5973	2,23	9	15
2006	12	12	4960	2,10	10	14
2009	11	11	7433	1,64	9	13
2010	11	11	7876	1,57	9	13

**Tabel 51** Magnesium in de maïskuil (g/kg)

	Gemiddeld	Mediaan	Aantal	St. dev.	10% percentiel	90% percentiel
1997	1,2	1,2	4634	0,26	1,0	1,4
2000	1,2	1,1	2165	0,21	1,0	1,4
2003	1,3	1,3	5973	0,23	1,0	1,6
2006	1,4	1,4	4922	0,27	1,1	1,8
2009	1,3	1,3	7429	0,21	1,1	1,6
2010	1,3	1,3	7876	0,22	1,1	1,6

### 6.2.3 Conclusies

De verlaagde mestgiften van de afgelopen jaren hebben niet geleid tot een dalend kaliumgehalte in snijmaïs of een verschuiving in de opname tussen kalium en magnesium. De meeste gronden in Nederland hebben door de hoge mestgiften in het verleden een ruim voldoende kaliumtoestand. Bij dalende mestgiften valt een daling van de kaliumvoorziening in de toekomst niet uit te sluiten.

## 6.3 Kaliumgehalte en drogestofopbrengst

In 1999/2000 is een studie uitgevoerd naar de variatie in stikstof-en fosfaatgehalten en –afvoer in het oogstproduct van diverse gewassen (Van der Schoot & Van Dijk, 2001). Hierbij is gebruik gemaakt van proefgegevens van PAGV/PAV waarbij de NP-gehalten zijn vastgesteld. Het betreft data van het bedrijfssystemenonderzoek en detailproeven (bemestingsproeven en niet-bemestingsproeven waarin wel NP-gehalten zijn bepaald). In een deel van deze proeven is tevens het kaliumgehalte bepaald. Voor het gewas snijmaïs ging het om 621 waarnemingen waarbij in 180 gevallen ook het kaliumgehalte is bepaald. Evenals in de eerder genoemde studie is gewerkt met een subset van objecten (voor snijmaïs 621) waarin de N-bemesting zich op een niveau van tussen min en plus 25% van het N-bemestingsadvies bevond. Voor kalium is meestal volgens advies bemest.

### 6.3.1 Spreiding

In tabel 52 zijn een aantal kengetallen weergegeven van de dataset. De drogestofopbrengst bedroeg gemiddeld 15,6 ton per ha en liep uiteen van 10,6 naar 21,2 ton per ha. Dit lijkt een voldoende grote spreiding om eventuele effecten ervan op het kaliumgehalte te kunnen vaststellen. Het kaliumgehalte en de kaliumafvoer bedroegen gemiddeld respectievelijk 1,30 kg kalium per ton (0,73-1,93) en 203 kg kalium per ha (102-300).

**Tabel 52** Gemiddelde, min/max-waarde, standaarddeviatie en variatiecoëfficiënt van drogestofopbrengst, kaliumgehalte en kaliumafvoer van snijmaïs (180 waarnemingen).

	Drogestofopbrengst	Kaliumgehalte	Kaliumafvoer
Gemiddelde	15592	1.30	203
Min <sup>1</sup>	10620	0.73	102
Max <sup>1</sup>	21200	1.93	300
Standaarddeviatie	2146	0.21	44
Variatiecoëfficiënt	0.14	0.16	0.22

<sup>1</sup> Min/max-waarden van respectievelijk drogestofopbrengst, kaliumgehalte en kaliumafvoer kunnen zijn gebaseerd op verschillende datapunten

### 6.3.2 Relatie drogestofopbrengst en kaliumgehalte

In figuur 11 is de relatie tussen drogestofopbrengst en het kaliumgehalte weergegeven voor zowel een lineair als kromlijngig verband (tweedegraads polynoom en exponentieel). Bij het lineaire verband was geen sprake van een significant verband (tabel 28). Bij de beide kromlijngige verbanden bleek dat wel het geval te zijn. Het percentage verklaarde variantie was echter bij beide modellen laag (13 en 4% voor respectievelijk polynoom en exponentieel model).

Als de kaliumbemesting in het regressiemodel werd meegenomen leidde dat niet tot een verbetering. De kaliumtoestand van de bodem was niet in de database ingevoerd zodat deze niet in het model kon worden meegenomen.

### 6.3.3 Relatie drogestofopbrengst en kaliumopname

De kaliumafvoer werd wel significant beïnvloed door de drogestofopbrengst (figuur 12). Wanneer uitgegaan wordt van een lineair verband bedroeg het percentage verklaarde variantie 41% (tabel 53). Per ton drogestof nam de kaliumafvoer met ruim 13 kg kalium toe. Het percentage verklaarde variantie steeg wanneer werd uitgegaan van een kromlijngig verband. Bij een tweedegraads polynoom

en een exponentieel verband bedroeg het percentage verklaarde variantie respectievelijk 49 en 47%. De grootte van het effect van drogestofopbrengst op de kaliumopname (helling van de regressielijn) nam af bij een toenemend opbrengst. Bij de tweedegraads polynoom is er bij hoge opbrengstniveau sprake van een lichte afname van de kaliafvoer.

De spreiding in opbrengst en kaligehalte leidde voor deze dataset tot een variatie in kaliumafvoer die uiteenliep van 100 tot 300 kg kalium per ha.

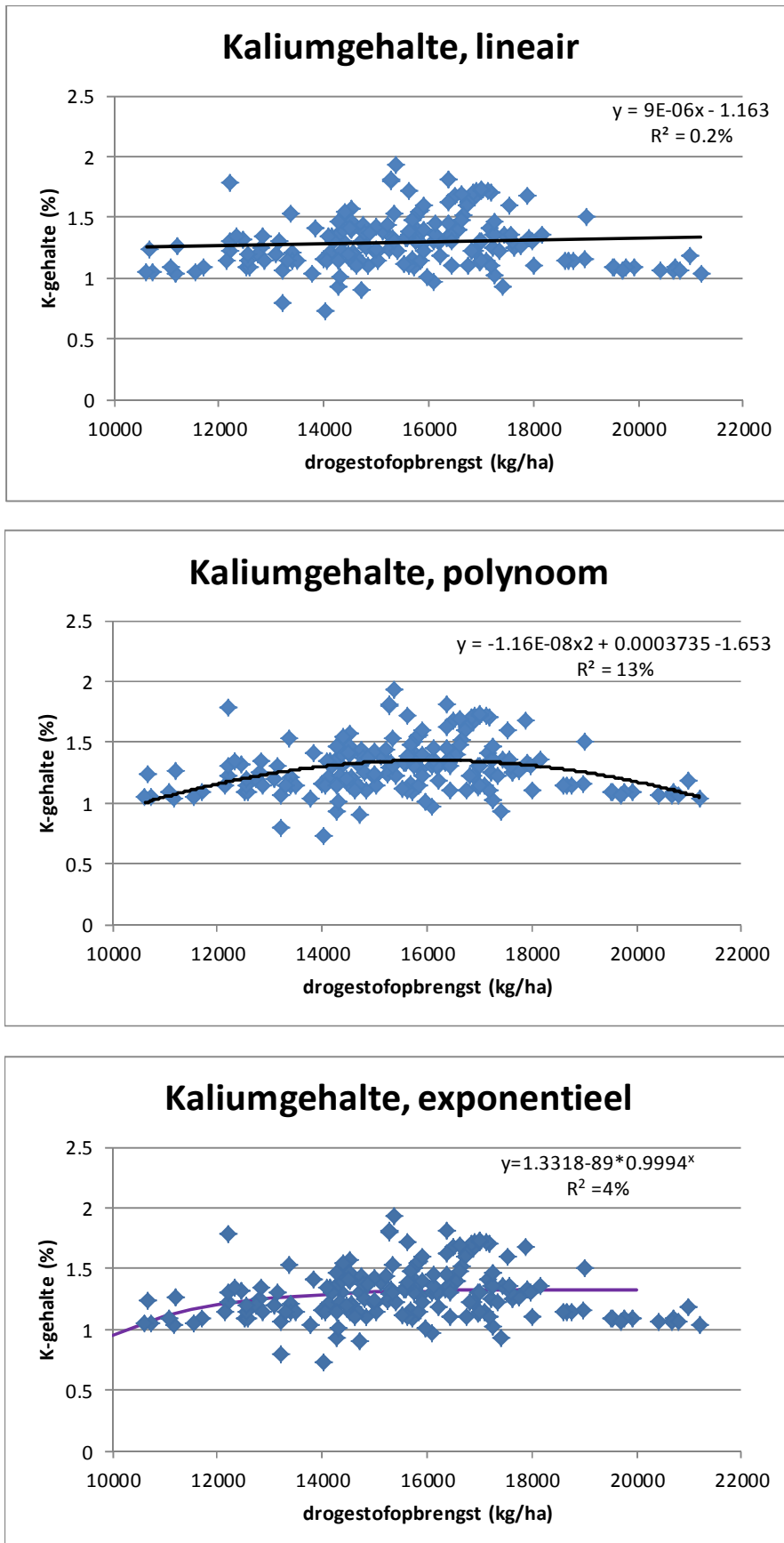
**Tabel 53** F-probability en percentage verklaarde variantie van de relatie tussen drogestofopbrengst enerzijds en kaliumgehalte en –opname anderzijds

Responsvariabele	Model	F-probability	Percentage verklaarde variantie (%)
Kaliumgehalte	Lineair	0.151	< 1%
	Tweedegraads polynoom	<0.001	13
	Exponentieel model	0.008	4
Kaliumopname	Lineair	<0.001	41
	Tweedegraads polynoom	<0.001	49
	Exponentieel model	<0.001	47

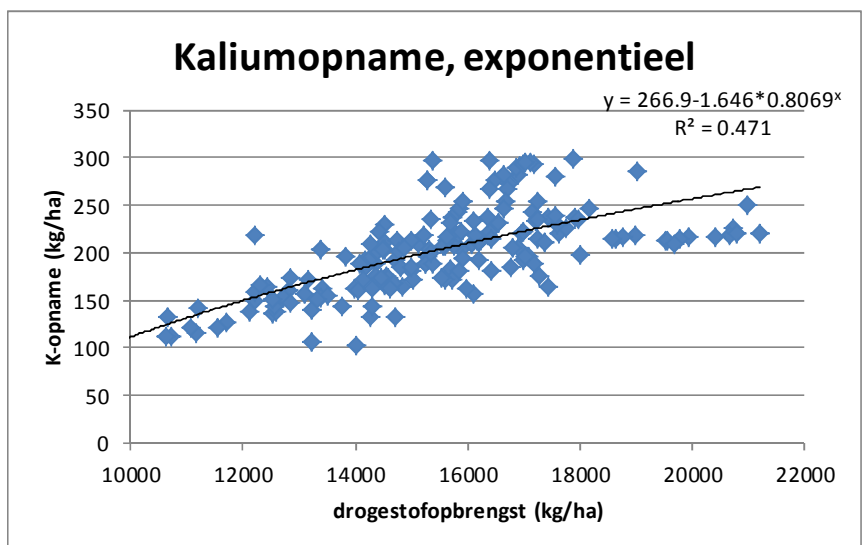
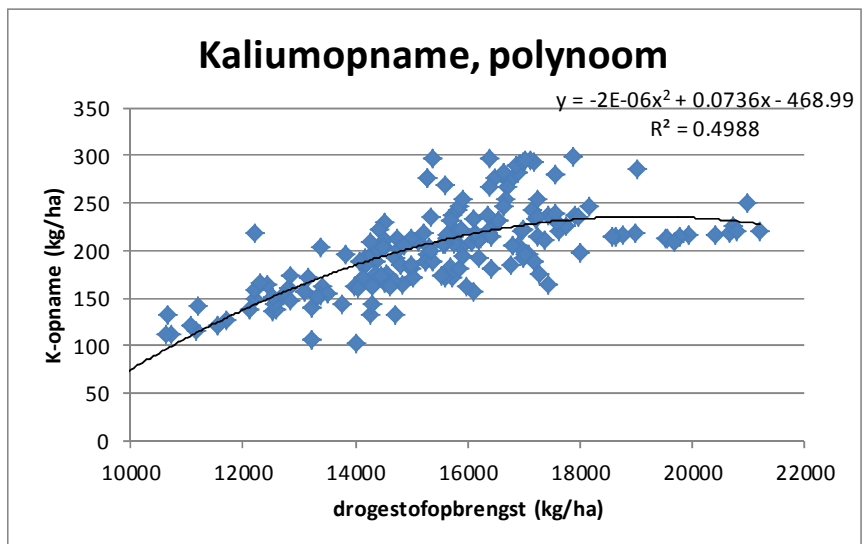
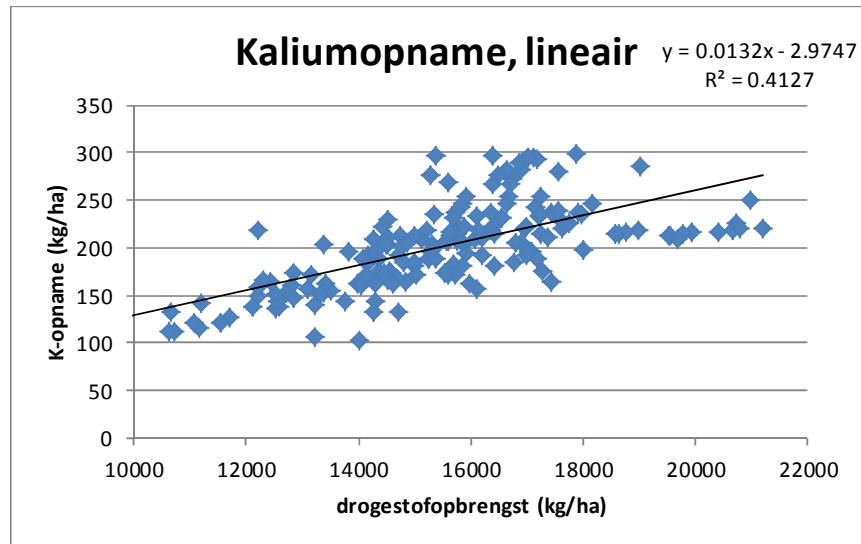
#### 6.3.4 Conclusies

- Analyse van een dataset van maïsproeven liet zien dat er sprake was van een zwak verband tussen drogestofopbrengst en het kaliumgehalte in de droge stof. Dit was alleen het geval bij een kromlijngig verband.
- Er was sprake van een duidelijk positief verband tussen drogestofopbrengst en kaliumafvoer waarbij de grootte van het effect bij hogere opbrengsten afnam.





**Figuur 11** Verband tussen drogestofopbrengst en kaliumgehalte van snijmaïs (180 waarnemingen) bij zowel lineair, tweedegraads en exponentieel verband

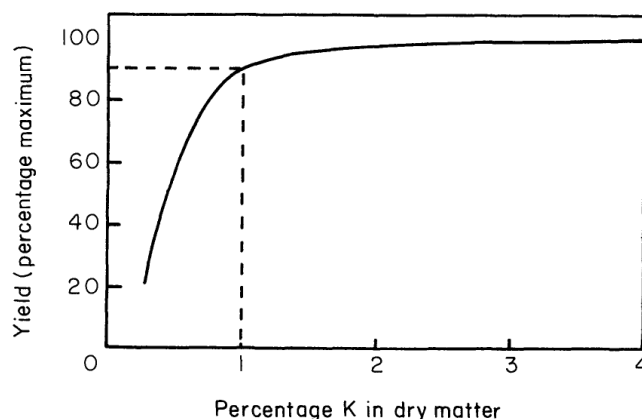


**Figuur 12** Verband tussen drogestofopbrengst en kaliumopname van snijmaïs (180 waarnemingen) bij zowel lineair, tweedegraads en exponentieel verband

## 6.4 Kritisch kaliumgehalte maïs

### 6.4.1 Informatie uit de literatuur

Leigh & Jones (1984) hanteerden als kritisch gehalte, het gehalte waarbij 90% van de maximumopbrengst wordt bereikt. Bij een hoger gehalte neemt de productie langzaam toe, bij een lager gehalte neemt deze snel af (figuur 13). Zij vonden op basis van literatuurstudie dat het kritisch K-gehalte voor de meeste gewassen in de range 0,5-2,0% van de droge stof ligt (tabel 54). Verder neemt het kritisch K-gehalte af als het aanbod van andere kationen, zoals magnesium en natrium wordt verhoogd.



**Figuur 13** Relatie tussen opbrengst en percentage kalium (K) in de droge stof. Het kritisch K-gehalte (stippellijn) ligt bij 90% van de maximum opbrengst (Leigh & Jones, 1984)

**Tabel 54** Kritisch K-gehalte voor de ontwikkeling van verschillende planten en het maximum K-gehalte in de droge stof bij voldoende kalium (Leigh & Jones, 1984)

Species	Critical K concentration (% in dry matter)	Maximum % K in dry matter	Reference
<i>Lycopersicon esculentum</i>	1.0	4.1	Besford (1975)
<i>Helianthus annuus</i>	2.2	10.0	Spear <i>et al.</i> (1978)
<i>Zea mays</i>	1.3	2.0	Tyner (1946)
<i>Paspalum notatum</i>	0.5-0.9	3.0-3.4	Gammon & Blue (1952)
<i>Cynodon dactylon</i>	0.8-1.0	3.0-3.1	Gammon & Blue (1952)
<i>Trifolium repens</i>	2.0	5.0	Gammon & Blue (1952)
<i>Lolium multiflorum</i>	0.8 (high Na) 3.5 (low Na)	7.2	Hylton <i>et al.</i> (1967)
<i>Digitaria decumbens</i>	1.1 (with Na) 1.9 (without Na)	3.2	Gammon (1953)
<i>Medicago sativa</i>	1.9 (high Mg) 2.8 (low Mg)	6.0	Smith <i>et al.</i> (1982)

Tyner (1946) definieerde het kritische K-gehalte als de optimale concentratie waarboven de gewasrespons op verdere verhoging twijfelachtig is of snel afvlakt bij verdere verhoging van de gift. Hij vond voor maïs een kritisch gehalte van 1,3% in de droge stof, gemeten in het zesde blad in het bloeistadium van het gewas. Verder vond hij dat bij stijging van de opbrengst zowel de N/P- als de N/K-verhouding afnemen (een lager N-gehalte in verhouding tot het P- en K-gehalte).

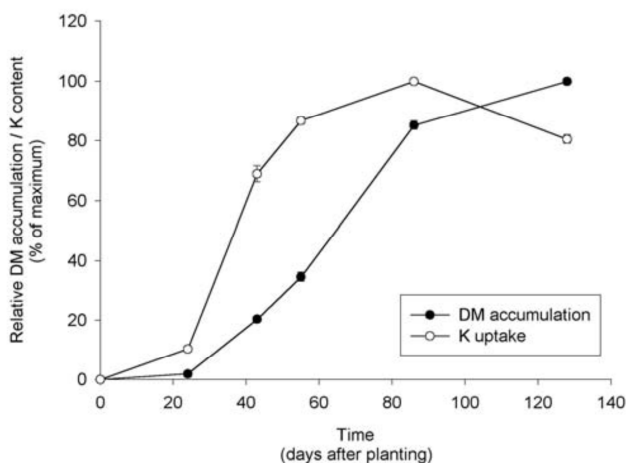
Roy *et al.* (1993) noemen op basis van onderzoek in potten een kritisch K-gehalte voor maïs van 1,15%. Ze geven echter niet aan hoe ze het kritisch K-gehalte hebben gedefinieerd, noch in welk groeistadium en plantendeel het is gemeten.

In veldonderzoek in de vochtige tropen vond Sobulu (1980) dat een K-gehalte van 2,0%, gemeten in het aarblad, voldoende is voor een hoge maïsopbrengst (met een NK-verhouding van 1,60) en dat bij een waarde onder de 1,8% gebrek optreedt.

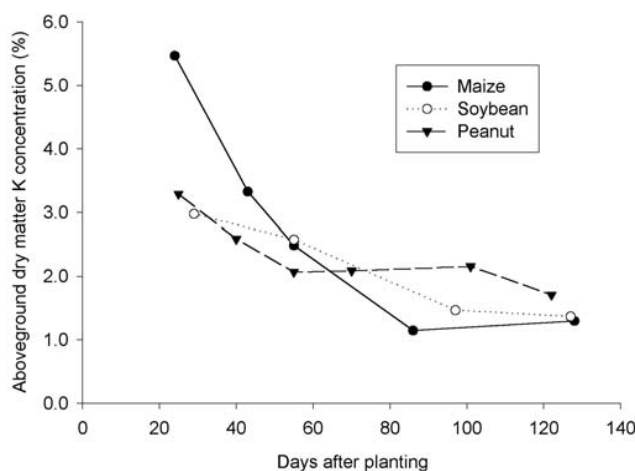
Page & Talibudeen (1982) deden kali-bemestingsonderzoek via een pottenproef met kiemplantjes van verschillende gewassen, waaronder maïs. Na vier groeiweken vonden ze bij de optimale kalivoorziening voor de gewasgroei een K-gehalte in de stengels en bladeren van de maïsplanten van 1,2%.

Bergmann (1993) geeft ranges voor het optimale K-gehalten in de bovenste plantedelen van een groot aantal gewassen. Voor maïs wordt een range gegeven van 20-35 mg K per kg droge stof. Het stadium dat hierbij wordt aangegeven is omstreeks de bloei.

Maïs neemt kali al in een vroeg stadium en snel op (White, 2003). Over het algemeen vindt 90% van de totale K-opname plaats tussen vier en zeven weken na opkomsten, voordat 50% van de totale drogestofhoeveelheid is geproduceerd (Welch and Flannery 1985, Corazzina et. al. 1991, in: White, 2003). Kort voor oogstrijpheid kan de kali-inhoud van het gewas weer dalen, wat vaak het gevolg is van uitspoeling van kalium uit de bladeren en stengel. Het K-opnamepatroon en het patroon van de droge-stofproductie resulteren erin dat het K-gehalte in de plant gedurende het groeiseizoen daalt (figuren 14 en 15).



**Figuur 14** Ophoping van bovengrondse droge stof en kalium (K) van maïs bij een korrelopbrengst van 8 ton/ha (White, 2003)



**Figuur 15** Concentratie van kalium (K) in bovengrondse droge stof gedurende het groeiseizoen van maïs, pinda en sojabonen (White, 2003)

#### 6.4.2 Kritische gehalten op basis van droge stof of verse stof

De schijnbare variatie in kritische K gehalten op droge stof basis wordt deels veroorzaakt doordat K in hoge gehalten aanwezig is in celvocht en nauwelijks wordt ingebouwd in organische verbindingen. Milford & Johnston (2007) stellen in navolging van Leigh & Jones (1983) dat de K-concentratie in het celsap van planten gedurende het groeiseizoen tot aan afrijpen constant is. Deze constante K-concentratie is belangrijk voor het in stand houden van de turgor, en wordt gereguleerd via uitwisseling met K in de vacuoles. De variatie in K-concentratie, uitgedrukt op drogestofbasis, gedurende het groeiseizoen en tussen verschillende groeicondities kan daarmee grotendeels verklaard worden door een verschillende ratio drooggewicht / versgewicht. Het aandeel droge stof neemt toe gedurende het groeiseizoen. Ook andere factoren kunnen van invloed zijn op aandeel droge stof, zoals het stikstofaanbod. Bij een voldoende stikstofaanbod is er in de bladeren een hoger celaanmaak en -strekking, waardoor de hoeveelheid water in het gewas stijgt, en het aandeel droge stof relatief kleiner wordt. Om de turgor te handhaven moet er eveneens meer kalium opgenomen worden. Dit is eveneens een verklaring voor het positieve interactie-effect tussen N en K bemesting.

#### 6.4.3 Conclusies

- In de internationale wetenschappelijk literatuur is niet veel informatie gevonden over het kritisch kaliumgehalte in maïs voor een goede gewasgroei. In de publicaties die zijn gevonden, is het kritisch K-gehalte niet op uniforme wijze vastgesteld: er was verschil voor plantenonderdeel en groeistadium waarin het is gemeten. De verschillende, geciteerde bronnen geven een kritisch kaliumgehalte aan in de range van 1,15% tot 3,5%.
- Aangezien het K-gehalte in het gewas afhankelijk is van de fase van de gewasgroei, zou het wenselijk zijn een kritische K-gehaltecurve op te stellen, uitgezet tegen de tijd of de vordering van de droge-stofproductie. Greenwood et al. (1990) stelden een wiskundige relatie op die het verband aangeeft tussen kritisch N-gehalte (het gehalte dat net toereikend is voor een optimale groei) van C3- en C4-gewassen en de droge-stofproductie (excl. wortels). Het kritisch N-gehalte neemt af bij stijging van de droge-stofproductie. Voor het kritisch K-gehalte is een dergelijke wiskundige relatie niet in de literatuur gevonden.
- Het K-gehalte is op vers basis minder variabel dan op ds-basis.

## 7 Samenvattende conclusies

In de vorige hoofdstukken zijn per hoofdstuk conclusies weergegeven. In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de belangrijkste conclusies.

### Betekenis van kalium voor (snij)maïs

- Kalium speelt een belangrijke rol bij de groei via de fotosynthese en eiwitsynthese.
- De  $K^+$ -concentratie in planten wordt strikt geregeld. Het kritische K-gehalte (minimaal gehalte dat nodig is voor optimale groei) wordt lager bij het ouder worden van de plant.
- Het lijkt erop dat voldoende K belangrijk is voor een goede ontwikkeling van het wortelstelsel.
- Kalium opname verdringt magnesium opname van een plant, daarentegen beïnvloedt magnesium opname kaliumopname van een plant niet.

### Analyse methoden voor K-levering bodem

- Voor een optimale opbrengst is het van belang de K-beschikbaarheid goed te kunnen schatten.
- In het huidige bemestingsadvies wordt het K-getal gebruikt als maat voor de beschikbaarheid. Het K-getal wordt via een herleidingfactor op basis van pH en organische stofgehalte berekend vanuit het K-gehalte (K-HCl). Er is geen onderbouwing of verklaring voor het veronderstelde effect van pH en organische stof op de K-beschikbaarheid bij verder gelijke K-gehalten en er zijn onvoldoende aanknopingspunten voor verbetering. Het K-getal is dientengevolge slecht gecorreleerd met de gewasrespons.
- Door de koppeling van het bemestingsadvies aan het K-getal is het niet mogelijk een causaal verband vast te stellen tussen het beschikbare K in de bodem en ander bodemfactoren die van invloed zijn zoals pH, omvang en sterkte van het adsorptiecomplex en het effect van andere nutriënten als Ca, Mg Na en  $NH_4^+$ . Dit wordt nog bemoeilijkt doordat momenteel de verschillende nutriënten met verschillende extractiemiddelen worden geanalyseerd.
- Er zijn nu analysemethoden waarmee op basis van extractie met een zwak zout, zoals 0,01 M  $CaCl_2$ , aangevuld met meting van de K-bezetting aan de CEC of lutumgehalte de K-beschikbaarheid beter ingeschat kan worden. Hiermee wordt het wortelmilieu het best benaderd.
- Voor het vaststellen van de relaties tussen beschikbare K in de bodem en pH en beschikbaarheid van andere elementen zoals  $Mg^{2+}$  en  $Na^+$  heeft grondextractie in één extract de voorkeur. Multinutriënt extractie in combinatie met bodemchemische kennis maakt het bovendien mogelijk om elementen met elkaar te relateren. Zo kan beter gestuurd worden op een gewenst K-, Mg- en Na-gehalte.

### Achtergronden huidig kaliadvies snijmaïs

- In het huidige kali-advies wordt onderscheid gemaakt tussen een bodem- en een gewasgericht advies. Aan beide moet worden voldaan. Voor continueelt maïs zijn beide adviezen geïntegreerd tot één advies.
- Het bodemgerichte advies is erop gericht een bepaalde kalitoestand te handhaven en hangt vooral af van de kaliafvoer met geoogst product en daarmee van het opbrengstniveau van de maïs.
- Het gewasgerichte advies is vooral gebaseerd op onderzoeksresultaten van korrelmaïs in de jaren veertig en vijftig. Daarna heeft voor maïs geen nieuw onderzoek meer plaatsgevonden.

### Effecten van K-bemesting in recente veldproeven

- Zowel Nederlands als buitenlands onderzoek naar kalibemesting bij maïs laat zien dat significante opbrengsteffecten (10-20%) vooral worden waargenomen op gronden met een lage kalitoestand.
- Er is geen recent West-Europees onderzoek bekend waarbij de efficiëntie van kalium toegediend als rijenbemesting is onderzocht. Recent onderzoek is vooral Amerikaans onderzoek, veelal met korrelmaïs en bij teeltsystemen met beperkte grondbewerking. Globaal varieerden de gevonden effecten van geen effect tot een betere werking met een factor 3. De resultaten zijn echter onvoldoende eenduidig om een advies voor rijenbemesting op te baseren.

### Bijdrage K uit zode en groenbemester

- Vanuit een ondergewerkt gewas kan een aanzienlijke hoeveelheid  $K_2O$  beschikbaar komen voor een volgend gewas. De hoeveelheid verschilt echter per voorgewas en hangt af van de stand van het gewas. Door uiteenlopende zaaidata, bodemvruchtbaarheid van het perceel en verschillen in temperatuur en vocht tussen de jaren kan de opbrengst sterk verschillen. Een overzicht van de

hoeveelheid  $K_2O$  die vrijkomt na het onderwerken van de verschillende voorgewassen is weergegeven in onderstaande tabel 55. Aanvullend onderzoek is niet nodig.

**Tabel 55** Hoeveelheid  $K_2O$  die beschikbaar komt na het onderwerken van een voorgewas in het voorjaar

	Bovengronds	Wortel	Totaal*
1. Gras niet geoogst	85	40	130
2. Gras na oogst 1ste snede	55	40	95
3. Italiaans raaigras vanggewas			
slechte stand	20	0	25
redelijke stand	65	5	70
uitbundige stand	110	10	120
4. Winterrogge vanggewas			
slechte stand	20	0	20
redelijke stand	50	5	50
uitbundige stand	80	5	85

\* Alle hoeveelheden zijn afgerond op 5-tallen. Door afronding kan dit bij totaal een afwijking geven ten opzichte van de som van bovengronds en wortel.

#### Ontwikkeling van K-toestand en relevante bodemvruchtbaarheidsparameters

- Er lijkt een licht dalende trend in het verloop van de kaliumtoestand in voor maïs relevante regio's waar te nemen. Het K-getal in 2009 (meest recente meetjaar) is daarbij lager dan in voorgaande jaren, terwijl in 1993 en 1995 (begin meetreeks) het K-getal in de meeste gronden iets hoger ligt. Dergelijke afwijkingen zouden kunnen duiden op een dalende trend maar evengoed veroorzaakt kunnen zijn door jaarinvloeden.
- De gemiddelde kaliumtoestand is ruim voldoende (noordelijk zand) tot vrij hoog (zuidelijk zand, rivierklei, Flevopolder). Alleen in noordelijk zand was de kaliumtoestand bij het 10% percentiel laag. Verschil in kaliumtoestand tussen zuidelijk en noordelijk zand werd vooral veroorzaakt door verschil in gehalte organische stof. De K-gehalten liepen weinig uiteen.
- Er lijkt geen aanleiding voor de veronderstelling dat teeltsysteem de kaliumtoestand beïnvloedt
- Tot aan 2010 was toegestane hoeveelheid drijfmest voldoende om aan het bemestingsadvies vanaf de kaliumtoestand laag te voldoen. Met de voorziene daling van de dierlijke mestgift zal de kaliumgift uit dierlijke mest echter ontoereikend worden om de kaliumtoestand op peil te houden en het gewas te voorzien van voldoende kalium.
- Er is geen duidelijk verloop waarneembaar in de overige bodemparameters die van invloed zijn op de K-beschikbaarheid of het K-getal.

#### Drogestofopbrengst en K-gehalte

- De trend van de drogestofopbrengst van snijmaïs was een stijging van ongeveer 0.25 ton ds per ha per jaar in de laatste 15 jaar. Naar verwachting zal deze stijgende trend in de komende jaren gaan afvlakken.
- De verlaagde mestgiften en de stijgende K-afvoer als gevolg van de hogere opbrengsten van de afgelopen jaren hebben nog niet geleid tot een dalend kaliumgehalte in snijmaïs of tot een verschuiving in de opname tussen kalium en magnesium.
- Er was een zwak kromlijng verband tussen drogestofopbrengst en het kaliumgehalte in de droge stof. Als gevolg hiervan was er een duidelijk positief verband tussen drogestofopbrengst en kaliumafvoer waarbij de grootte van het effect bij hogere opbrengsten afnam.
- Er zijn geen uniforme kritische K-gehalten gevonden in maïs voor een goede gewasgroei. De gevonden gehalten varieerden van 1,15% tot 3,5%, waarbij er verschil was voor plantenonderdelen en groeistadium waarin het was gemeten.
- Het K-gehalte in het gewas is afhankelijk is van de fase van de gewasgroei. Er is echter geen kritische K-gehalte curve bekend.

## 8 Aanbevelingen

Kali is een belangrijk element voor snijmaïs. Voor een optimale opbrengst en oogstbaarheid is een voldoende beschikbaarheid vanuit de bodem plus eventuele bemesting belangrijk. Uit economische oogpunt en uit oogpunt van verspilling is het daarentegen belangrijk dat er niet overmatig wordt bemest. Bijkomend aspect is dat het tot op heden goed mogelijk was om volgens advies te bemesten, maar verwacht mag worden dat kalitoestand zal gaan dalen onder invloed van de beperkte aanvoermogelijkheid van kali met dierlijke mest.

Dit maakt het belangrijk dat er een goede inschatting van de beschikbaarheid van kalium vanuit de bodem wordt gemaakt en dat er optimaal wordt bemest. Om een verbeterd kali-bemestingsadvies voor de teelt van snijmaïs op te kunnen stellen dat rekening houdt met de gewijzigde randvoorwaarden van het nieuwe mestbeleid en met verschillen in productiepotentieel tussen percelen komen vanuit deze studie de volgende aanbevelingen naar voren:

- Overschakelen naar een methode die K-beschikbaarheid (direct en vanuit nalevering) beter inschat onder verschillende omstandigheden dan het huidige K-getal. Hiervoor kan worden voortgeborduurd op de kennis vanuit het graslandonderzoek grasland (Bussink et al., 2011). Hieruit is gebleken dat voor het ontwikkelen van een nieuw K-advies voor zandgronden vooral de hoeveelheid K geëxtraheerd met 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  relevant is. Dit geeft de K-intensiteit weer. Omdat zandgronden een lage CEC hebben en weinig lutum bevatten is de K-buffering en nalevering op deze gronden gering. Op de klei- en zavelgronden gronden speelt daarnaast de levering uit K-uitwisselbaar en K-gebonden mee. Deze zorgen dat de K-onttrekking door de plant aangevuld wordt gedurende het groeiseizoen. Voor deze gronden is het dus nodig om de K-levering vast te stellen op basis van intensiteit en van capaciteit. Een combinatie van de 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  meting met een meting van K-bezetting of het lutumgehalte van de grond lijkt daarbij perspectiefvol. Omdat met één analysemethoden meerdere elementen worden geanalyseerd kan tevens beter rekening worden gehouden met het effect van andere nutriënten op de K-beschikbaarheid.
- Het K-getal is slecht gecorreleerd met de gewasrespons. Daarnaast is het huidige gewasgericht advies gedateerd en gebaseerd op korrelmaïs. Daarom is het wenselijk om onderzoek te doen naar gewasrespons op K-beschikbaarheid, bepaald volgens de nieuw voorgestelde analyse methode. Belangrijk hierbij is dat gronden met verschillende K-beschikbaarheid worden meegenomen.
- Door de stijging van de opbrengsten is kaliafvoer in de loop der tijd gestegen. Wanneer we er vanuit gaan dat de onttrekking minimaal moet worden gecompenseerd dan lijkt het dus zinvol om het huidige bodemgericht advies (dat deels is gebaseerd op de kaliafvoer) aan te passen aan de actuele opbrengst- en kaliafvoer-niveaus en om het advies opbrengstafhankelijk te maken. Gebleken is dat er een duidelijk verband is tussen drogestofopbrengst en kaliumopname. Het gevonden verband kan worden gebruikt om het bodemgericht advies te corrigeren voor verschillen in productiepotentieel en kaliumonttrekking tussen percelen
- Er zijn geen actuele en eenduidige resultaten bekend over de efficiëntie van kali, toegediend als rijenbemesting. Voor een maximale fosfaat benutting uit drijfmest binnen het nieuwe mestbeleid zal in de praktijk steeds meer drijfmest als rijenbemesting worden toegediend. Daarmee wordt dus ook steeds meer kali gegeven als rijenbemesting Het is daarom wenselijk om de efficiëntie van kali toegediend als rijenbemesting te onderzoeken.
- Uit de resultaten van deze deskstudie kan het bemestingsadvies worden gecorrigeerd voor de nalevering van kali uit een ondergeploegde zode en groenbemester. Hiervoor is geen aanvullend onderzoek nodig.
- Om in de praktijk vast te kunnen stellen of kali de beperkende factor is geweest voor de opbrengst is het wenselijk om onderzoek te doen naar het kritische K-gehalte.



### **Aanvullend onderzoek**

Om een K-bemestingsadvies te kunnen opstellen waarbij op adequate wijze rekening worden gehouden met de K-beschikbaarheid vanuit de bodemvoorraad is aanvullend onderzoek nodig in de vorm van veldproeven waarbij de volgende aspecten aan de orde komen:

- Betere schatting van de K-beschikbaarheid dan via huidige analyse methodiek.
- Relatie tussen K-beschikbaarheid en gewas opbrengst (drogestof en K).
- Het kritische K-gehalte.
- De relatie van K-beschikbaarheid met andere bodemparameters als pH, Ca, Mg, NH<sub>4</sub> en Na.
- De aanvulling met K uit bemesting gegeven een bepaalde K-beschikbaarheid.
- Onderscheid tussen grondsoorten.
- De benutting van kali wanneer het als rijenbemesting wordt toegediend.

## Referenties

- Aarts HFM, Daatselaar CHG, Holshof G, 2008. Bemesting, meststofbenutting en opbrengst van productiegrasland en snijmaïs op melkveebedrijven. Rapport 208, Plant Research International Wageningen, 50pp.
- Bakker, Y. (1972). Gewijzigd kali-advies voor bouwland op zand- en dalgrond. *Bedrijfsontwikkeling* 3 (1).
- Bergmann, W. (1993). Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 3<sup>rd</sup> edition, Jena, Gustav Fischer Verlag, p. 384-394.
- Bordoli, J.M. en A.P. Mallarino, 1998. Deep and shallow banding of phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. *AGRONOMY JOURNAL* 90 (1):27-33 1998
- Boskma K & Van der Heij D (1964) Kalibemesting van fabrieksaardappelen op venige grond. Verslagen Landbouwkundige onderzoekingen, No 644.
- Brauer D., 1994. Potassium inhibition of calcium and magnesium accumulation in roots of intact maize seedlings. *Journal of plant nutrition* 17 (5), 709-716. 1994.
- Buah, S, T.A. Polito en R.Killorn, 2000. No-tillage corn response to placement of fertilizer nitrogen, phosphorus, and potassium. *COMMUNICATIONS IN SOIL SCIENCE AND PLANT ANALYSIS* 31 (19-20):3121-3133
- Burema WP en Bussink DW (2004) Maïs, schiet de bemesting haar doel voorbij? Deel 1. NMI-rapport 968.03
- Bussink DW, Den Boer DJ & Van Middelkoop JC 2011 Herziening K-advies grasland; analyse database. NMI rapport 1283.N.10.
- CBS, 2010. Land- en Tuinbouwcijfers 2010. LEI / Centraal Bureau voor de Statistiek.
- Chen, J.S. en A.F. Mackenzie, 1993. Effects of rates and placements methods of urea aan potassium-chloride on soil-nitrogen and potassium and corn dry-matter yield. *Canadian Journal of Soil Science* 73 (2): 147-155
- Clevering, O.A., J.J. Neuvel & W. van den Berg (2001). Onderzoeksrapport kalibehoeft van vollegrondsgroentegewassen. *Praktijkonderzoek Plant en Omgeving*, projectrapport nr. 1125226, 42 pp.
- CVB (2010). Tabellenboek Veevoeding. CVB-reeks 33. Centraal Veevoeder Bureau, Lelystad.
- Den Boer DJ & Ros GH (2005) Bemestingsadvies voor snijmaïs na het oogsten van een snede gras of van een vanggewas. NMI-rapport 967.04.
- Den Boer DJ, Van Middelkoop JD & Van Schöll L 2010 Interactie tussen N en K op grasland. Herziening kali-advies gewenst? NMI rapport 1347.N.09
- Dilz K, Van den Bos J & Knot L (1977) De stikstofbemesting van grasgroenbemesters. Het effect van de stikstofbemesting op de productie van bovengrondse en ondergrondse delen bij raaigrassen voor groenbemesting. *Stikstof* 1977, nr 86, 45-52.
- Ehlert PAI, Burgers SLGE, Steenhuizen JW, Van Lune P & Loman H (1998). De betekenis van onderzoek met 0,01 M CaCl<sub>2</sub> als basis voor het kalibemestingsadvies van bouwland. AB-DLO, Wageningen, rapport 87.
- Greenwood, D.J., G. Lemaire, G. Gosse, P. Cruz, A. Draycott & J.J. Neeteson (1990). Decline in Percentage N of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> Crops with Increasing Plant Mass. *Annals of botany* 66, p. 425-436.
- Hakala K, Keskitalo M, Eriksson C & Pitkänen T (2009) Nutrient uptake and biomass accumulation for eleven different field crops. *Agricultural and food science* 18. pp. 366-387.
- Heckman, J.R. en E.J. Kamprath, 1992. Potassium accumulation and corn yield related to potassium fertilizer rate and placement. *Soil Science Society of America Journal* 56 (1): 141-148.
- Henkens PLCM (1984) De betrouwbaarheid van het Pw-getal en K-HCL. *De Buffer* 30, nr. 2, 38-43.
- Henkens, Ch.H. (1981). Het bemestingsadvies ten aanzien van fosfaat en kali en hogere opbrengsten. *Bedrijfsontwikkeling* 12, p. 285-291.
- Henkens, P.L.C.M. (1984). Bemestingsadvies voor het verkrijgen of behouden van de gewenste fosfaat- en kalitoestand van de bodem. *Bedrijfsontwikkeling* 15 (11).
- Izsaki, Z., 2006. Relationship between potassium supplied of the soil and the nutrient concentration of maize leaves. In: V Alps-Adrea Scientific Workshop. Opatija. Croatia 2006. 501-504.
- Kovacevic V, 2005. Improvement of maize growing on K-deficient soil by fertilization and choice of hybrid. *Savremena Poljoprivreda* (0350-1205) 54 (2005), 3-4; 257-262
- Kovacevic V., Rastija M., Rastija D., Josipovic M., and Seput M., 2006. Response of maize to fertilization with KCl on gleysol of Sava valley area. *Cereal Research Communication* Vol 34 Nos. 2-3 2006 p 1129-1135.

- Kovacevic V., Rastija M., Simic B., Andric L. and Kaucic D., 2008. Phosphorus and potassium fertilization impacts on yield and nutritional status of maize. In: VI Alps-Adria Scientific Workshop. Stara Lesna, Slovakia 2008. 43-46.
- Kovacevic V., Seput M., Andric L., Sostaric J., 2007. Response of maize and soybeans to fertilization with phosphorus and potassium on acid soil. In: VI Alps-Adria Scientific Workshop. Obervellach, Austria 2007. 645-648.
- Kovacevic V., Stojic B., Rastija M., Brkic I., Drezner G., 2009. Response of maize, wheat and barley to phosphorus and potassium fertilization. In: VIII Alps-Adria Scientific Workshop. Neum, Bosnia-Herzegovina, 2009. 129-132.
- Leigh, R.A. & R. G. Wyn Jones (1984). A Hypothesis Relating Critical Potassium Concentrations for Growth to the Distribution and Functions of this Ion in the Plant Cell. *New Phytologist*, Vol. 97, No. 1, pp. 1-13.
- Mengel K., Kirkby E.A., 2001. Principles of plant nutrition 5th edition. Kluwer Academic Publishers. 849 pp
- Milford G.F.J. en A.E. Johnston, 2007 Potassium and nitrogen interactions in crop production. *Proceedings 615 International Fertiliser Society*, York, UK. 24 pp.
- Page, M.B. & O. Talibdeen (1982). Critical potassium potentials for crops: 2. Potentials for wheat, maize, peas, beans and sugar beet in their early growth on a sandy loam. *Journal of Soil Science*, 1982, 33, p. 771-778.
- Parks, W.L. en W.M. Walker, 1969. Effect of soil potassium fertilizer and method of fertilizer placement upon corn yields. *Soil Science Society of America Proceedings* 33 (3): 427-429.
- Pettigrew W.T., 2001. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologica Plantarum* 133: 670-681. 2008.
- 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 aardappelen op kleigronden. *Kali* 61, 3-8.
- Prummel J (1981) Invloed van kalitoestand en kalibemesting. *De Buffer* 27, nr. 2, 145-147.
- Prummel, J. (1966). De fosfaat- en kalibemesting van maïs. *De Buffer* 12, p.46-49.
- Prummel, J. (1971). Kalibemesting en kalitoestand van kleibouwland. *IB-jaarverslag 1970*, p. 61-73.
- Prummel, J. (1980). Bemestingsbeleid voor fosfaat en kali op bouwland. 2. Kali. *Stikstof* nr. 99, p.478-483.
- Prummel, J., 1957. Fertilizer placement experiments. *Plant and Soil* VIII, no 3: 231-253
- Rehm, G.W., S.D. Evans, W.W. Nelson en G.W. Randall, 1988. Influence of placement of phosphorus and potassium on yield of corn and soybeans. *Journal of fertilizer issues* 5 (1): 6-13.
- Roy, H. K., Ajay Kumar & A.K. Sarkar (1993). Delineation and threshold values for potassium in soils of plateau region of Bihar. *Journal of Research (BAU)*, 5(1), p. 1-5. [Conference paper]
- Samal D, Kovar JL, Steingrobe B, Sadana, US, Bhadoria PS, Claassen N, 2010. Potassium uptake efficiency and dynamics in the rhizosphere of maize (*Zea mays* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.), and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) evaluated with a mechanistic model. *Plant and Soil* 2010, 332: 105-121.
- Schneider A, Castillon P, Pellerin S., 2003. Relationships between soil potassium supply characteristics based on soil solution concentration and buffer power and field responses of winter wheat and maize. *Plant and soil* 2003, 254: 269-278.
- Schröder J, Ten Holte L, Van Dijk W, De Groot WJM, De Boer WA, Jansen EJ 1992 Effecten van wintergewassen op de uitspoeling van stikstof bij de teelt van snijmaïs. *PAGV verslag* 148.
- Schröder JJ & de la Lande Cremer LCN 1989 Toedienen van drijfmest in maïs (vervolgonderzoek 1985-1987) *PAGV verslag* 85.
- Setiyono T.D., Walters D.T., Cassman K.G., Witt C., Dobermann A., 2010. Estimating maize nutrient uptake requirements. *Field Crops Research* 118 (2010) 158-168.
- Sobulu, R.A. (1980). Nitrogen and potassium balance in maize in the humid tropics. In: T. Roswall (ed.). *Nitrogen Cycling in West African Ecosystems*, p. 371-376.
- Subedi KD, Ma BL, 2009. Assessment of some major yield-limiting factors on maize production in a humid temperate environment. *Field Crops Research* 110 (2009) 21-26.
- Tyner, E.H. (1946). The relation of corn yields to leaf nitrogen, phosphorus and potassium content. *Proceedings. Soil Science Society of America*. 1946. 11: 317-323.
- Van Boheemen, P.M.J. (1987). Extent, effects and tackling of a regional manure surplus; a case-study for a Dutch region. In: H.G.van der Meer et al., *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste?* *Proceedings EGF* 1987.

- Van den Pol-van Dasselaar A & Den Boer DJ 2007 Weiden of opstallen; onmogelijkheden van weidegang. Handleiding. Project Koe & Wij [www.koewij.nl](http://www.koewij.nl)
- Van der Paauf F & Ris J (1955) De betekenis van de kalitoestand voor aardappelen op kleigronden in Noord-Holland. Verslagen Landbouwkundige onderzoekingen, no 61.6.
- Van der Paauf F & Ris J (1960). Een nieuw kaligetel voor bouwland op zand- en dalgrond. Landbouwvoorlichting 19, 719-725.
- Van der Paauf F & Ris J (1962). Bruikbaarheid van het K-getal voor bouwland op sterk humushoudende gronden. Landbouwvoorlichting 21, 265-267.
- Van der Paauf F (1958) De invoering van het kaligetel op kleibouwland. Landbouwkundig tijdschrift 70, 737-748.
- Van der Schoot, J.R. & W. van Dijk, 2001. N- en P-afvoer akkerbouw en vollegrondsgroentegewassen. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, projectrapport, 13 pp (excl. bijlagen).
- Van Dijk W, Baan Hofman T, Nijssen K, Everts H, Wouters AP, Lamers JG, Alblas J & Van Bezooijen J (1996) Effecten van maïs – gras vruchtwisseling. PAGV verslag 217.
- Van Dijk W, Schröder JJ, Ten Holte L & De Groot WMJ (1995) Effecten van wintergewassen op de verliezen en benutting van stikstof bij de teelt van snijmaïs. PAGV verslag 201.
- Van Dijk W. en Van Geel W., 2010. Adviesbasis voor de bemesting van Akkerbouwgewassen. PPO-agv, Lelystad. <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/handleidingen/adviesbasis-voor-de-bemesting-van-akkerbouwgewassen>
- Van Dijk, W & Van Geel. 2008. Adviesbasis voor bemesting van akkerbouwgewassen.
- Van Erp PJ (2002). The potentials of multi-nutrient soil extraction with 0.01 M CaCl<sub>2</sub> in nutrient management. Proefschrift Landbouwuniversiteit Wageningen.
- Van Erp PJ. 2002. The potentials of multi-nutrient soil extraction with 0,01 M CaCl<sub>2</sub> in nutrient management. Proefschrift Wageningen UR, pp. 237.
- Van Laarhoven GCPM, Stienezen MWJ, Everts H & Van den Pol-Van Dasselaar A (2003) Voorjaarsgebruik vanggewassen. PraktijkRapport Rundvee 41. Animal Sciences Group, Lelystad.
- Van Rotterdam-Los AMD. 2010. The potential of soils to supply phosphorus and potassium; processes and predictions. Proefschrift Wageningen UR, pp. 141.
- Van Schooten, H, J. Groten en B. Philipsen. Handboek snijmaïs. Wageningen UR Livestock Research. [www.handboeksnijmais.nl](http://www.handboeksnijmais.nl).
- Vyn, T.J., D.M. Galic en K.J. Janovicek, 2002. Corn response to potassium placement in conservation tillage. Soil & Tillage Research 76: 159-169.
- Walker, W.M. en W.L. Parks, 1969. Effect of soil potassium fertilizer and method of placement upon lodging in corn. Soil Science Society of America Proceedings 33 (6): 909-912.
- Welch, L.F., P.E. Johnson, G.E. McKibben, L.V. Boone en J.W. Pendleton, 1966. Relative efficiency of broadcast versus banded potassium for corn. Agronomy Journal 58 (6): 618-621.
- White, J. (2003). Potassium nutrition in Australian high-yielding maize production systems - a review. From a paper presented at the 5th Australian Maize Conference, 18-20th February 2003, Toowoomba, Queensland
- Whitehead DS, Bristow AW & Lockyer DR (1990) Organic matter and nitrogen in the unharvested fractions of grass swards in relation to potential for nitrate leaching and ploughing. Plant and Soil 123, 39-49.
- Wit, C. T. de, 1953. A physical theory on placement of fertilizers. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen. 59.4: 71pp.
- Yin, X. en T.J. Vyn, 2002. Soybean responses to potassium placement and tillage alternatives following no-till. AGRONOMY JOURNAL 94 (6):1367-1374.
- Yin, X. en T.J. Vyn, 2003. Potassium placement effects on yield and seed composition of no-till soybean seeded in alternate row widths. AGRONOMY JOURNAL 95 (1):126-132



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E [info@livestockresearch.wur.nl](mailto:info@livestockresearch.wur.nl) | [www.livestockresearch.wur.nl](http://www.livestockresearch.wur.nl)