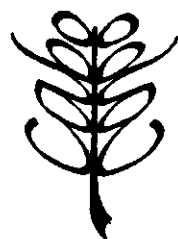


De kaliumkringloop op grasland

G.W.J. van de Ven

CABO-verslag nr. 132
1990



Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek
Postbus 14, 6700 AA Wageningen, Nederland

J SN 272 201

INHOUD	i
SAMENVATTING	iii
1. INLEIDING	1
1.1 Algemeen	1
1.2 De kaliumkringloop	2
2. KALIUM IN DE BODEM	4
2.1 Voor de plant beschikbare kalium in de bodem	4
2.2 Natuurlijke bodemvruchtbaarheid	5
2.3 Kaliumbemesting	7
2.3.1 Het kaliumbemestingsadvies	7
2.3.2 De 'kaliumrecovery' van kunstmest	8
2.3.3 De werking van kalium in drijfmest	9
2.4 Kaliumfixatie	11
2.5 Kaliumuitspoeling	11
2.6 Samenvatting	14
3. KALIUM IN PLANT EN DIER (in samenwerking met J.H. Geurink)	16
3.1 Kalium in de plant	16
3.1.1 Functies van kalium in de plant	16
3.1.2 Kalium in gras	16
3.2 Kalium in het dier	17
3.2.1 Kalium- en magnesiumbehoefte van melkkoeien	17
3.2.2 Kopziekte	19
4. KALIUM OP GRASLAND	21
4.1 De invloed van kaliumbemesting op de drogestofopbrengst en het kaliumgehalte in gras	21
4.2 Deling van de kaliumbemesting	26
4.3 De invloed van beweiding op de verdeling van kalium binnen een perceel	27
4.4 De relatie tussen kaliumgehalte en stikstofgehalte in gras	30
4.5 De relatie tussen kaliumgehalte en magnesiumgehalte in gras	34
4.6 Samenvatting	38
5. DE KALIUMKRINGLOOP OP GRASLAND	40
5.1 Uitgangspunten	40
5.2 Maaien voor zomerstalvoeding	42
5.3 Onbeperkt omweiden	45
5.3.1 De kaliumkringloop op beweid grasland	45
5.3.2 De verdeling van faeces en urine en de gevolgen voor de kaliumhuishouding	48

5.3.3 Kaliumtekort en kaliumovermaat bij beweiding	51
5.4 Samenvatting	54
LITERATUURLIJST	57

SAMENVATTING

In de melkveehouderij is kalium (K) zowel van belang voor de plant als voor het dier. Gras heeft vrij veel K nodig voor een goede groei, maar het K-gehalte in gras bestemd voor koeien mag niet te hoog zijn, omdat de gezondheid dan in gevaar kan komen. Dit rapport, waarin deze aspecten verder worden uitgewerkt is het verslag van een literatuurstudie. Gepoogd is de K-kringloop op intensief gebruikt grasland te kwantificeren. Tevens wordt aandacht besteed aan de emissie van K naar het milieu (vnl. uitspoeling).

In figuur 1 (blz 2) zijn de K-stromen op grasland en het daarbij behorende melkvee schematisch weergegeven. Dit schema, dat betrekking heeft op grasland gedurende het weideseizoen, vormt het uitgangspunt voor deze studie.

Kalium komt in de bodem vooral voor in de anorganische vaste fase, gebonden aan en aan kleideeltjes. De hoeveelheid K in de bodem is dus afhankelijk van de grondsoort. Er stelt zich continu een evenwicht in tussen K in de vaste fase, K gebonden aan het adsorptiecomplex (uitwisselbaar K) en K in de bodemoplossing. Als een gewas niet met K bemest wordt, vindt uitputting van de bodem plaats door uitwisseling van K vanuit de vaste fase naar de bodemoplossing. Hoe meer K in de bodem zit, hoe langer dit proces kan doorgaan.

Het K-bemestingsadvies is gebaseerd op de K-toestand van de bodem en houdt rekening met het graslandgebruik. De positieve respons op kunstmest gaat bij toenemende bemesting op gronden met een geringe adsorptiecapaciteit langer door dan op gronden met een grote adsorptiecapaciteit, doordat het evenwicht in de bodem zich op een lager niveau instelt. Hoe beter de voorziening van het gewas met andere elementen is hoe groter de K-behoefte van het gewas is.

Voor drijfmestinjectie is de K-recovery ongeveer gelijk aan die van kunstmest. In literatuur wordt vaak een wat lagere K-recovery voor drijfmest vermeld, maar dat is waarschijnlijk te wijten aan slechtere verspreiding van drijfmest over het land, gewasschade bij toediening, ongunstiger tijdstip van toediening en afspoeling.

Bij intensieve en langdurige K-onttrekking aan de bodem kan uit sommige kleimineralen rooster-K omgewisseld worden met andere kationen (NH_4^+). Zodra daarna met K bemest wordt, vindt weer omwisseling terug plaats, i.e. K-fixatie.

De mate van K-uitspoeling wordt in hoofdzaak bepaald door de adsorptiecapaciteit van de bodem, het neerslagoverschot, de gewasopname en de bemesting. K die niet geadsorbeerd is, is in oplossing en spoelt gemakkelijk naar beneden. Op sommige zandgronden is de K-concentratie in het ondiepe grondwater 2 tot 4 maal de EG-drinkwaternorm van 12 mg l^{-1} . Onder bouwland is de uitspoeling groter dan onder grasland. Ook in het diepere grondwater neemt de K-concentratie toe en op enkele waterwinplaatsen is de concentratie in het gewonnen water al hoger dan de norm.

Grassen kunnen, in vergelijking met andere gewassen, K in de bodem heel efficiënt benutten. Het K-gehalte in gras varieert van 0,5 tot ca. 5%, afhankelijk van ontwikkelingsstadium, bemesting, botanische samenstelling en grondsoort.

De K-behoefte van melkkoeien wordt volledig gedekt bij een K-gehalte van 0,5 tot 0,8% en het K-gehalte in gras is meestal veel hoger dan noodzakelijk. De overmaat aan K wordt uitgescheiden in urine. K heeft geen direkt effect op de gezondheid van het vee, maar een hoog K-gehalte in het

gras kan Mg-gebrek veroorzaken, met als eventueel gevolg kopziekte. Bij hoge N- en K-gehalten kan in het maagdarmkanaal minder Mg uit het gras geabsorbeerd worden dan bij lage gehalten, zodat het Mg-gehalte in het gras hoger moet zijn om dezelfde absorptie te krijgen. Mg-tekort bij weidend vee kan worden voorkomen door het gras voor inscharen te bestuiven met Mg of Mg-rijke brok bij te voeren.

De respons van een grasgewas op K-bemesting is afhankelijk van de hoeveelheid K in de bodem en de voorziening met andere nutriënten, met name N.

Na het bereiken van de maximale drogestofopbrengst, dat is de opbrengst waarbij niet de beschikbaarheid van K maar andere factoren beperkend zijn, gaat de K-opname nog door, zodat het K-gehalte stijgt. De K/N-verhouding steeg in verschillende veldproeven tot 1,5.

Bij een beperkte hoeveelheid beschikbaar K en een goede voorziening met andere nutriënten, kan het K-gehalte lage waarden bereiken (0,75% in de drogestof). De K/N-verhouding daalde in veldproeven tot ca. 0,3 en in een potproef zelfs tot 0,15. Deze lage K/N-verhoudingen gingen wel gepaard met een opbrengstreduktie. Het aantal geanalyseerde proeven is te klein om aan deze cijfers conclusies te verbinden.

Verhoging van de opbrengst van 95 naar 100% van de maximaal haalbare, resulteert in een sterke stijging van het K-gehalte, leidt tot verminderde opname van Mg door het gras en dus een lagere absorptie Mg door het dier. Dit effect is sterker als tevens hoge N-gehalten voorkomen. Bij hoge N-giften is het Mg-gehalte, bij eenzelfde K-gehalte, lager dan bij lage N-giften. Toediening van K met drijfmest verhoogt het Mg-gehalte van het gras t.o.v. K-toediening met kunstmest, waarschijnlijk doordat drijfmest ook Mg bevat.

Voor de gezondheid van het dier zou het bij beweiding aan te bevelen zijn, voor wat betreft een goede K-voorziening, niet naar een maximale opbrengst te streven maar daar enkele procenten onder te blijven. Andere manieren om kopziekte te vermijden zijn Mg-rijke brok bijvoeren en vóór inscharen het gras bestuiven met MgO.

Deling van de K-bemesting heeft weinig effect op de opbrengst en de totale jaarlijkse K-opname. Door de gelijkmatiger verdeling van het aanbod, vergeleken met een éénmalige gift in het voorjaar, varieert het K-gehalte binnen een seizoen veel minder. Beweiding heeft eenzelfde effect, zij het wat minder sterk, omdat er als het ware een continue overbemesting plaats vindt.

Een ander effect van beweiding is de heterogene verdeling van K met faeces en urine. Het bemestingsadvies voor beweide grasland is laag en waarnemingen in veldproeven duiden erop dat het gras dat niet met urine of faeces bedekt wordt, K-gebrek heeft.

De K-kringloop van grasland op zandgrond is gekwantificeerd voor twee graslandgebruikswijzen gecombineerd met opbrengstniveaus van 9 000 en 13 000 kg ha⁻¹ jr⁻¹ bij zomerstalvoeding en 9 000 en 12 000 kg ha⁻¹ jr⁻¹ bij onbeperkt omweiden. De aangenomen grasopbrengst bepaalt de benodigde hoeveelheid N, die hier beschikbaar wordt verondersteld. De berekeningen zijn uitgevoerd met een graslandbeheersmodel en daarin is de mogelijke K-opname op twee manieren berekend. Ten eerste is de gewenste K-opname afgeleid uit de N-opname zoals beschreven in [17]. Ten tweede is de mogelijke K-opname berekend uit de K-levering door de bodem, de K-bemesting volgens het bemestingsadvies en de K-recovery (0,7). Bij beweiding komt de K uit faeces en urine daar nog bij. Voor de bodem is uitgegaan van een K-toestand 'voldoende' en een K-levering van 175 kg ha⁻¹ jr⁻¹.

Bij zomerstalvoeding en een grasopbrengst van 9 000 kg is het mogelijke K-gehalte (3,39%) aanzienlijk hoger dan het gewenste K-gehalte volgens [17] (2,66%) en is de K-voorziening van het gewas dus erg ruim.

Bij de grasopbrengst van 13 000 kg is het mogelijke K-gehalte 3,28% en het gewenste 3,00%, zodat de gewenste K-voorziening benaderd wordt. K dat niet opgenomen wordt door het gras en K dat met oogstverlies op het veld achter blijft kan de bodemvoorraad weer aanvullen. Bij beide opbrengstniveaus wordt de bodemlevering van $175 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ niet helemaal gecompenseerd. Er wordt dus meer K afgevoerd uit het systeem dan er aangevoerd wordt. Als de K-toestand echter in de loop van de tijd daalt naar 'laag' wordt dat door een hogere K-bemesting weer aangevuld.

Bij onbeperkt omweiden en een grasopbrengst van $9\ 000 \text{ kg ha}^{-1}$ komt het berekende K-gehalte van 2,76% goed overeen met het gewenste gehalte van 2,77%. Bij $12\ 000 \text{ kg}$ echter is het berekende K-gehalte van 2,14% een stuk lager dan het gewenste gehalte van 3,30%. De K/N-verhouding is 0,60 en dat kan in sommige gevallen leiden tot een opbrengstderving door K-gebrek. In beide gevallen wordt de K-levering door de bodem van $175 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ gecompenseerd door K dat niet opgenomen wordt door het gras en K dat circuleert via urine, faeces en beweidingsresten. De totale K-afvoer uit het systeem is dus ongeveer gelijk aan de totale aanvoer van K.

Deze cijfers hebben echter betrekking op gemiddelden per ha. Faeces en urine worden pleksgewijs gedeponeerd en de K daarin wordt dus geconcentreerd op slechts een deel van het veld. De K-belasting in urine- en faecesplekken is hoog en ook na compensatie van de bodemlevering blijft er een overschot aan K bestaan. Dit kan o.a. dienen om de K-toestand van de bodem, zij het pleksgewijs, te verhogen, maar bij een hoge K-belasting bestaat er uitspoelingsgevaar. Uit de literatuurgegevens kon geen duidelijk verband afgeleid worden tussen K-bemesting, K-toestand van de bodem en K-uitspoeling, zodat de uitspoeling moeilijk te kwantificeren is. In het deel van het veld dat niet met faeces of urine wordt bedekt, bestaat een K-tekort door de lage K-bemesting, zodat de K-toestand van de bodem daar daalt. Het is dus waarschijnlijk dat K-uitspoeling, zoals die in de literatuur wordt vermeld, vooral plaats vindt onder faeces- en urineplekken. De K-uitspoeling volgens de EG-drinkwaternorm mag slechts $36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ zijn. De overmaat aan K in faeces- en urineplekken is gemiddeld 91 en $79 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ bij grasopbrengsten van respectievelijk 9 000 en $12\ 000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$.

De resultaten van deze berekeningen worden sterk bepaald door de uitgangspunten en moeten met de nodige voorzichtigheid bekeken worden.

1. INLEIDING

1.1 Algemeen

De afgelopen decennia hebben technische ontwikkelingen in de landbouw zich in een versneld tempo voltrokken. De introductie van kunstmest en biociden leidde tot hogere gewasproducties. De voortschrijdende mechanisatie leidde tot een vergroting van de oppervlakte land en het aantal dieren dat door één persoon beheerd kan worden. Door het toenemende gebruik van krachtvoer daalde de benodigde oppervlakte per koe en ging de veebezetting omhoog. Tussen 1970 en 1983 steeg de melkproductie gemiddeld met zo'n 285 kg ha⁻¹ jr⁻¹ [3]. Het resultaat was de ontwikkeling van intensieve en gespecialiseerde produktiesystemen.

Deze ontwikkeling bracht niet alleen voordelen, maar ook een aantal problemen met zich mee, zoals de achteruitgang van natuur en landschap en de vervuiling van het milieu. Langzamerhand is het besef gegroeid dat de nu gangbare melkveehouderij mede verantwoordelijk is voor deze problemen.

In veel onderzoek wordt de laatste jaren aandacht besteed aan stikstof (N) en fosfor (P). Stikstof komt in grote hoeveelheden in het milieu terecht en de negatieve gevolgen daarvan, zoals vervuiling van het grondwater- en oppervlaktewater en verzuring, zijn evident. In de Meststoffenwet wordt, gedifferentieerd naar grondgebruik, de aanwending van dierlijke mest gelimiteerd op basis van fosfaatsnormen, zodat de beheersing van P-stromen in de landbouw aangepakt wordt.

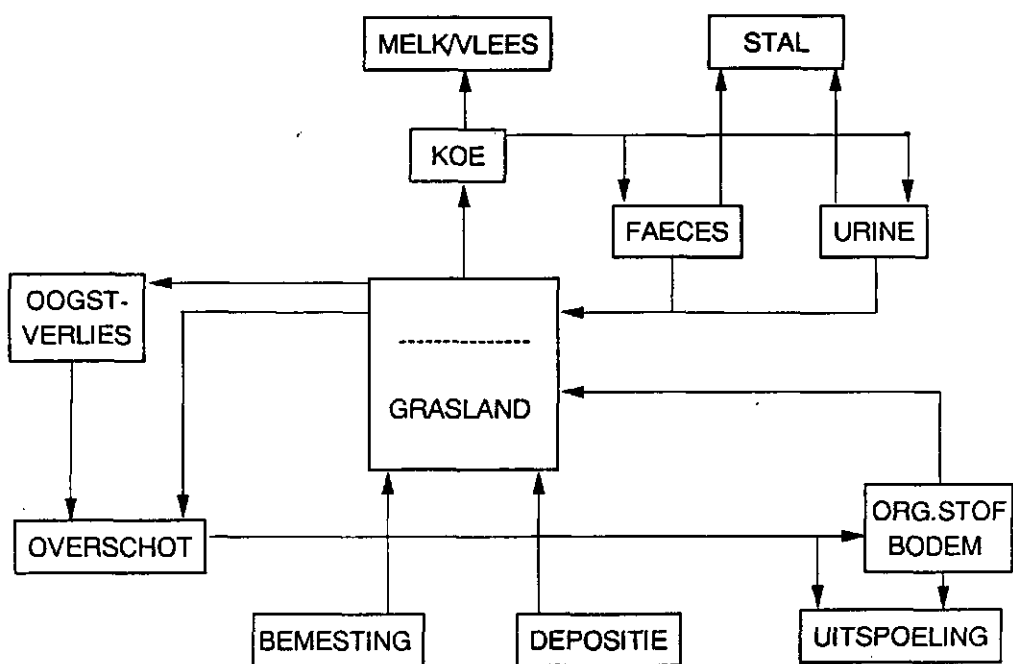
Kalium (K) heeft tot nu toe minder aandacht gekregen, omdat er minder schadelijke gevolgen bekend zijn en het gebruik niet wettelijk is gelimiteerd. De EG heeft wel een streefwaarde en een maximaal toelaatbare K-concentratie in drinkwater vastgesteld, maar ook dat heeft, door de nijpender problemen met N en P, nauwelijks geleid tot meer aandacht voor K in de landbouw.

In de melkveehouderij is K zowel van belang voor de plant als voor het dier. Gras heeft vrij veel K nodig voor een goede groei, maar het K-gehalte in gras bestemd voor koeien mag niet te hoog zijn, omdat de gezondheid dan in gevaar kan komen. Dit rapport, waarin deze aspecten verder worden uitgewerkt is het verslag van een literatuurstudie. Gepoogd is de K-kringloop op intensief gebruikt grasland te kwantificeren en aan te geven welk K-gehalte in het gras het beste compromis is tussen de eisen van het grasgewas en het vee. Tevens wordt aandacht besteed aan de emissie van K naar het milieu (vnl. uitspoeling).

1.2 De kaliumkringloop

De jaarlijkse aanvoer van K op gespecialiseerde melkveebedrijven was in 1983/86 gemiddeld 130 kg ha^{-1} grasland en voedergewassen [62]. Daarvan werd 54% aangevoerd met krachtvoer, 20% met aangekocht ruwvoer, 16% met kunstmest en 10% met overige inputs. Slechts 20 kg ha^{-1} werd afgevoerd in produkten en het verschil tussen aanvoer en afvoer was dus $110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. De benutting van K was 15 à 16%. De spreiding om dit gemiddelde was groot. Op intensieve bedrijven op zandgrond was het verschil tussen aanvoer en afvoer van K $185 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ en op extensieve bedrijven op kleigrond slechts 52 [62]. Deze gegevens geven een indicatie van de schaal van de K-problematiek.

In figuur 1 zijn de K-stromen in grasland en het daarbij behorende melkvee schematisch weergegeven. Dit schema, dat betrekking heeft op grasland gedurende het weideseizoen, vormt het uitgangspunt voor deze studie.



Figuur 1. Schema van de K-kringloop op grasland in het weideseizoen.

Aankoop van krachtvoer en ruwvoer en winning van kuilgras voor wintervoeding worden buiten beschouwing gelaten. De veebezetting wordt afgestemd op de grasproduktie gedurende het groeiseizoen.

De door het gras opgenomen K is afkomstig van de bodemvoorraad, bemesting en depositie vanuit de lucht. De meststoffen kunnen zowel dierlijke als kunstmeststoffen zijn. De dierlijke mest die in de stal terecht komt, kan

hiervoor gebruikt worden. Het K-overschot is van twee bronnen afkomstig, nl. het deel van de K, dat wel beschikbaar is voor het gras maar niet wordt opgenomen, en het deel dat wel door het gras, maar niet door het dier wordt opgenomen, het oogstverlies. De stippellijn in het schema geeft aan dat bij beweiding slechts een deel van de oppervlakte wordt bedekt met faeces en urine. De K-huishouding is voor de wel en niet bedekt delen verschillend. Het overschot wordt deels weer vastgelegd in de vaste fase en spoelt deels uit. In een evenwichtssituatie is de hoeveelheid die aan de bodem wordt toegevoegd gelijk aan de hoeveelheid die door de bodem geleverd wordt.

In het eerste deel van dit rapport wordt de K-huishouding in de bodem beschreven. Er wordt ingegaan op verschillen tussen grondsoorten, de hoeveelheid K die beschikbaar is voor opname door de plant met en zonder bemesting, fixatie door de bodem en uitspoeling. In het volgende hoofdstuk komen de functies van K in plant en dier aan de orde en in relatie daarmee ook de magnesiumbehoefte van melkvee. Vervolgens wordt ingegaan op de K-huishouding van grasland. De invloed van K-bemesting op drogestofproductie en K-gehalte van het gras, de invloed van beweiding en de interactie van K met andere nutriënten, zoals N en magnesium (Mg), komen aan de orde.

In het laatste hoofdstuk wordt de K-kringloop op grasland gekwantificeerd voor twee graslandgebruikssystemen, nl. zomerstalvoeding en onbeperkt omweiden. Dit gebeurt door gebruik van gegevens uit literatuur in een graslandbeheersmodel.

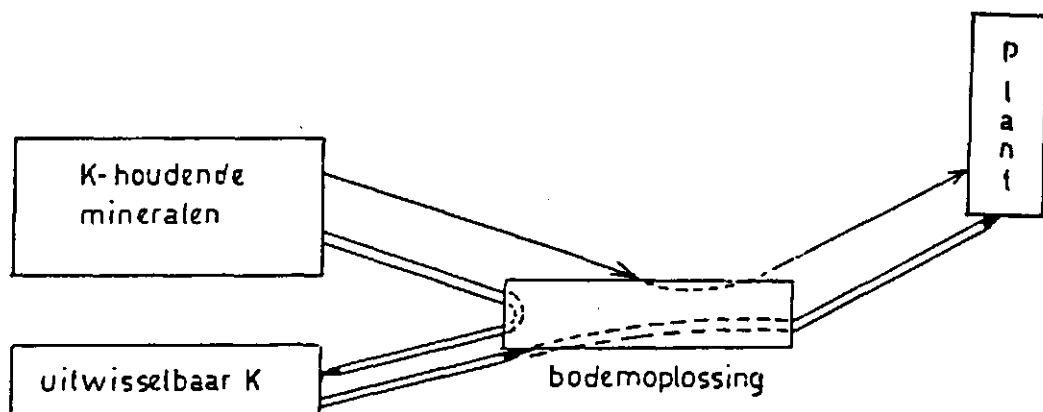
Aan het eind van elk hoofdstuk is een korte samenvatting gegeven om het geheel overzichtelijk te maken. Deze samenvattingen zijn grotendeels gelijk aan de samenvatting aan het begin van dit rapport.

2. KALIUM IN DE BODEM

2.1 Voor de plant beschikbaar kalium in de bodem

Kalium (K) komt in de bodem voornamelijk voor in de anorganische vaste fase, vastgelegd in mineralen, vooral kleimineralen [4]. Aan het oppervlak van de negatief geladen kleimineralen kunnen kationen geadsorbeerd worden. De adsorptiecapaciteit van een bodem hangt af van de hoeveelheid en de aard kleideeltjes, i.e. de fraktie bodemdeeltjes met een diameter kleiner dan $2\ \mu$ [4, 7, 36]. Het eenwaardige K-ion heeft een diameter van 26,6 nm en is daarmee het grootste van de minerale voedingsstoffen voor de plant. Daardoor wordt K minder sterk gebonden dan kleinere en/of meerwaardige kationen [4, 8].

De plant neemt K op uit de bodemoplossing. De bodemoplossing wordt aangevuld door uitwisseling van geadsorbeerd K en, als de K-onttrekking groot is, door K dat vrijkomt uit K-houdende mineralen. Er stelt zich steeds een evenwicht in tussen de concentratie in de bodemoplossing, de geadsorbeerde hoeveelheid en de hoeveelheid in de vaste fase (figuur 2).



Figuur 2. Schematische voorstelling van de onttrekking van K door de plant en aanvulling van K uit K-houdende mineralen, voor een K-rijke grond (bron: [4]).

Als de bodem rijk is aan K, kan dit evenwicht zich tijdens het groeiseizoen, waarin K aan de bodemoplossing onttrokken wordt, steeds opnieuw instellen. Bij minder rijke bodems herstelt het evenwicht zich pas na het groeiseizoen [4]. De resultaten van analyses van in de zomer genomen bodemonsters op voor de plant beschikbaar K, vertonen dan ook een grotere variatie dan van die genomen in het voorjaar [4, 7, 31]. Bij K-arme bodems zal zonder K-bemesting het uitwisselbaar K niet helemaal meer worden aangevuld. Indien het uitwisselbaar K in de loop van een aantal jaren afneemt, vindt dus uitputting van de bodem plaats [4].

Als veel N wordt gegeven, is door de snelle groei de K-behoefte van de plant groot en is K-bemesting nodig om het uitwisselbaar K op peil te houden [25]. In het algemeen geldt dat naarmate de verzorging met andere elementen beter is, een zwaardere wissel wordt getrokken op het niet-uitwisselbare K [4, 42]. De mate waarin dat kan gebeuren verschilt ook per gewas en is $40\text{--}210 \text{ kg K ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ [37]. Hopper en Clement [23] vonden in veldproeven zonder K-bemesting in vijf jaar tijd een afname van de hoeveelheid uitwisselbaar K in de bovenste 15 cm van de bodem van slechts 100 kg ha^{-1} , terwijl 750 kg ha^{-1} door het gewas was opgenomen. Het verschil van 650 kg ha^{-1} kwam uit diepere bodemlagen en/of uit in eerste instantie niet-uitwisselbaar K. Dat niet-uitwisselbaar K, via het steeds opnieuw instellen van een evenwicht, een aanzienlijke bijdrage kan leveren, wordt ondersteund door resultaten van hun potproeven, waarin eenzelfde verschil werd gevonden en K alleen afkomstig kon zijn van niet-uitwisselbaar K.

Als maat voor de K-toestand van de grond wordt in Nederland het K-getal gebruikt, waarbij rekening wordt gehouden met de invloed van de korrelgrootteverdeling en de pH. K wordt bepaald in een 0,1 N HCl-extract en dit levert het uitwisselbare K en een deel van het in kleimineralen gebonden K op. K-HCl wordt uitgedrukt in mg K_2O per 100 g grond. Als standaardgrond is een grond gekozen met pH-KCl 7 en 35% afslibbare delen. Voor andere gronden wordt bij berekening van het K-getal gecorrigeerd voor pH en afslibbare delen.

2.2 Natuurlijke bodemvruchtbaarheid

Het K-gehalte in leem- en kleigronden is 0,2-3,0% en in veen- en zandgronden is het 0,05-0,4% [4]. In zeeklei is het K-gehalte van nature hoger dan in rivierklei. In een bouwvoor van $2,6 \times 10^6 \text{ kg ha}^{-1}$ zit dan 5 200-78 000 kg K in leem- en kleigronden en 1 300-10 400 kg in veen- en zandgronden. De hoeveelheid K, gebonden aan het adsorptiecomplex in de bouwvoor, is enige honderden kg ha^{-1} (200-400). In de bodemoplossing zit een tiental kg op één moment [4, 7, 13].

Tabel 1 geeft een overzicht van literatuurgegevens over K-bemestingsproeven op grasland. Hierna worden de in tabel 1 gegeven resultaten van de niet met K bemeste objecten in het kort besproken.

Op grasland dat alleen gemaaid werd, was, zowel op zand als op veen, na vijf jaar de K-opname door het gewas ca. $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ [31]. Dit geeft nog geen evenwichtssituatie weer, omdat de K-onttrekking tot dan toe nog jaarlijks afnam. Van Dijk [46, 52] vermeldt voor praktijk-percelen op

Tabel 1. Overzicht van resultaten van K-bemestingsproeven op grasland. Getallen in kg ha⁻¹ jr⁻¹, K-recovery in kg extra opgenomen K per kg toegediende K.

gebruik	grond- soort	lit. nr.	K-levering bodem	K-recovery	bij K- gift van	N-gift	Opmerkingen
maaïen	zand	[31]	130	0,73-0,86	125	200	gem. '59-'63
			50	0,84-1,07	125	200	na 5 jaar
		[50]	200	0,63	250	>400	gem. 7 éénjarige proeven
		[46,52]	100-380	0,20-0,75	450-650	>400	spreading 7 pr.
		[5]	0,53	0,5	1,50	laag	potproef g pot ⁻¹
			0,60	0,7	1,50	hoog	,,
	veen	[31]	130	0,90	125	120	gem. '59-'63
			45	0,86	210	120	na 5 jaar
	leem	[34]	180	0,22	125	100	gem. '71-'77
			220	0,40	125	190	,,
			265	0,55	250	320	,,
			250	0,91	125	450	,,
beweiden	*	[26]	80	0,55	150	120	K-fix.gem.'72-74
		[27]	195	0,65	125	300	1974, tevoren intensief beweide
	*	[23]	100-120	0,75		314	na 4 jaar
	zand	[31]	165	1,02	80	200	gem. '59-'63
			80-125	0,7-1,5	80	200	na 5 jaar
	veen	[31]	120	1,3	40	120	gem. '59-'63
			80	1,1	40	120	na 5 jaar
	*	[23]	135				na 4 jaar

* niet vermeld

zandgrond zonder K-bemesting een K-opname variërend van 100 tot 380 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Op gemaaid grasland was de K-opname na 4 jaar 100-120 kg ha⁻¹ [23]. Op gemaaid permanent grasland op een K-fixerende grond was de K-opname 80 kg ha⁻¹ jr⁻¹ gemiddeld over drie jaar [26]. In de loop van die jaren nam het K-fixerend vermogen van de bovengrond meer toe dan in de met K bemeste objecten, wat betekent dat op de voorraad K in de bodem werd ingeteerd. In de ondergrond trad in beide gevallen geen verandering op. Op een goed doorlatende licht K-fixerende grond was de K-opname 195 kg ha⁻¹ jr⁻¹, nadat het perceel de zeven voorgaande jaren intensief beweide was en de laatste drie jaren niet met K bemest [27]. Op leemgrond was de K-opname gemiddeld over zeven jaar bij maaïen 180-265 kg ha⁻¹ jr⁻¹, afhankelijk van de N-bemesting [34]. Hierbij dient opgemerkt te worden, dat bij inzaai van het gras op alle objecten 550 kg K ha⁻¹ met dierlijke mest was toegediend. Op leemgrond werkt dit als een voorraadbemesting en kan, samen met het in de bodem aanwezige K, het gewas enkele jaren van voldoende K voorzien.

Onder beweiding was de K-opname in 5 jaar 80-125 kg ha⁻¹ jr⁻¹ [31]. De K-opname nam evenals bij maaïen wel af, maar veel minder ver door de recirculatie van K via urine en faeces. In deze periode was de K-opname gemiddeld 165 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Hopper en Clement [23] vonden onder beweiding een K-opname van 135 kg ha⁻¹ jr⁻¹.

Tabel 2 illustreert nog eens dat voor de onbemeste situatie een gemiddelde K-opname door het gras over een aantal jaren slechts een beperkte betekenis heeft. De bodemlevering onder maaien daalde in vijf jaar van 220 naar ca. 50 kg ha⁻¹, terwijl het gemiddelde 130 kg ha⁻¹ was. Zonder bemesting daalt ook het K-getal in het voorjaar gemeten. De K-opname zonder bemesting is duidelijk gerelateerd aan het K-getal van de bodem in het voorjaar. De K-opname onder beweiding gaf eenzelfde beeld. In de bodem stelt zich dus een dynamisch evenwicht in tussen K in de bodemoplossing, geadsorbeerde K en K in de vaste fase, afhankelijk van de aan- en afvoer van K.

Tabel 2. Verloop in de tijd van de K-opname door gras (kg ha⁻¹ jr⁻¹) en het K-getal van de grond in het voorjaar zonder K-bemesting, op zand- en veengrond bij maaien.

jaar	zangrond 1		zandgrond 2		veengrond	
	K-getal	K-opname	K-getal	K-opname	K-getal	K-opname
1	24	227	19	218	22	223
2	25	223	20	192	20	158
3	13	100	16	134	12	105
4	11	59	12	65	11	67
5	12	51	13	45	8	46
gemiddeld	17	132	16	131	15	120

naar: [31]

2.3 Kaliumbemesting

2.3.1 Het kaliumbemestingsadvies

Het bemestingsadvies voor K wordt gebaseerd op de K-toestand van de grond en door het graslandgebruik [32, 10, 7, 18]. In tabel 3 is het bemestingsadvies voor grasland op verschillende grondsoorten volgens de landbouwvoorlichting gegeven.

Na de eerste snede is de gift voor maaien gebaseerd op een opbrengst van 3500 kg ha⁻¹. Indien bij een lagere opbrengst wordt gemaaid, kan de gift evenredig verminderd worden. Er wordt vanuit gegaan dat bij beweiding de K die wordt uitgescheiden, i.e. ongeveer 95% van de door het dier opgenomen K, weer volledig beschikbaar komt voor het gras.

Op zandgronden is een jaarlijkse K-bemesting wenselijk. Bij een driejaarlijkse bemesting treedt in het tweede jaar al een opbrengstreduktie op en is in het derde jaar de opbrengst van gras 25% lager dan bij jaarlijkse bemesting [28, 30]. Als K in de herfst gegeven wordt in plaats van in het voorjaar, is de opname lager, doordat een deel in de winter uitspoelt [30].

Tabel 3. Richtlijn voor de K-bemesting van grasland voor verschillende gebruikswijzen (kg ha^{-1}).

grond- soort	waardering K-toestand (gebaseerd op K-getal)	1 ^e snede			per volgende snede		
		weiden	stal- voeren	winter voer	maaieren		éénmalig beperkt weiden
					lichte snede	zware snede	
zand- en dalgrond	laag	83	115	150	58	83	75
	voldoende	50	83	115	58	83	75
	ruim voldoende	0	33	65	42	65	75
zeeklei, rivier- klei, veen,löss	laag	66	100	133	58	83	75
	voldoende	17	50	83	58	83	75
	ruim voldoende	0	25	50	25	42	75

naar: [18]

Als de K-toestand van de bodem voldoende is, kan de K-bemesting, mits op het juiste tijdstip gegeven, afgestemd worden op de behoefte van het gewas [10].

2.3.2 'Kaliumrecovery' van kunstmest

De 'K-recovery' is gedefinieerd als de extra K-opname t.o.v. de onbemeste situatie per kg toegediende K. De resultaten van Oostendorp en Harmsen [31] laten zien, dat de gemiddelde K-recoveries voor beweid grasland hoger zijn dan voor gemaaid grasland en zelfs waarden boven 1,0 bereiken, zowel op zand- als op veengrond (tabel 1). Dat duidt op opname van K uit urine en faecesplekken in de beweide situatie. Onder beweiding was de laagste K-gift lager dan bij alleen maaieren. Bij een K-gift van $125 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, dit is de laagste K-gift bij maaieren, is de K-recovery onder beweiding 0,78-0,97. Ook dan is de K-recovery nog iets hoger als gevolg van recirculatie van K via faeces en urine.

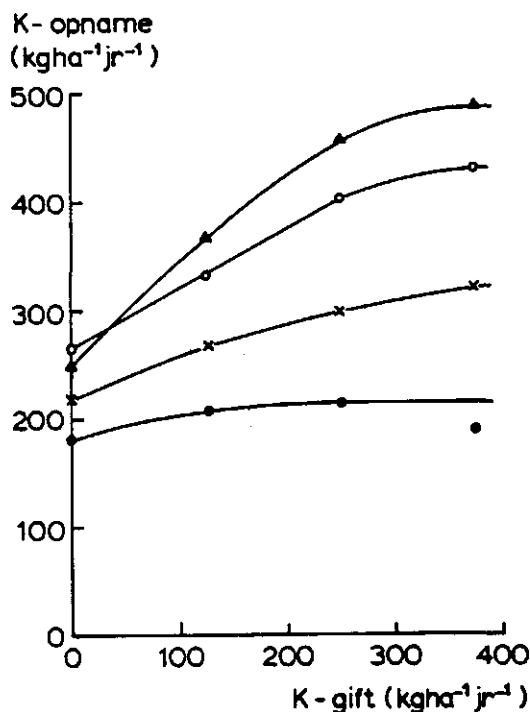
De K-recovery is, bij vergelijkbare N-bemesting, op zand- en veengrond groter dan op leemgrond doordat een K-levering uit natuurlijke bronnen lager is (K-recovery: 0,73-0,86 versus 0,40; bodemlevering: 130 versus $220 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$).

De K-recovery van kunstmest kan per jaar nogal variëren, zowel tussen jaren op hetzelfde proefveld (0,26 tot 0,80 [31]) als tussen proefvelden binnen een jaar (0,20 tot 0,75 [50]). De lage recoveries kwamen allen voor bij hoge K-leveringen door de bodem en de hoge recoveries kwamen voor in jaren dat hoge opbrengsten werden gehaald of de K-levering door de bodem laag

was. De N-bemesting was in alle jaren hetzelfde.

De K-opname blijkt dus sterk bepaald te worden door de behoefte van het gewas.

De K-behoefte van het gewas wordt mede bepaald door de N-voorziening. Figuur 3 laat zien dat zowel de K-opname uit de bodem als de K-recovery van kunstmest zijn hoger, naarmate de N-voorziening van het gewas beter is [34]. De overige in tabel 1 vermelde literatuurgegevens bevestigen dit [6, 23, 26, 27].



Figuur 3. De relatie tussen K-gift en K-opname ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) bij vier N-giften: $\bullet$ 106, $\times$ 191, $\circ$ 320 en $\blacktriangle$ 450 $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$. (naar: [34]).

2.3.3 De werking van kalium in drijfmest

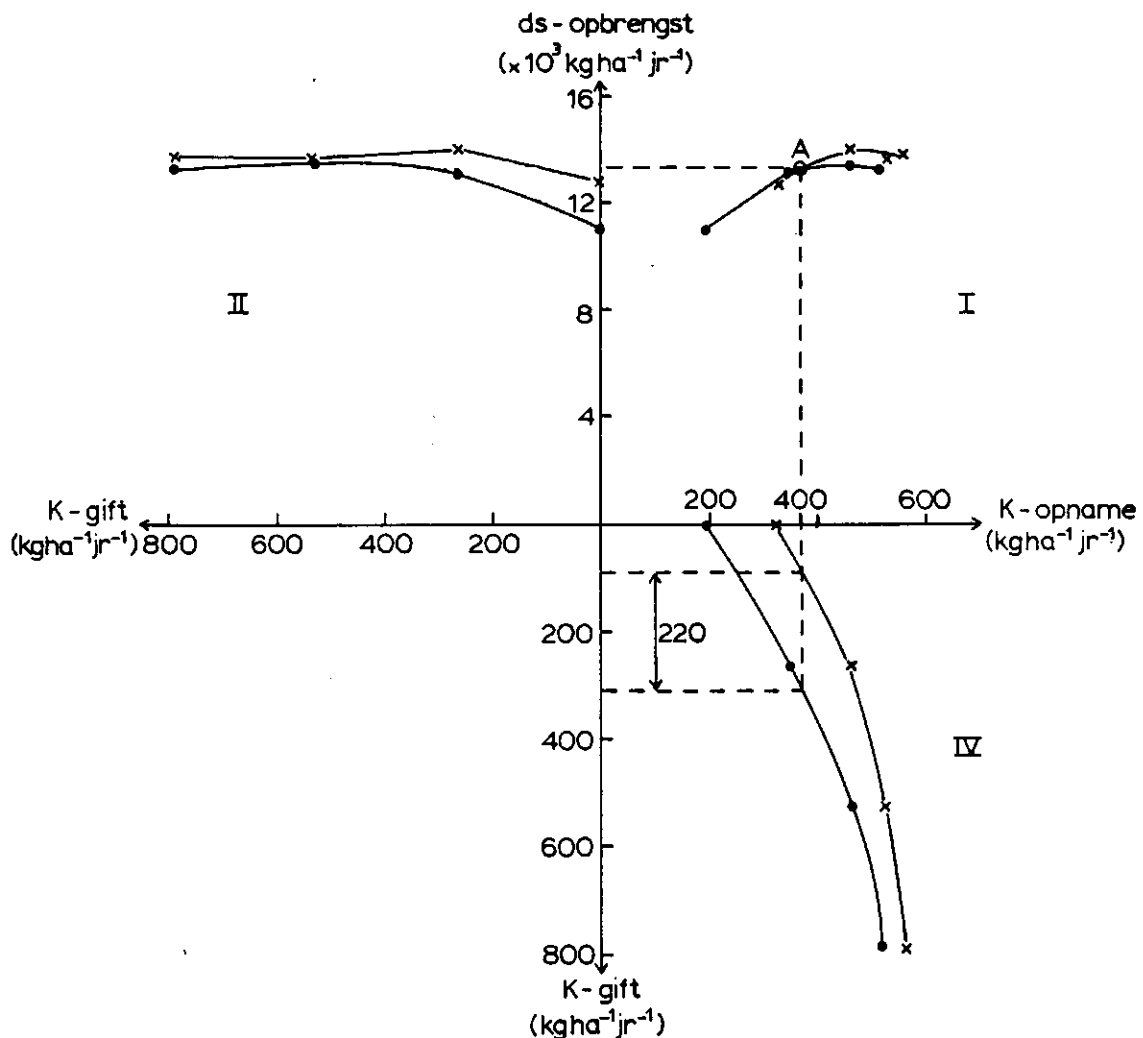
De resultaten van potproeven lieten zien dat het K-gehalte in gras bij toediening van eenzelfde hoeveelheid K met kunstmest en met drijfmest nagenoeg gelijk was [6, 29]. De drogestofopbrengst en de K-recovery uit drijfmest waren wat lager. In de proef van Berghs is dit waarschijnlijk veroorzaakt door schade aan het gewas bij de toediening van drijfmest. Met een mes werd een snede in de grond gemaakt, waarin de drijfmest werd toegediend en daardoor kan een lichte groeiachterstand ontstaan zijn [6].

Van Dijk heeft op grasland de werking van K uit geïnjecteerde runderdrijfmest, uit kunstmest en bij gecombinatie van beide [50]. In alle

behandelingen werd een overmaat N (meer dan het advies) gegeven, zodat de resultaten zo weinig mogelijk door extra N-toediening met drijfmest beïnvloed zouden worden.

De gemiddelde recovery voor K-giften van ca. $250 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ was voor drijfmestinjectie 0,64 en voor kunstmest 0,63. De recovery uit drijfmest was dus ongeveer gelijk aan van die uit kunstmest.

Uit figuur 4 is de K-recovery voor gecombineerde giften voor zes éénjarige proeven afgeleid. Bij gelijke drogestofopbrengst en K-opname (kwadrant 1, punt A) moet bij gebruik van alleen kunstmest, 220 kg ha^{-1} meer worden gegeven dan bij combinatie van kunstmest en drijfmestinjectie. De hoeveelheid K in de drijfmest was 242 kg ha^{-1} , zodat de recovery ca. 90% van die van kunstmest was.



Figuur 4. De relatie tussen kunstmestgift, K-opname en ds-opbrengst ($\text{kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$); • kunstmest, x geïnjecteerde drijfmest+kunstmest (naar: [50 (m.b.v. 45, 46, 51, 52)]).

Van Dijk heeft deze afleiding op een andere manier gemaakt en komt tot vergelijkbare resultaten [50]. Kunstmest werd na elke snede toegediend en drijfmest in één keer in het voorjaar. Dit kan één van de oorzaken van de

lagere recovery uit drijfmest zijn. Volgens Smith en Van Dijk [44] is een lagere recovery, zoals vaak in de literatuur vermeld, voornamelijk te wijten aan een slechte verspreiding van drijfmest over het land, gewasschade bij injectie, afspoeling en uitspoeling.

2.4 Kaliumfixatie

Niet alle K-houdende bodemmineralen staan even gemakkelijk K af. Het meest voorkomende K-houdende mineraal is het kleimineraal illiet. In illiet vormt het zogenaamde roosterkalium de verbinding tussen de elementaire kleiplaatjes. Deze is in eerste instantie niet uitwisselbaar, maar als lang en intensief K aan de bodem onttrokken wordt, wordt geleidelijk een deel van het rooster-K uitgewisseld met andere kationen, met name NH_4^+ , zodat de beschikbaarheid van K in de bodem vergroot wordt. Zodra daarna K-bemesting plaats vindt, worden de NH_4^+ -ionen weer vervangen door K^+ -ionen; dit proces wordt kaliumfixatie genoemd [4, 26].

K-fixatie vindt vooral plaats in de bovengrond. Een hoog K-fixerend vermogen van de grond hoeft niet nadelig te zijn voor de opbrengst van gewassen. Het kan zelfs gunstig zijn voor gewassen met een oppervlakkig wortelstelsel, omdat de toegediende K niet uitspoelt, maar in de bovengrond vastgehouden wordt. Vaak wordt een groot deel van de K slechts in zodanig zwakke vorm gefixeerd dat het door veel gewassen nog kan worden opgenomen. Door de grotere kans op binding aan bodemdeeltjes is de aktiviteit van het K^+ -ion in de bodemoplossing van K-fixerende gronden wel lager dan in die van niet-fixerende gronden. Als tevens de concentraties van Ca^{2+} en Mg^{2+} hoog zijn, wordt opname van K belemmerd. Het hangt van de gevoeligheid van het gewas voor K-gebrek af in hoeverre dit nadelige effecten heeft [37]. Bij een lage pH is K-fixatie minder sterk dan bij een hoge [7].

2.5 Kaliumuitspoeling

De mate van K-uitspoeling is afhankelijk van neerslag, evapotranspiratie, temperatuur, adsorptiecapaciteit en basenverzadiging van de bodem, pH en K-bemesting. De adsorptiecapaciteit blijkt het meest bepalend te zijn, omdat K in oplossing gemakkelijk uitspoelt. Op zandgrond, en met name humusarme zandgrond, is de uitspoeling dan ook het grootst.

De hoeveelheid K die gedurende een bepaalde periode uitspoelt, wordt bepaald door het neerslagoverschot in die periode en dat is in de winter het grootst. In de zomer zijn er soms korte perioden met een neerslagoverschot. Als zich na het groeiseizoen weer een evenwicht in de bodem instelt, kan in de daarop volgende winterperiode een deel van de K

uit de bodemoplossing uitspoelen. Op gronden met een lage adsorptiecapaciteit kan in de winter uit gewasresten zoals wortels en blad, ook nogal wat K uitspoelen [10]. Op gronden met een hoge adsorptiecapaciteit is echter het adsorberend vermogen ook beperkt en zodra op een met K verzadigde grond meer K wordt gebracht, spoelt het grootste deel hiervan waarschijnlijk uit [7].

In tabel 4 zijn schattingen voor de verliezen van K uit bemesting gegeven zoals ze door de voorlichting worden gehanteerd. Aangenomen is dat de grasgroei en daarmee de K-opname, ongeveer half maart begint. De hoeveelheid neerslag is een betere indikator dan de periode van aanwending [18].

Tabel 4. Geschatte uitspoeling van K op zandgrond bij aanwending in het winterhalfjaar

tijdstop aanwending	neerslag tot half maart (mm)	verlies (%)
half februari	ca. 50	20
half januari	ca. 105	30
half december	ca. 170	45
half november	ca. 230	60

bron: [18]

Bij oppervlakkige toediening van stalmest op grasland is de uitspoeling op kleigrond 3% en op zandgrond 16-23% van de met mest toegediende K [15]. Op klei, veen en löss spoelt bij aanwending van kunstmest-K omstreeks half januari maar ca. 5% uit en bij aanwending daarvoor ca. 10% [18].

In de literatuur worden uitspoelingscijfers voor K vermeld variërend van 1 tot 180 kg ha⁻¹ jr⁻¹ [7, 14]. Fiedler en Reissig [48] vermelden K-verliezen van 10-40 kg ha⁻¹ jr⁻¹ onder 'normale' omstandigheden, oplopend tot meer dan 100 kg onder 'ongunstige' omstandigheden.

In tabel 5 zijn in de literatuur vermelde uitspoelingscijfers samengevat, ingedeeld naar grondsoort en grondgebruik. Ook uit deze tabel blijkt dat de K-uitspoeling op klei veel lager is dan op zand. Als alleen de laatste jaren in beschouwing worden genomen, is op zandgrond uitspoeling onder grasland duidelijk minder dan onder bouwland. Uiteraard hangt dit sterk af van de K-bemesting en de K-behoefte van de geteelde akkerbouwgewassen. Vooral op bouwland is de uitspoeling sterk toegenomen.

De maximaal toelaatbare K-concentratie volgens de EG-drinkwaternorm is 12 mg l⁻¹. Bij een neerslagoverschot van 300 mm per jaar, zoals in Nederland ongeveer het geval is, mag de K-uitspoeling dan maximaal 36 kg ha⁻¹ zijn.

De Wit en Bleuten [39] hebben in 1985 in de provincie Utrecht 306 grondwatermonsters geanalyseerd op o.a. K. De resultaten, die ook in tabel 5 zijn opgenomen, zijn in figuur 5 grafisch weergegeven. Hieruit blijkt dat op klei- en veengrond de K-concentratie in het ondiepe grondwater laag is,

Tabel 5. Overzicht van literatuurgegevens over K-uitspoeling ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$). n = aantal metingen. Voor het omrekenen van uitspoelingscijfers van mg l^{-1} naar kg ha^{-1} is gerekend met een gemiddeld neerslagoverschot van 300 mm. In die gevallen is de concentratie in de laatste kolom in mg l^{-1} vermeld.

grond- soort	grond- gebruik	bron	jaar	K-uitspoeling	Opmerkingen
*	*	[48]	1964	10 - 40	normale omstandigheden
				> 100	ongunstige omstandigheden
		[14]	1987	2 - 180	range vermeld in literatuur
zand	grasland	[33]	1976	57	n=2; 19,1 mg l^{-1}
		[49]	1982	21 - 279	
		[39]	1986	76	n=84; 25,29 mg l^{-1}
		[20]	1987	50	gemiddeld
				150	maximum; 50 mg l^{-1}

				rekenkundig gemiddelde	83
	bouwland	[33]	1976	48	n=9; 16,1 mg l^{-1}
		[7]	1978	25	lysimeterexperiment
		[49]	1982	24 - 195	
		[39]	1986	132	n=62; 43,62 mg l^{-1}
		[20]	1987	118	

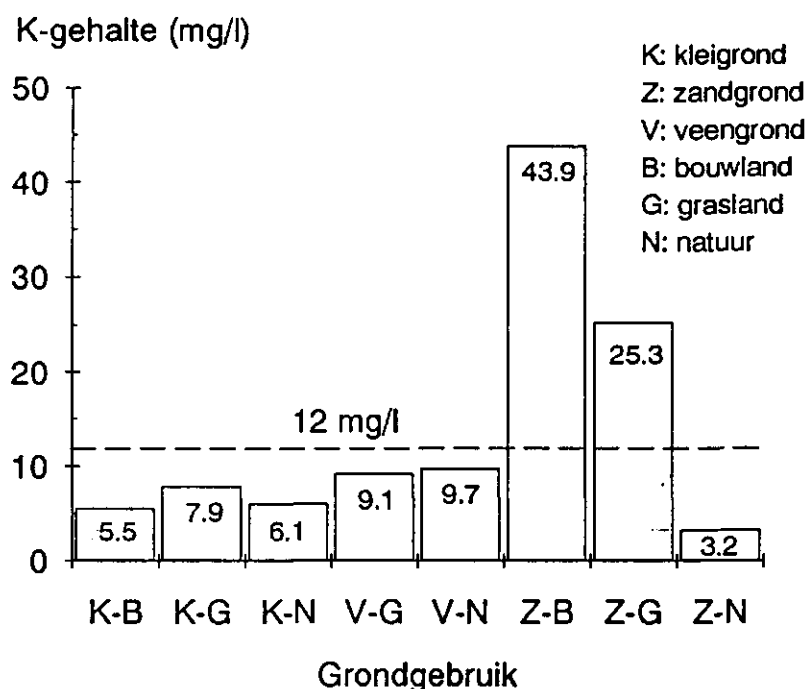
				rekenkundig gemiddelde	87
	natuur	[39]	1986	10	n=14; 3,26 mg l^{-1}
		[20]	1982	9 - 15	
klei	grasland	[33]	1976	11	n=68; 3,7 mg l^{-1}
		[39]	1986	23	n=82; 7,55 mg l^{-1}
	bouwland	[33]	1976	40	n=122; 13,2 mg l^{-1} ; zeeklei
				0	n=3; rivierklei
		[39]	1986	16	n=7; 5,49 mg l^{-1}

	natuur	[39]	1986	18	n=7; 6,01 mg l^{-1}
leem	*	[7]	1978	1	metingen op praktijkbedrijven
veen	grasland	[39]	1986	27	n=42; 9,11 mg l^{-1}
	natuur	[39]	1986	29	n=7; 9,70 mg l^{-1}

* niet vermeld

niet verschilt tussen de verschillende grondgebruiksvormen en dat de maximaal toelaatbare concentratie niet wordt overschreden. Op zandgrond bestaan wel duidelijke verschillen in de K-concentratie in het ondiepe

grondwater bij verschillend grondgebruik. Op grasland en bouwland wordt de norm overschreden met respectievelijk een factor 2,0 en 3,5. In Vierlingsbeek (Noord Brabant) zijn onder grasland op zandgrond in het bovenste grondwater K-concentraties gemeten van 30-50 mg l⁻¹ [20], een overschrijding van de norm met een factor 2,5 - 4.



Figuur 5. Het gemiddelde K-gehalte (mg l⁻¹) in het ondiepe grondwater van 306 grondwatermonsters, uitgesplitst naar bodemsoort en grondgebruik (naar: [39]).

In het diepere grondwater (8-30 m) zijn vooral onder bouwland hoge K-concentraties gemeten [59].

Uit analyses van het diepere grondwater blijkt dat er sprake is van een K-front dat zich naar de diepte verplaatst. Bij de meeste freatische grondwaterwinplaatsen stijgt de laatste jaren de K-concentratie in het gewonnen water. Bij 3 van de 69 waterwinplaatsen in Nederland is de drinkwaternorm al overschreden [59].

Hoewel er normen voor de concentratie van K in het grondwater zijn vastgesteld, zijn van hoge concentraties geen nadelige gevolgen bekend [39]. Een hoge K-uitspoeling betekent wel dat verspilling plaats vindt en dat K in het grondwater voorkomt in hoeveelheden die er van nature nauwelijks inzaten.

2.6 Samenvatting

Kalium (K) komt in de bodem vooral voor in de anorganische vaste fase, gebonden aan en aan kleideeltjes. De hoeveelheid K in de bodem is dus

afhankelijk van de grondsoort. Er stelt zich continu een evenwicht in tussen K in de vaste fase, K gebonden aan het adsorptiecomplex (uitwisselbaar K) en K in de bodemoplossing. Als een gewas niet met K bemest wordt, vindt uitputting van de bodem plaats door uitwisseling van K vanuit de vaste fase naar de bodemoplossing. Hoe meer K in de bodem zit, hoe langer dit proces kan doorgaan.

Het K-bemestingsadvies is gebaseerd op de K-toestand van de bodem en houdt rekening met het graslandgebruik. De positieve respons op kunstmest gaat bij toenemende bemesting op gronden met een geringe adsorptiecapaciteit langer door dan op gronden met een grote adsorptiecapaciteit, doordat het evenwicht in de bodem zich op een lager niveau instelt. Hoe beter de voorziening van het gewas met andere elementen is hoe groter de K-behoefte van het gewas is.

Voor drijfmestinjectie is de K-recovery ongeveer gelijk aan die van kunstmest. In literatuur wordt vaak een wat lagere K-recovery voor drijfmest vermeld, maar dat is waarschijnlijk te wijten aan slechtere verspreiding van drijfmest over het land, gewasschade bij toediening, ongunstiger tijdstip van toediening en afspoeling.

Bij intensieve en langdurige K-onttrekking aan de bodem kan uit sommige kleimineralen rooster-K omgewisseld worden met andere kationen (NH_4^+). Zodra daarna met K bemest wordt, vindt weer omwisseling terug plaats, i.e. K-fixatie.

De mate van K-uitspoeling wordt in hoofdzaak bepaald door de adsorptiecapaciteit van de bodem, het neerslagoverschot, de gewasopname en de bemesting. K die niet geadsorbeerd is, is in oplossing en spoelt gemakkelijk naar beneden. Op sommige zandgronden is de K-concentratie in het ondiepe grondwater 2 tot 4 maal de EG-drinkwaternorm van 12 mg l^{-1} . Onder bouwland is de uitspoeling groter dan onder grasland. Ook in het diepere grondwater neemt de K-concentratie toe en op enkele waterwinplaatsen is de concentratie in het gewonnen water al hoger dan de norm.

3. KALIUM IN PLANT EN DIER

3.1 Kalium in de plant

3.1.1 Funkties van kalium in de plant

K komt vooral voor in jonge weefsels en transportorganen, is mobiel in de plant [4, 12] en niet organisch gebonden [4].

K heeft invloed op [4, 9]:

- fotosynthese; K verhoogt de lichtbenuttingsefficiëntie en de activiteit van chlorofyl en bevordert translocatie van assimilaten;
- eiwitsynthese; bij te weinig K neemt de hoeveelheid oplosbaar N (aminozuren en amiden) toe en dit kan uiteindelijk toxisch werken voor de plant. Een hoge N-gift moet dus samengaan met een voldoende K-voorziening;
- stevigheid van het gewas; K verhoogt de osmotische waarde van het celvocht (turgor) en beïnvloedt sklerenchymvorming in de celwand;
- enzymvorming; ca. 50 enzymen hebben voor hun functioneren K nodig;
- permeabiliteit van membranen;
- de hydratatiegraad van celcolloïden; dit is van belang voor stofwisselingsprocessen en waterhuishouding (openingstoestand huidmondjes) [11].

Kalium is met deze funkties vooral een kwaliteitselement [4, 11]: een steviger gewas leidt tot minder legering en verhoging van osmotische waarde vermindert onder meer de nachtvorstgevoeligheid van gewassen.

K-gebrek veroorzaakt bladval en onvoldoende ontwikkeling van steunweefsels en gele tot geelbruine verkleuring van de bladtop bij monocotylen [4, 11]. Verschijnselen treden het eerst op in oudere bladeren, omdat K mobiel is, en ze zijn pas zichtbaar als de groei al sterk is gereduceerd [4].

3.1.2 Kalium in gras

Grassen kunnen, in vergelijking met andere gewassen, K uit de bodem heel efficiënt benutten, maar de natuurlijke bodemvruchtbaarheid bij langdurig intensief graslandgebruik is niet voldoende voor onbeperkte groei.

Uiteindelijk treedt groeireduktie op door K-gebrek [10, 12, 23, 31, 34, 42].

Het K-gehalte in gras op drogestofbasis varieert van 0,5 tot 5,0%, afhankelijk van ontwikkelingsstadium, bemesting, botanische samenstelling, grondsoort en weersomstandigheden [16]. Als een indicatie is in tabel 6 het K-gehalte van Engels raaigras in verschillende ontwikkelingsstadia vermeld

[12]. Deze getallen moeten als indicatief worden beschouwd. In vergelijking met K-gehalten die tegenwoordig gevonden worden zijn ze vrij laag.

Tabel 6. Effect van het ontwikkelingsstadium op het K-gehalte van Engels raaigras.

ontwikkelingsstadium	% K in ds
vegetatief gewas	3,00
schieten	2,60
bloei	2,08
einde bloei	1,80
hooi	1,20

naar: [12]

Gedurende de periode van sterke vegetatieve groei is de K-opname het grootst. K is mobiel in de plant. In het algemeen hebben planten al 50% van de totale behoefte aan K opgenomen als nog maar 10-20% van de jaarlijkse drogestof produktie is gerealiseerd [12]. Gras heeft door de gebruikswijze, waarbij vaak in het vegetatieve stadium wordt geoogst, een hoge K-behoefte.

In grasland met overwegend grassen is de K-opname per ha groter dan in grasland met veel kruiden [28]. Klavers in gras/klaver-mengsels nemen minder K op dan klavers in monocultuur door de sterke concurrentie van de grassen. N-bemesting stimuleert vooral de groei van het gras en versterkt dit effect nog eens [12].

3.2 Kalium in het dier

3.2.1 Kalium- en magnesiumbehoefte van melkkoeien

De voornaamste funkties van K in het dier zijn:

- handhaven van de osmotische potentiaal in cellen en in ionenpompen;
- activering van enzymen.

Een koe neemt veel K op en er wordt een K-evenwicht in het lichaam gehandhaafd door uitscheiding van de overmaat met urine [17]. De uitscheiding van K is dan ook evenredig met de opgenomen hoeveelheid [12, 16]. K heeft geen direct effect op de gezondheid van het dier, maar een hoog gehalte aan K in het gewas kan Mg-tekort veroorzaken met eventueel kopziekte als gevolg [12, 16, 60]. De K-behoefte van koeien wordt volledig gedekt bij een K-gehalte van 0,5-0,8% in het voer en het K-gehalte in ruwvoer zoals gras is dus meestal veel hoger dan noodzakelijk [13, 16, 17].

De voornaamste funkties van Mg in het dier zijn :

- activering van enzymen;

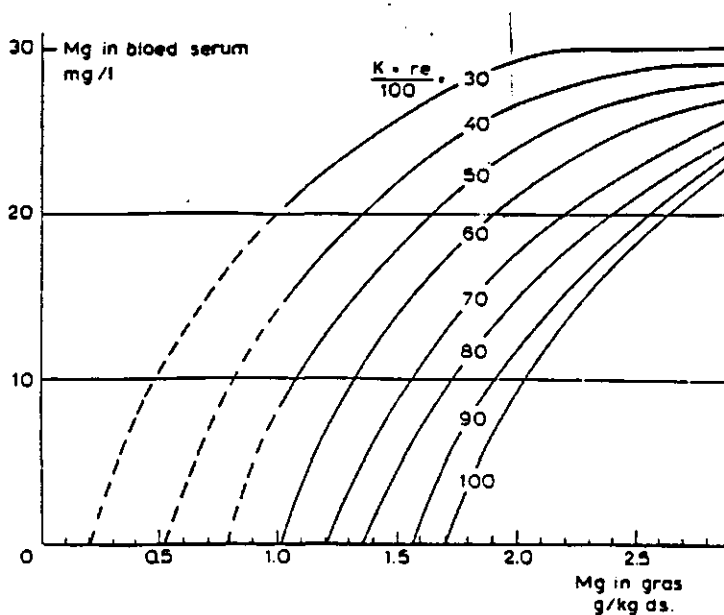
- zorg voor een normaal verloop van spiercontracties
- overdracht van zenuwimpulsen.

Van de totale hoeveelheid Mg (0,05% van het lichaamsgewicht) zit 60-70% in de botten. De Mg-behoefte van melkkoeien kan worden gedekt met een gehalte van 0,15-0,40% in de drogestof van het voer. Het gemiddelde Mg-gehalte in gras is 0,25% (0,1-0,5%) en dus niet altijd voldoende [16].

Het gewenste Mg-gehalte in het voer is afhankelijk van de melkproduktie en de absorptie van Mg^{2+} uit het maagdarmkanaal, die afhankelijk is van de hoeveelheid opgenomen voer, het Mg-gehalte in het voer en de absorptiecoëfficiënt. Bij een hoog K- en een hoog N-gehalte is de absorptie van Mg^{2+} uit het maagdarmkanaal laag, zodat het Mg-gehalte in het voer hoog moet zijn voor een voldoende Mg-opname in het bloed. Voor vers gras en wintervoer is de absorptiecoëfficiënt gemiddeld 17% (5-35) [5, 16, 17].

De Mg-behoefte van een melkkoe is gemiddeld $2,5 \text{ g d}^{-1}$ voor onderhoud en $0,12 \text{ g}$ per liter melk [5, 17]. Bij een drogestofopname van 16 kg d^{-1} , een melkproduktie van 25 l en een absorptiecoëfficiënt van 17%, kan worden volstaan met een gehalte van 0,20% Mg in het voer [5, 61].

Kemp heeft een relatie afgeleid tussen de samenstelling van gras (N-, K- en Mg-gehalte) en de Mg-voorziening van runderen [61]. In figuur 6 is dat verband grafisch uitgewerkt. Hoe hoger het produkt van K-gehalte en ruw eiwitgehalte in het voer, hoe hoger het Mg-gehalte moet zijn om voldoende absorptie van Mg^{2+} vanuit het maagdarmkanaal te garanderen. De Mg-concentratie in het bloed moet minstens 20 mg l^{-1} zijn. Globaal gesproken



Figuur 6. De relatie tussen de samenstelling van het gras de geschatte hoeveelheid Mg in het bloedserum (bron: [61])

moet jong, K- en eiwitrijk gras een Mg-gehalte hebben van minimaal 0,25%. In ouder gras, met minder dan 20% re en minder dan 3% K is een Mg-gehalte van 0,20% voldoende, mits voldoende voer wordt opgenomen [17].

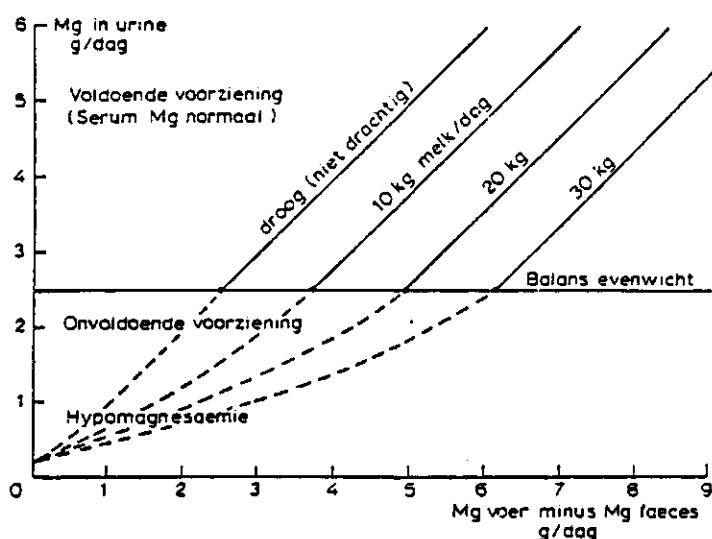
In het algemeen bevat kuilgras dus relatief meer voor het dier opneembaar Mg dan weidegras, maar minder dan hooi. Mg uit maissilage is beter opneembaar dan uit kuilgras of hooi, doordat het K-gehalte in maissilage lager is, gemiddeld 1,8% [2].

Mg-tekort bij weidend vee kan worden voorkomen door het gras te bestuiven met ca. 18 kg Mg ha⁻¹ voor inscharen of door Mg-rijke brok te verstrekken bij het melken. Uitgaande van gras met een waarde voor Kxre/100 van ca. 60, moet het Mg-gehalte in het gras 0,20% zijn. Bij een drogestof opname van 15 kg dier⁻¹ d⁻¹ wordt dan 30 g Mg opgenomen. In deze Mg-behoefte kan ook voorzien worden door 1 of 2 kg krachtvoer te geven met respectievelijk 3 of 1,5% Mg. Overmaat aan Mg treedt pas op bij meer dan 90 g dier⁻¹ d⁻¹ [17].

3.2.2 Kopziekte

Kopziekte treedt op als het Mg-gehalte in het bloed van het dier te laag wordt om de functies die Mg heeft, naar behoren te vervullen. Normaal is het Mg-gehalte in het bloed 20-30 mg l⁻¹. Bij een gehalte van 10-20 mg l⁻¹ is de Mg-voorziening suboptimaal en spreekt men van hypomagnesamie. Daalt het gehalte beneden 10 mg l⁻¹ dan kan kopziekte (hypomagnesamic tetany) optreden [1, 5, 17]. Hypomagnesamie is nog geen kopziekte, maar wel treden al gebreksverschijnselen op, zoals een lagere melkproduktie door verminderde voeropname. De daling van het Mg-gehalte in het bloedserum gaat erg snel en kopziekte kan acuut optreden en binnen een paar dagen tot de dood van het dier leiden. Volwassen dieren zijn gevoeliger voor Mg-gebrek dan jonge, omdat de laatste nog wat lichaams-Mg kunnen mobiliseren [5, 17]. Voordat het Mg-gehalte in het bloed daalt, treedt eerst een sterke daling van de uitscheiding van Mg met urine op. Er bestaat een duidelijk verband tussen de hoeveelheid opneembare Mg in het rantsoen en de hoeveelheid uitgescheiden Mg in de urine, zoals uitgewerkt door Kemp en in grafisch weergegeven figuur 7 [53].

Een Mg-concentratie van 100 mg l⁻¹ in de urine geeft aan dat de Mg-voorziening voldoende is. Een concentratie van 20-100 mg l⁻¹ duidt op hypomagnesamie en een concentratie lager dan 20 mg l⁻¹ op ernstig tekort en grote kans op kopziekte. Zowel een overmaat als een tekort kunnen gemakkelijk uit urineanalyses afgeleid worden.



Figuur 7. De relatie tussen de opname van beschikbaar Mg in het voer en de uitscheiding van Mg in urine bij melkkoeien, bij verschillende melkproducties (bron: [61]).

De grootste risico's voor kopziekte bestaan in het voorjaar en in de herfst. In het begin van de weideperiode heeft het gras hoge N- en K-gehalten en mede daardoor lage Mg-gehalten. Bovendien is de absorptiecoëfficiënt van Mg lager. In het najaar is de voederopname slechter door een lager drogestofgehalte, slecht weer en onsmakelijk gras. In de gangbare wintervoerders, zoals snijmais, is het Mg-gehalte zo laag, dat ook in de winter aanvulling van het rantsoen met Mg noodzakelijk kan zijn om kopziekte te voorkomen.

Kopziekte kan dus een indirect gevolg zijn van een overmaat K.

Voor uitgebreidere informatie over achtergronden en optreden van kopziekte wordt verwezen naar werk van Kemp en Geurink [53, 55, 60, 61].

4. KALIUM OP GRASLAND

4.1 De invloed van kaliumbemesting op de drogestofopbrengst en het kaliumgehalte van gras

De respons van een gewas op kunstmest-K is afhankelijk van de hoeveelheid K die uit de bodem beschikbaar is en van de N-voorziening van het gewas [9, 11, 16, 25, 31, 34].

Oostendorp en Harmsen [31] vonden dat bij een N-gift van 200 kg ha⁻¹ jr⁻¹ op zandgrond en 120 kg ha⁻¹ jr⁻¹ op veengrond, de grasopbrengst steeg door K-bemesting. Bij de laagste K-gift, bij maaien 125 en bij beweiden 40 kg ha⁻¹ jr⁻¹, was de opbrengst hoger dan zonder K-bemesting. Hogere K-giften gaven geen opbrengsten, die significant van die bij de laagste gift verschilden, maar wel hogere K-gehalten. Dit betekent dat bij hogere K-giften een andere faktor dan K opbrengstbeperkend was. In tabel 7 zijn voor één experiment op zandgrond de drogestofproduktie, de K-opname en het K-gehalte bij drie K-giften gegeven.

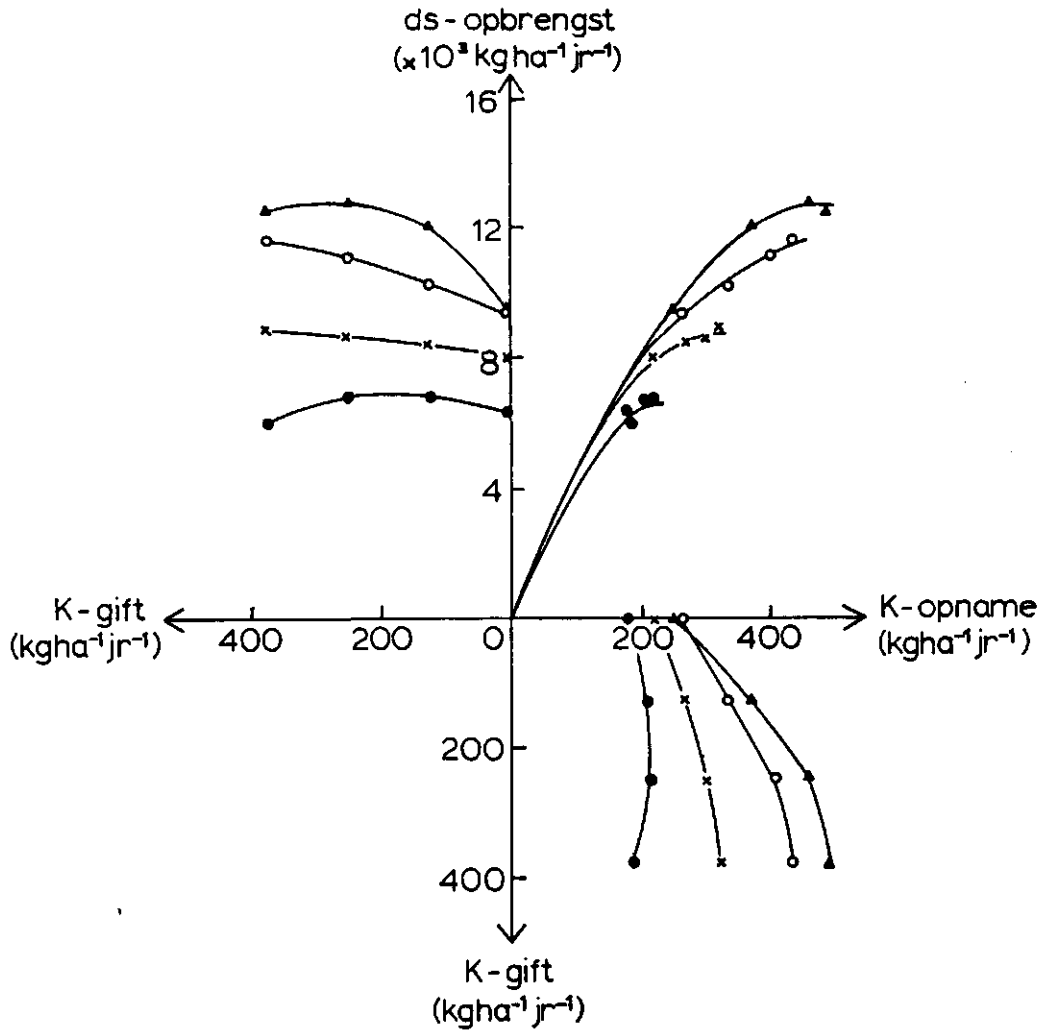
Tabel 7. De drogestofopbrengst, K-opname (kg ha⁻¹ jr⁻¹) en het K-gehalte in gras (% in drogestof) bij drie verschillende K-giften voor beweiden en maaien.

K-gift	beweiden			maaien		
	ds	K-opname	% K	ds	K-opname	% K
0	7830	170	2,17	8250	131	1,47
125	8780	268	3,05	9140	222	2,26
210	8460	283	3,35	9480	276	2,79

naar: [31]

Het K-gehalte in gras dat beweid wordt is hoger dan in gras dat gemaaid wordt, enerzijds doordat gras onder beweiden in een jonger stadium wordt geoogst en anderzijds door extra aanvoer van K met faeces en urine. Onder beweiding treedt bij de hoogste K-bemestingsniveaus een lichte opbrengstdaling op t.o.v. de lagere niveaus [4, 26]. Een antagonistische werking van K⁺ met andere kationen (Ca²⁺, Mg²⁺ en Na⁺) zou hiervan één van de oorzaken kunnen zijn [26].

Chevalier [34] vond in maaiproeven op leemgrond, dat het effect van K-bemesting afhankelijk is van de N-voorziening van het gewas (figuur 8). Bij lage N-giften verhoogde K-bemesting de grasopbrengst niet of nauwelijks en was N meer beperkend voor gewasgroei dan K. Bij hoge N-giften was wel K-bemesting nodig om een maximale opbrengst te halen. Ook hier verhoogde K-



Figuur 8. De relatie tussen K-gift, K-opname en drogestofopbrengst van gras bij vier N-giften: • 106, × 191, ○ 320, ▲ 450 $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ (naar: [34]).

bemesting de K-opname meer dan de opbrengst, zodat het K-gehalte steeg. Het hoogste K-gehalte dat bereikt werd, was 3,9%.

N-bemesting verhoogt, ook zonder K-bemesting, de K-opname door het gras (tabel 8). Er is dus wel meer K beschikbaar, maar blijkbaar beperkt de beschikbaarheid van N de K-opname. Dit suggereert dat een maximale K/N-verhouding bestaat.

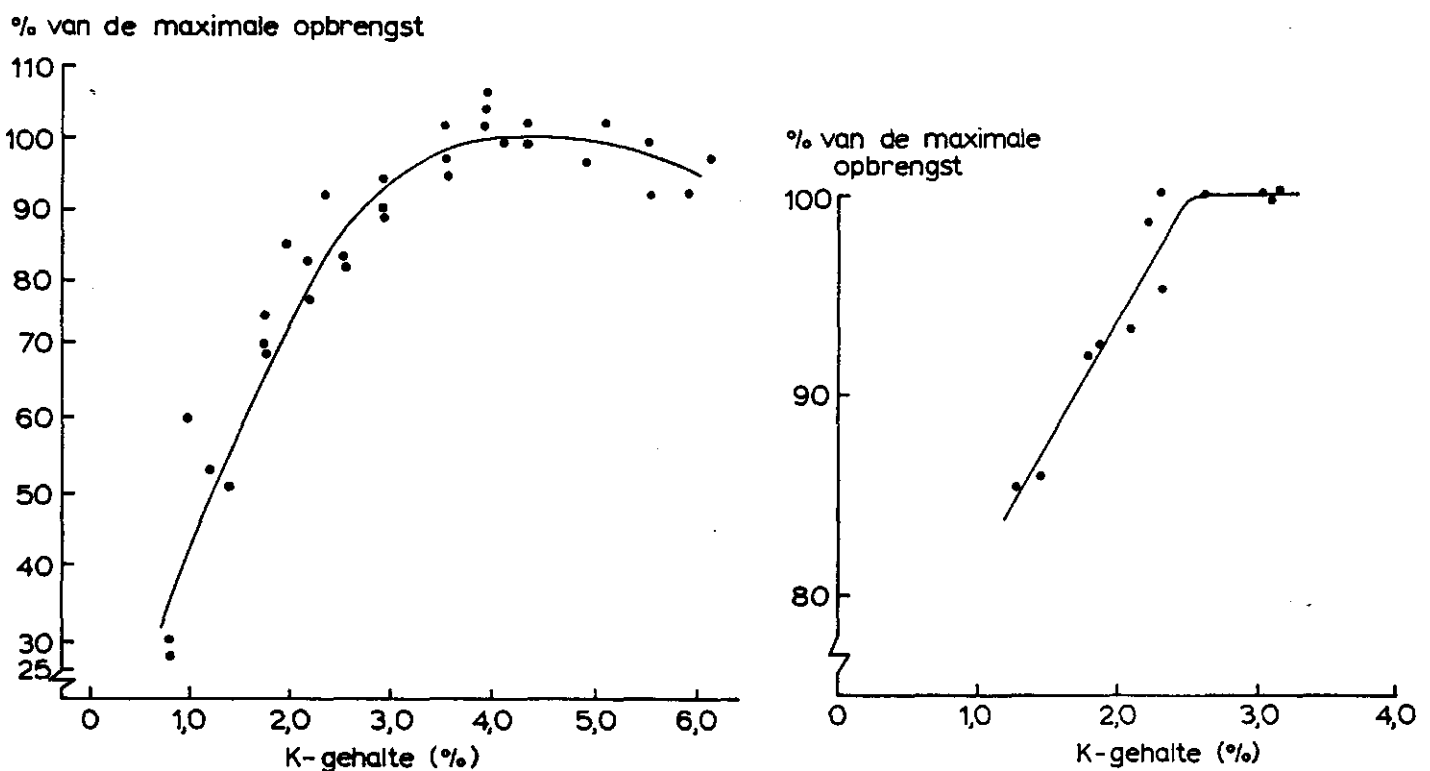
Tabel 8. Invloed van K- en N-bemesting ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) op het K-gehalte (% in drogestof) in gras.

K-gift	N-gift						
	0	40	80	120	160	200	240
0	2,10	2,30	2,47	2,51	2,85	2,71	2,52
85	2,42	2,81	3,04	3,29	3,68	3,47	3,47
165	2,42	2,96	3,41	3,54	3,83	3,92	3,88

naar: [16]

Hopper en Clement [23, 54] vonden in een veldproef, waarin ca. 300 kg N $\text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ gegeven werd, dat K-bemesting de drogestofopbrengst enigszins verhoogt, maar vooral invloed heeft op het K-gehalte. Bij een gift van 250 kg K $\text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ steeg de opbrengst t.o.v. de onbemeste behandeling van 9 naar 10 ton ds ha^{-1} en het K-gehalte van 1,9 naar 3,2%. Bij een opbrengst van ca. 95% van de maximale opbrengst was het K-gehalte 2% (figuur 9a).

Met het oog op risico's voor kopziekte pleiten Hopper en Clement voor een zodanige bemesting, dat het K-gehalte in het gras niet veel hoger wordt dan 2%. Ook Smith e.a. [63] hebben in een potproef met Engels raaigras de relatie tussen het K-gehalte en de drogestofopbrengst vastgesteld (figuur 9b). De overige nutrienten werden in een optimale concentratie toegediend met voedingsoplossing. Bij een opbrengst van 90 en 99% van het maximum was het K-gehalte respectievelijk 2,8% en 3,8%. In andere literatuur worden meestal lagere K-gehalten vermeld bij deze relatieve opbrengsten. Smith e.a. vermoeden dat in die gevallen N eerder limiterend is geweest dan K. In het traject van 90% tot 100% van de maximale opbrengst stijgt het K-gehalte sterk.



Figuur 9. De relatie tussen het K-gehalte van Engels raaigras en de drogestofopbrengst in procenten van de maximale opbrengst (bron: 9a. [54]; 9b. [63]).

Ter vergelijking is uit de resultaten van de verschillende al vermelde proeven het K-gehalte berekend bij de maximale opbrengst (100%) en bij 95

en 90% daarvan (tabel 9). Proeven waarbij niet duidelijk was of het maximale opbrengstniveau onder de betreffende omstandigheden was bereikt, zijn buiten beschouwing gelaten. De maximale drogestofopbrengst in elke proef is het opbrengstniveau waarbij niet K maar andere factoren beperkend zijn. De K-opname gaat nog door na het bereiken van de maximale drogestofopbrengst, zodat het K-gehalte nog stijgt. In tabel 9 is het laagst mogelijke K-gehalte bij 100% opbrengst gegeven en niet het maximale K-gehalte.

Tabel 9. De maximale drogestof opbrengst in $\text{ton ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ en het K-gehalte (% in drogestof) bij 100, 95 en 90% van deze opbrengst in verschillende proeven.

grasland- gebruik	bron	ds- opbrengst	K-gehalte			Opmerkingen
			100% ds	95% ds	90% ds	
maaien	[50]	14,0	3,4	2,6	2,2	drijf- + kunstmest
		13,5	3,2	2,3	2,1	alleen kunstmest
	[34]	12,9	3,6	3,1	2,9	leemgrond
	[31]	10,7	3,0	2,3	2,0	
	[23]	10,0	3,2	2,2	1,9	
	[31]	9,3	3,0	2,1	1,6	
beweiden	[31]	10,2	3,0	2,2	1,8	
		8,8	3,0	2,6	2,6	

Bij vergelijking van de verschillende gegevens valt ook hier op dat bij een verhoging van de opbrengst van 95 naar 100% het K-gehalte sterk stijgt en dus relatief veel K nodig is. De streefwaarde van ruim 2% zoals bepleit door Hopper en Clement klopt wel ongeveer voor situaties waarin de maximale opbrengst, dat is de opbrengst waarbij K niet beperkend is, ca. 10 $\text{ton ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ is, mits opbrengstverliezen tot 5% acceptabel zijn. Bij hogere maximale opbrengsten echter is de opbrengst tenminste 10% lager dan het maximum bij een K-gehalte van 2% (tabel 9). In alle proeven is gemaaid bij 2 000 tot 2 500 kg ds ha^{-1} , zodat de hogere K-gehalten bij de hoge opbrengsten niet toegeschreven kunnen worden aan het oogsten van het gras in een eerder ontwikkelingsstadium. In situaties waar de maximale opbrengst 10 tot 14 ton ha^{-1} is, moet het K-gehalte ca. 3,50% zijn om die opbrengst te realiseren. De K-gehalten bij 90 en 100% van de maximale opbrengst zijn wat lager dan die vermeld door Smith e.a., waarschijnlijk doordat het voornamelijk veldproeven betreft. In de potproeven zijn waarschijnlijk andere factoren beperkend voor een maximale produktie, omdat K daar minder ver wordt 'uitverdund'.

Voor de gezondheid van het vee zou het bij beweiding aan te bevelen zijn niet naar een maximale grasopbrengst te streven, maar juist daaronder te blijven, bv. op 95%. Het K-gehalte in de drogestof zou dan voor opbrengsten van 10 tot 14 ton ha^{-1} ca. 2,5% moeten zijn. Als sneden lichter of zwaarder dan 2 000-2 500 kg ha^{-1} worden geoogst, zou het K-gehalte respectievelijk wat hoger of lager moeten zijn. Uiteraard kunnen risico's voor kopziekte ook op een andere manier verminderd worden, b.v. door afstemming van de rantsoensamenstelling.

Tot nog toe zijn de K-gehalten steeds gemiddeld over het hele jaar. Voor het inschatten van risico's voor kopziekte bij het vee is juist het K-gehalte in de afzonderlijke sneden van belang. Van Dijk (ongepubl. gegevens) vond bij een hoge K-bemesting ($1020 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) een gemiddeld K-gehalte van 4,65%. In een aantal sneden waren de gehalten ruim boven de 5%, nl. 5,87 in de eerste en 5,15 in de derde snede. De N-gehalten waren 4,30 en 4,22% en de Mg-gehalten 0,32 en 0,26%. Uit figuur 6 is af te leiden dat de samenstelling van het gras in de eerste snede waarschijnlijk acceptabel was door het hoge Mg-gehalte, maar dat het in de derde snede onvoldoende de Mg-voorziening van het vee kon waarborgen. De totale K-opname was $670 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Ook bij een K-bemesting van $480 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ kwamen gehalten tegen de 5% in enkele sneden voor.

In veldproeven is gebleken dat de opbrengstverhoging door een éénmalige K-bemesting in het voorjaar voor het grootste deel in de eerste snede wordt gerealiseerd [27, 31]. Ter illustratie: bij een K-gift in het voorjaar van 190 kg ha^{-1} was de opbrengstverhoging $1590 \text{ kg ds ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Hiervan werd 48% gerealiseerd in de eerste snede, 52% in tweede en de derde snede en in de vierde snede was de opbrengst ongeveer gelijk aan die van het onbemeste object [27].

In een potproef, waarin N en K na elke snede werden toegediend, werd de opbrengstverhoging door K-bemesting vooral later in het seizoen gerealiseerd (tabel 10). De respons op K-bemesting in de eerste snede was gering doordat er voldoende K uit de bodem beschikbaar was.

Het K-gehalte in de eerste snede gras op het object zonder bemesting was wel beduidend lager, nl. 2,1 versus 4,1 % op het bemeste object. Bij de volgende sneden kon steeds minder K uit de bodem worden opgenomen, zodat een steeds groter K-gebrek en daarmee gepaard gaand, een opbrengstderving optrad. Deze resultaten wijzen er op dat een opbrengstverhoging door K-bemesting niet noodzakelijkerwijs in de eerste snede gerealiseerd hoeft te worden, maar dat dit afhankelijk is van de bemestingsstrategie en de K-

toestand van de bodem. In het veld zullen ook weersomstandigheden een regulerende rol spelen.

Tabel 10. Het verschil in drogestofopbrengst (g pot^{-1}), de procentuele verdeling van dit verschil over de sneden en de K-opname (g pot^{-1}) met en zonder K-bemesting. N-bemesting was in beide objecten $0,570 \text{ g pot}^{-1}$.

snede	opbrengstverschil		K-opname bij:	
	g ds pot^{-1}	%	0 g K pot^{-1}	$0,834 \text{ g K pot}^{-1}$
1	0,32	2*	0,230	0,457
2	2,59	13	0,155	0,596
3	2,28	11	0,098	0,556
4	4,40	22	0,068	0,563
5	10,33	52	0,061	0,833
totaal	19,90	100	0,611	3,004

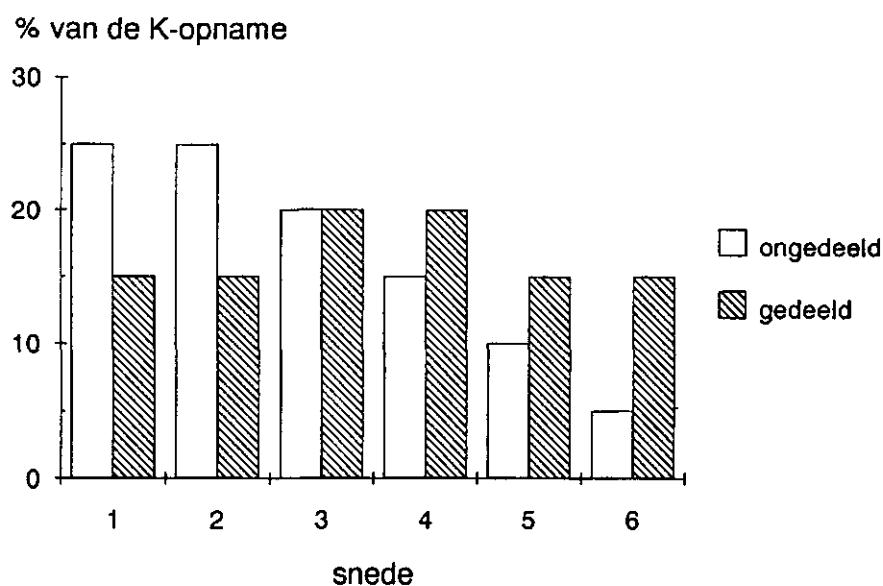
* niet significant
naar: [6]

4.2 Deling van de kaliumbemesting

Op zandgronden en K-fixerende gronden daalt bij maaien in de loop van het groeiseizoen het K-gehalte in het gras [26, 27, 31]. Bij éénmalige K-bemesting in het voorjaar is deze daling groter dan zonder bemesting. In de najaarssneden is er nauwelijks verschil meer in K-gehalte tussen wel en niet bemest grasland. Dit suggereert dat er in het voorjaar luxe-consumptie optreedt en dat het effectiever zou zijn de K-bemesting te delen, zodat de K gelijkmatiger over het groeiseizoen beschikbaar is.

In proeven had bij maaien het splitsen van de bemesting in een voorjaars- en een zomergift of een splitsing in drie giften, echter geen invloed op de totale jaarlijkse K-opname door het gewas noch op de totale jaarlijkse opbrengst [6, 26, 27, 31, 50]. Wel was het K-gehalte in het voorjaar lager en in de zomer wat hoger t.o.v. een ongedeelde gift, zodat het K-gehalte gedurende het groeiseizoen bij een gedeelde gift minder fluctueert [6, 26, 31, 50] (tabel 11).

In de proeven waarin K-bemesting na elke snede gegeven is, treedt nauwelijks daling van het K-gehalte in de loop van het seizoen op [6, 50]. Figuur 10 geeft de verdeling van de extra K-opname uit bemesting, over de verschillende sneden bij een éénmalige K-toediening door injectie van drijfmest in het voorjaar en bij een evenredige verdeling van kunstmest per snede [50].



Figuur 10. Procentuele verdeling over de sneden van de extra K-opname door bemesting bij gedeelde (kunstmest) en ongedeelde (geïnjecteerde drijfmest) K-bemesting (naar: 50).

Alle resultaten wijzen er op dat bij een éénmalige K-gift in het voorjaar in de loop van het groeiseizoen steeds minder K voor de plant beschikbaar komt, o.a. door luxe-consumptie in het voorjaar, en dat dit leidt tot een daling van het K-gehalte (tabel 11). Dit wordt ondersteund door de waarneming dat het K-getal in de bodem eenzelfde soort verloop vertoont als het K-gehalte in het gras bij een éénmalige gift [25, 31].

De minder grote fluctuaties in het K-gehalte en met name het lagere gehalte in het voorjaar kunnen argumenten voor deling van de K-gift zijn met het oog op risico's voor kopziekte. Dit wordt ook door de landbouwvoorlichting geadviseerd. Op K-fixerende gronden en op zandgronden zal het effect van een gedeelde K-gift het grootst zijn. In het eerste geval omdat K geïmmobiliseerd wordt en het tweede geval omdat de risico's voor uitspoeling groot zijn.

Onder beweiding treden slechts kleine verschillen in K-gehalte in de loop van het groeiseizoen op, waarschijnlijk als gevolg van uitscheiding van K in faeces en urine die verdeeld over het groeiseizoen plaats vindt. Door extra K-bemesting worden de fluctuaties in het K-gehalte wat groter, maar ze blijven kleiner dan bij maaien [31]. Slechts een deel van het oppervlak wordt met faeces of urine bedekt, zodat deling van de K-bemesting voor het niet bedekte deel nog wel een regelmatig verloop van het K-gehalte zou kunnen geven. Het K-gehalte van gras, vermeld in de literatuur, is meestal representatief voor een heel perceel, zodat de verschillen tussen wel en

Tabel 11. Invloed van gedeelde K-bemesting op het K-gehalte (in % in de drogestof) in het gewas gedurende het groeiseizoen.

[26]	K-bemesting (kg ha ⁻¹)			
	300	150/150	450	150/150/150
1e snede	2,79	2,43	2,97	2,67
2e snede	1,78	1,88	2,07	2,27
3e snede	1,57	1,61	1,88	1,97

[31]	K-bemesting (kg ha ⁻¹)			
	250	150/100	250/100	150/200
voorjaar	4,07	3,62	4,10	3,86
zomer	3,71	3,16	3,90	3,49
herfst	3,05	3,29	3,68	4,06

[50, 6]	K-bemesting		
	221 kg ha ⁻¹ ongedeeld	255 kg ha ⁻¹ gedeeld*	0,556 g gedeeld*
1e snede	3,16	2,85	3,58
2e snede	3,30	3,04	3,60
3e snede	2,64	2,62	3,92
4e snede	2,23	2,52	3,55
5e snede	1,87	2,38	3,57
6e snede	1,80	2,55	-
totaal	2,60	2,68	3,63

* elk snede K-bemesting

niet met faeces en urine bedekt gras weggemiddeld worden. De K-bemesting van beweid grasland is een combinatie van gedeelde en ongedeelde bemesting.

4.3 De invloed van beweiding op de verdeling van kalium binnen een perceel

Indien een perceel dag en nacht wordt beweid, komt globaal 85% van de K die door koeien wordt opgenomen, via urine weer terug op het land. Slechts 10% komt in de faeces terecht en 5% wordt afgevoerd in dierlijke produkten. Volgens het bemestingsadvies hoeft bij beweiding alleen bij de eerste snede K te worden toegediend (sectie 2). Als koeien 's nachts worden opgesteld, komt een deel van de mest in de kelder terecht en en wordt geadviseerd 75 kg K extra te geven [18]. Urine en faeces komen pleksgevijs in het perceel terecht. Per jaar wordt ca. 1/3 deel van het oppervlak met urine bedekt, zodat, als faeces en urine regelmatig over het perceel verspreid worden, elke drie jaar het hele perceel éénmaal met K wordt bemest. Op zandgronden is een jaarlijkse K-bemesting wenselijk. Als geen andere K-bemesting plaats vindt, ontstaan plekken met K-gebrek en dus opbrengstderving, en plekken met K-overmaat met risico's voor uitspoeling [27, 31]. Yeo [27] heeft op een intensief beweid perceel (6,25 koeien per ha, rotatie 24 dagen)

grasmonsters genomen en deze geklassificeerd naar groei en kleur in 'goed', 'matig' en 'slecht' gras. Deze monsters zijn per klasse geanalyseerd (tabel 12).

Tabel 12. Toestand van gras in relatie tot beschikbaar K in de bodem (mg l^{-1}).

klasse	% monsters	beschikbaar K
goed	50	203,2
matig	36	105,3
slecht	14	83,4

naar: [27]

Uit een regressie-analyse werd afgeleid, dat 15% van de variatie in de conditie van het gras toegeschreven kon worden aan de variatie in de K-voorziening. 'Slecht' gras kwam vooral voor op plekken die al lange tijd niet met urine of faeces bedekt waren. De ongelijke verdeling van K door beweiding verklaart dus ten dele het voorkomen van plekken met slecht gras. Als in beweide grasland kunstmest-K wordt toegediend, dan wordt het met urine bedekte deel overmatig bemest. Wordt dit nagelaten, dan ontvangt het deel dat niet met urine bedekt is, te weinig K en dat kan op den duur leiden tot slechte grasgroei door K-gebrek, zeker op zandgrond. Hierbij moet bedacht worden dat onder beweiding wel N-bemesting wordt geadviseerd, hetgeen de kans op K-gebrek vergroot.

In faecesplekken werd de grasproduktie verhoogd door de met faeces toegediende nutriënten. De K-opname steeg, maar het K-gehalte nauwelijks [42]. Volgens During e.a. [42] werd de K-toestand van de bodem niet beïnvloed door faeces, maar volgens MacDiarmid en Watkin [43] werd de hoeveelheid uitwisselbaar K sterk verhoogd in de bovenste laag. Deze discrepantie kan het gevolg zijn van verschillen tussen de hoeveelheid K die met faeces werd toegediend, respectievelijk 70 en 410 $\text{kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, verschillen in bodemeigenschappen en in de K-toestand van de bodem in de uitgangssituatie, die in de proeven van During e.a. lager was.

During en McNaught [41] hebben het K-gehalte van gras in en buiten urineplekken vergeleken (tabel 13). De K-dosering in de urineplekken was 258 kg ha^{-1} . De spreiding in de K-gehalten was groot. Uit deze gegevens blijkt dat transport in horizontale richting van K gering is. De K-recovery uit urine was 0,20 - 0,23 en verschilde niet significant van die van K toegediend als KCl. De K die niet opgenomen werd is waarschijnlijk verloren gegaan of later beschikbaar gekomen door uitspoeling of fixatie.

Tabel 13. Het K-gehalte van gras (% in de drogestof) 7 weken na toediening van urine (n=8).

afstand tot urineplek	% K
centrum	3,61
rand	3,51
2,5-7,5 cm	3,29
7,5-12,5 cm	3,05
25-33 cm	3,02

naar: [41]

Tallowin en Brookman [22] onderzochten de spreiding in K-gehalte van gras in beweide percelen. Het gemiddeld K-gehalte in het gras van een beweid perceel was in april, juli en september, respectievelijk 1,9, 1,9 en 1,7% . Voor aanvang van beweiding was de spreiding gering. In juli was het K-gehalte van het gras op 10% van het oppervlak lager dan 1,5% en op 25% van het oppervlak hoger dan 2,4%. In september was op 25% van het oppervlak het K-gehalte lager dan 1,5% en op 23% van het oppervlak hoger dan 2,2%. Onbegaasde, maar wel betreden plekken kwamen voor in de buurt van drinkwaterbakken, kampplaatsen en bij hekken. Naar deze plekken vond een netto transport van K via faeces en urine plaats. Het lage K-gehalte in sterk begraasde plekken duidt op K-gebrek.

Hopper en Clement [23] hebben door schapen beweide percelen pleksgewijs bemonsterd en ook zij vonden een grote variatie in K-gehalte in het gras. Bij een N-bemesting van $314 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ was de standaardafwijking, zoals te verwachten, groter dan zonder N-bemesting.

Het verschil in K-opname door het gewas tussen gemaaide en beweide percelen, van gemiddeld $35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, werd waarschijnlijk niet alleen veroorzaakt door recirculatie van K. Met urine vindt tevens een ruime N-bemesting plaats, die de K-opname door het gewas stimuleert. De K-toediening met faeces en urine was $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, zodat de benutting maximaal 17,5% was. Deze slechte benutting is waarschijnlijk het gevolg van de geconcentreerde pleksgewijze toediening.

Het bovenstaande duidt er op dat onder beweiding zonder K-bemesting pleksgewijs, tussen de urine en faeces plekken, K-gebrek op kan treden.

4.4 De relatie tussen kaliumgehalte en stikstofgehalte in gras

In gras zit voor rundvee vaak een overmaat aan K en dat kan de Mg-opname belemmeren (sectie 3.2). Bij elk N-gehalte in het gewas is voor een maximale grasproduktie een bepaald K-gehalte vereist. Geprobeerd is het K-

gehalte, dat zowel een goede Mg-voorziening voor het vee, als een goede grasopbrengst garandeert, vast te stellen als functie van het N-gehalte [17, 35, 38]. Sluijsmans [38] gaf de volgende formule voor de berekening van het K-gehalte in het gewas:

$$K_{\text{gewenst}} = (47,75 \cdot X_1 - 0,20 \cdot X_2 + 3,35 \cdot X_3 + 0,24 \cdot X_4 - 6,48 \cdot X_5 + 103,3) / 100$$

waarbij: X_1 = % N in de drogestof

X_2 = % kruiden in het bestand

X_3 = K-HCl in mg K₂O per 100 g grond

X_4 = Mg-NaCl in mg MgO per 100 g grond

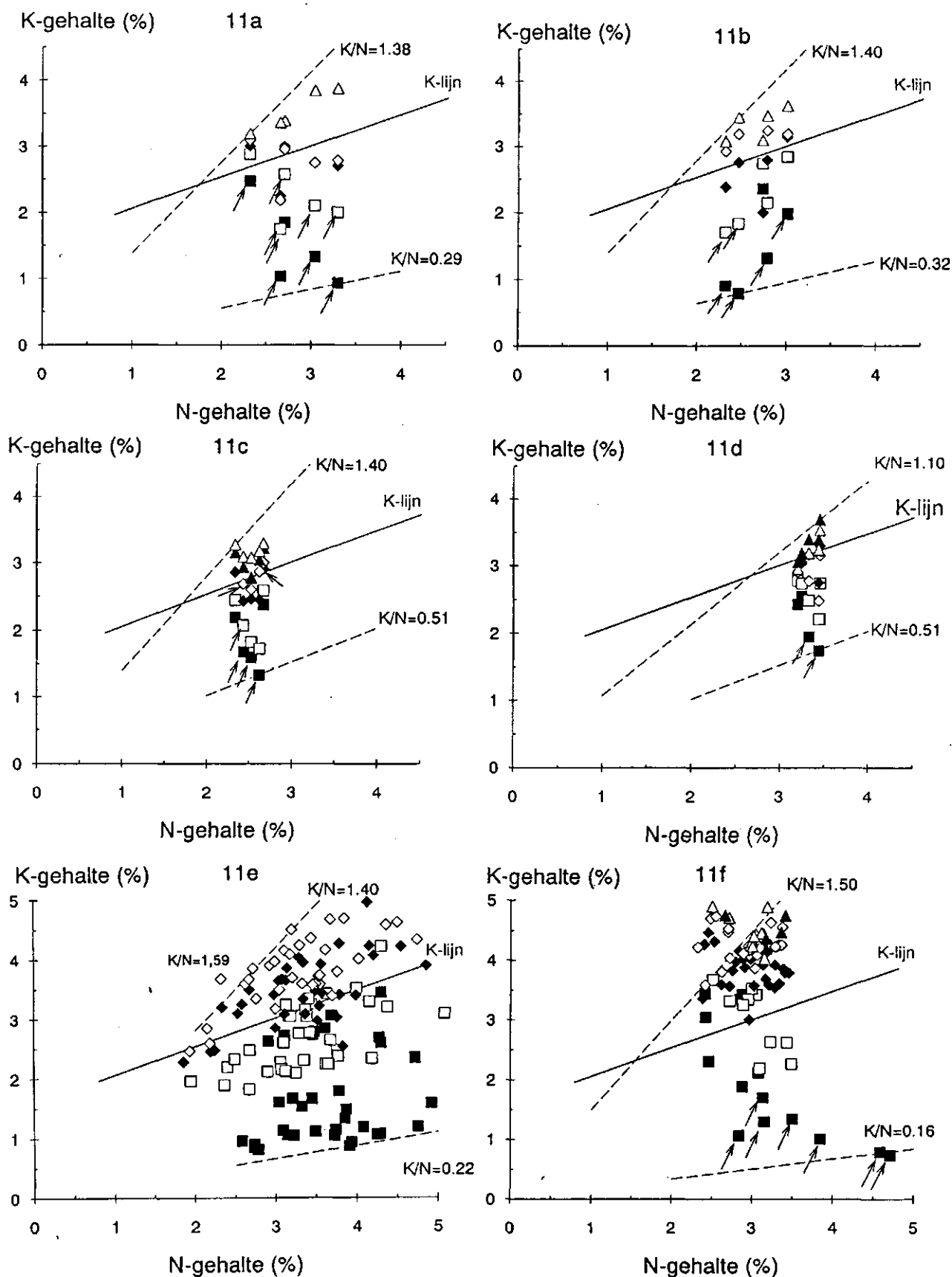
X_5 = % humus

Deze regressieformule is gebaseerd op de resultaten van het Bodem-Plant-Dier onderzoek in Borculo in 1959. Er werden 48 bodem- en gewasmonsters geanalyseerd, die gelijktijdig genomen waren op graslandpercelen op zandgrond. Het is moeilijk een uitspraak te doen over de betrouwbaarheid van deze formule, die gebaseerd is op slechts één jaar metingen op één plaats in Nederland. De correlatie-coëfficiënt tussen het K-gehalte in het gewas en enerzijds het N-gehalte in het gewas en anderzijds de hoeveelheid K in de bodem, was respectievelijk 0,70 en 0,47 [35]. Deze sterkere samenhang met het N-gehalte dan met de K-toestand van de bodem komt overeen met de resultaten van eerder vermelde experimenten, die aantonen dat de K-opname bij eenzelfde bemesting hoger is naarmate de N-opname hoger is. Ook dat duidt weer op een kritische K/N-verhouding.

Voor het bereiken van de maximale grasproduktie is, bij een N-gehalte van 3,2%, een K-gehalte gewenst van 2,91 - 3,32%, gemiddeld 3,11% [17]. Deze waarde ingevuld in de vergelijking volgens Sluijsmans geeft een restfaktor 158,2 die het effect van X_2 , X_3 , X_4 en X_5 verrekent. Hieruit kan het K-gehalte van het gras, waarbij geen opbrengstderving optreedt, bij verschillende N-gehalten, berekend worden. De relatie tussen het K- en het N-gehalte, afgeleid van Sluijsmans, wordt dan lineair:

$$\%K = (47,75 \cdot \text{N-gehalte} + 158,2) / 100 \quad [17]$$

Deze relatie is aangenomen voor N-gehalten tussen 1 en 5% [17]. In figuur 11 is deze vergelijking, die in het vervolg de K-lijn zal worden genoemd, grafisch weergegeven. Een hoger K-gehalte in het gras duidt op een overmatige K-beschikbaarheid en kan leiden tot moeilijkheden met de Mg-voorziening. Een lager K-gehalte leidt tot een opbrengstderving [17]. Voor proeven waarin zowel het N- als het K-gehalte van het gras is bepaald [6, [31, 50], zijn deze tegen elkaar uitgezet om te zien of de opbrengst



Figuur 11. Het N- en K-gehalte in gras (% in drogestof) en de hoogste en laagste gerealiseerde K/N-verhouding voor verschillende proeven op zandgrond vergeleken met de relatie volgens [17] (K-lijn).
 a. maaien, K-gift: ■ 0, □ 125, ◆ 210, ◇ 290, △ 375 kg ha⁻¹ jr⁻¹ [31];
 b. idem, andere lokatie [31];
 c. beweiden, K-gift: ■ 0, □ 40, ◆ 85, ◇ 125, △ 165, ▲ 210 kg ha⁻¹ jr⁻¹ [31];
 d. idem, als b. [31];
 e. kunstmest K-gift: ■ 0, □ 260, ◆ 520, ◇ 780 kg ha⁻¹ jr⁻¹ [50];
 f. potproef; K-gift: ■ 0, □ 1,39, ◆ 2,78, ◇ 4,17, △ 5,55 g pot⁻¹ [6];
 De pijlen geven objecten met opbrengstderving aan; in 11e opbrengstreduktie niet aan gegeven. In a t/m d zijn gemiddelde gehalten per jaar weergegeven, in e en f gehalten per snede voor alle proefjaren.

werkelijk lager is bij een K-gehalte beneden het volgens [17] gewenste (figuur 11a t/m f). Hierbij moet opgemerkt worden dat in de figuren 11a t/m d K- en N-gehalten gemiddeld over het jaar zijn weergegeven, zodat in werkelijkheid om deze punten nog enige spreiding zal liggen, en in 11e en f N- en K-gehalten voor elk proefjaar per snede.

Voor de proeven van Oostendorp en Harmsen is met een breedtetoeets (95% betrouwbaarheidsinterval) nagegaan in welke objecten de opbrengsten significant van elkaar verschilden [31]. In de figuren 11a t/m d zijn met pijlen de objecten, waarvan de opbrengst significant van de hoogste opbrengst verschildte, aangegeven. Voor de gegevens gebruikt in figuur 11e was in vijf van de zes proefjaren de jaaropbrengst van het onbemest object en in één van de zes proefjaren de jaaropbrengst met een K-gift van 260 kg ha⁻¹ jr⁻¹ meer dan 5% lager dan de hoogste opbrengst van het betreffende proefveld. Dit is in figuur 11e niet aan te geven, omdat daar de gehalten per snede in staan. In figuur 11f zijn de objecten waarvan de opbrengstderiving meer dan 5% was, aangegeven. Deze gegevens waren per snede beschikbaar.

Uit deze figuren kan worden afgeleid, dat het uit [17] afgeleide K-gehalte om opbrengstreduktie te voorkomen, zowel bij maaien als bij beweiden ruim genomen is, hoewel opbrengstredukties kleiner dan 5% veelal niet significant waren in deze proeven. De punten onder de lijn die geen significant lagere opbrengst gaven, kunnen in werkelijkheid toch een opbrengst hebben gehad die enige procenten lager was dan de maximale. Deze resultaten illustreren nog eens, dat K-bemesting boven een basishoeveelheid die varieert naar gelang de omstandigheden, vooral stijging van het K-gehalte tot gevolg heeft en nauwelijks toename in drogestofopbrengst. In figuur 11 en in tabel 14 is voor deze proeven de laagste en de hoogste K/N-verhouding in het gras gegeven.

Tabel 14. De laagste en de hoogste K/N-verhouding bij maaien en beweiden in verschillende bemestingsproeven.

bron	gebruik	K/N-verhouding		figuur
		laagste	hoogste	
[31]	maaien	0,29	1,38	11a
		0,32	1,40	11b
	weiden	0,51	1,40	11c
		0,51	1,10	11d
[50]	maaien	0,22	1,59	11e
[6]	maaien	0,16	1,96	11f

De laagste K/N-verhouding trad op als geen K-bemesting werd gegeven.

In de proeven van Oostendorp en Harmsen [31] werd na vijf jaar in het onbemeste object een K/N-verhouding waargenomen van ca. 0,30. Onder beweiding daalde de K/N-verhouding minder ver dan onder maaien, omdat K uit faeces en urine beschikbaar is.

In de andere, één jaar durende proeven daalde de K/N-verhouding bij hoge N-bemesting tot 0,16 [6] en 0,22 [50].

De hoogst waargenomen K/N-verhouding was 1,96 in een potproef [6]. De puntenwolk met een K/N-verhouding hoger dan 1,5 in figuur 11f heeft betrekking op de vijfde snede en een hoge K-bemesting. Deze hoge K/N-verhouding zou het gevolg kunnen zijn van de hoge transpiratie, als gevolg van hoge temperaturen tijdens de proef in juli/augustus. Het lijkt erop dat in extreme situaties, waarin de wateropname door een hoge transpiratie sterk wordt gestimuleerd en bij een overmaat aan K, K passief wordt opgenomen en dat de plant geen mechanisme bezit om dat te reguleren. In het veld zal deze situatie niet snel optreden, omdat de watervoorraad bij hoge temperaturen vaak sneller is uitgeput en de overmaat aan K veelal minder groot zal zijn. In veldproeven was de hoogste K/N-verhouding 1,50 [31]. In de proeven van Van Dijk [50] was de hoogste K/N-verhouding 1,59 voor één punt. Een K/N-verhouding van ca. 1,4 kwam vaker voor.

Om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen het N-gehalte en het K-gehalte in gras, zouden meer proeven geanalyseerd en uitgevoerd moeten worden.

4.5 De relatie tussen kaliumgehalte en magnesiumgehalte in gras

Magnesium wordt door de plant opgenomen als Mg^{2+} . Het heeft met K^+ en Ca^{2+} een functie bij de zwelling van celcolloïden, het is een bestanddeel van chlorofyl, het zit organisch gebonden in fytine en pectinestoffen, het activeert een groot aantal enzymen en beïnvloedt daarmee de stofwisseling, het speelt een rol bij de eiwitsynthese uit aminozuren. Bij opname concurreert Mg^{2+} met K^+ , Na^+ , Ca^{2+} en NH_4^+ en het kan worden geredistribueerd. Het Mg-gehalte van een grasgewas is afhankelijk van bodemsoort, bemesting, botanische samenstelling, groeistadium en klimaat [4].

Bij tekort wordt Mg zoveel mogelijk gereserveerd voor chlorofyl om de assimilatie niet te belemmeren. De eiwitsynthese is het eerste proces dat geremd wordt en dit veroorzaakt een toename aan oplosbare N-verbindingen,

zoals aminozuren, in de plant. Omdat Mg in de plant mobiel is, vertonen de oude bladeren het eerst gebreksverschijnselen [4].

De Mg-concentratie in de bodemoplossing varieert meestal tussen 25 en 200 ppm, concentraties die ruim voldoende zijn om een voldoende aanvoer naar de plant via massastroming te waarborgen. Mg-gebrek komt af en toe voor op licht-zure zandgronden. Op deze gronden zit weinig uitwisselbaar Mg in de bodem door de geringe adsorptiecapaciteit en de preferentie voor Al^{3+} en H^+ boven Mg^{2+} . Mg-opname door de plant wordt belemmerd door de aanwezigheid van H^+ -ionen. Bekalking kan in dat geval de Mg-opname iets verhogen. Mg-verliezen door uitspoeling bedragen, afhankelijk van de omstandigheden 10-70 kg $\text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ [4].

Bemesting met Mg met het oog op gezondheid van het vee om het Mg-gehalte in het gras op peil te brengen, is op zware gronden veelal onvoldoende. Op zandgrond is meer effect te verwachten van Mg-bemesting, maar daar wordt vaak ook veel K gegeven, waardoor de Mg-opname negatief beïnvloed wordt [16]. Het Mg-gehalte in het gras loopt terug met toenemende K-bemesting, zelfs bij een hoog Mg-aanbod in de bodem [1, 5, 31].

Uit tabel 15 blijkt dat ook in beweide grasland het Mg-gehalte van het gras lager is als met K wordt bemest [31].

In dit onderzoek nam het aantal beweidingsperioden waarin het Mg-gehalte van het gras lager was dan 0,2% duidelijk toe door K-bemesting. Het Mg-gehalte in de veengrond was heel hoog, maar toch was bij K-bemesting in 25% van de beweidingsperioden het Mg-gehalte in het gras laag. Het Mg-gehalte van de twee zandgronden was lager dan 90 ppm en dus zou volgens het bemestingsadvies een bemesting met 30-60 kg Mg per ha gewenst zijn geweest. Nu die niet werd gegeven, was een laag Mg-gehalte in het gras te

Tabel 15. De gemiddelde K- en Mg-gehalten in gras onder beweiding op verschillende grondsoorten bij K-giften van 0 en 210 kg $\text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ en het percentage beweidingsperioden waarin het Mg-gehalte lager was dan 0,2%. Tevens is het MgO-gehalte in de bodem vermeld (ppm).

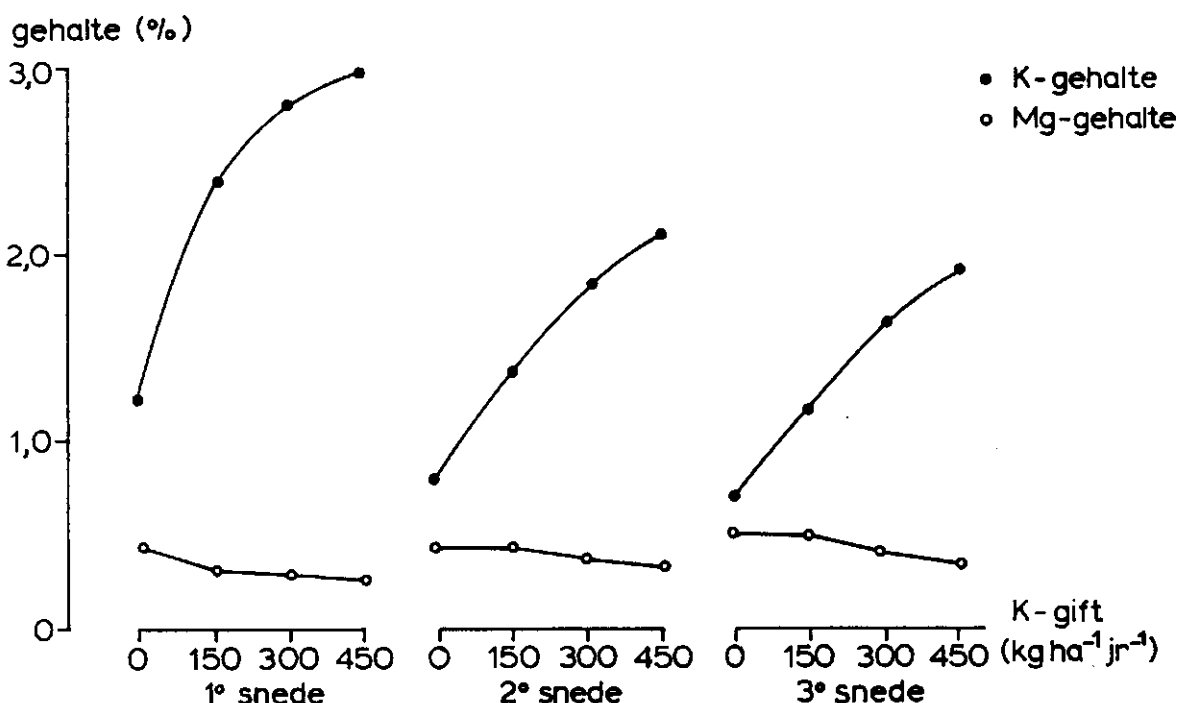
	MgO-gehalte bodem	0 K			210 K		
		%K	%Mg	%perioden <0,2% Mg	%K	%Mg	%perioden <0,2% Mg
veengrond	328	1,46	0,29	0	2,82	0,22	25
zandgrond 1	42	1,83	0,22	16	3,19	0,16	92
zandgrond 2	50	2,17	0,24	12	3,35	0,20	40

naar: [31]

verwachten. Het effect van de K-bemesting was ook bij deze lage Mg-gehalten duidelijk.

Figuur 12 illustreert ook dat bij toenemend K-gehalte in het gewas het Mg-gehalte afneemt [26]. Doordat op deze in grond de bodemvoorraad Mg groot was, daalde het Mg-gehalte in het gras niet beneden 0,25% [26]. De hoogste Mg-gehalten worden steeds gerealiseerd als geen K-bemesting is gegeven.

In figuur 13 zijn voor twee proeven de K- en Mg-gehalten in gras van verschillende objecten tegen elkaar uitgezet [6, 50]. Uit de figuur blijkt dat, bij een gegeven K-gehalte in het gras op objecten die met drijfmest- en kunstmest-K waren bemest, het Mg-gehalte hoger was dan op objecten die alleen met kunstmest waren bemest. Dat is een gevolg van de in drijfmest aanwezige Mg. Bij hoge drijfmestgiftten was het Mg-gehalte hoger dan bij lage giftten (figuur 13b). In hoofdstuk 2 is al vermeld dat bij een K-gehalte van ca. 3% en een N-gehalte van ca. 3,2%, 0,2% Mg in het gras voldoende is om aan de Mg-behoefte van het dier te voldoen. In de vermelde

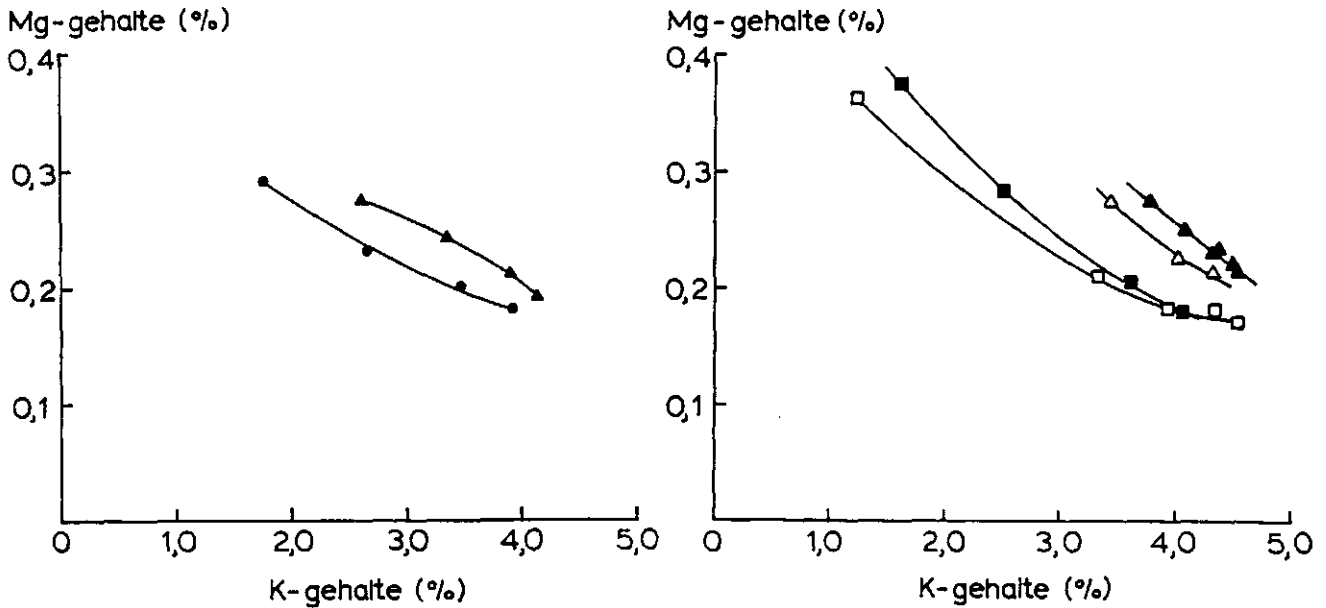


Figuur 12. De K- en Mg-gehalten per snede bij verschillende K-giften (naar: [26]).

proeven waren de N- en K-gehalten veelvuldig hoger, zodat Mg-gebrek al bij een hoger Mg-gehalte zal optreden.

De grens van 0,2% Mg werd bij toediening van alleen kunstmest bereikt bij een K-gehalte van 3,5 tot 3,7% (figuur 13b). Bij combinatie met drijfmest is het Mg-gehalte dan nog 0,24-0,28%. Drijfmest vermindert dus het gevaar voor kopziekte, waarschijnlijk door de toediening van extra Mg. Het is uit

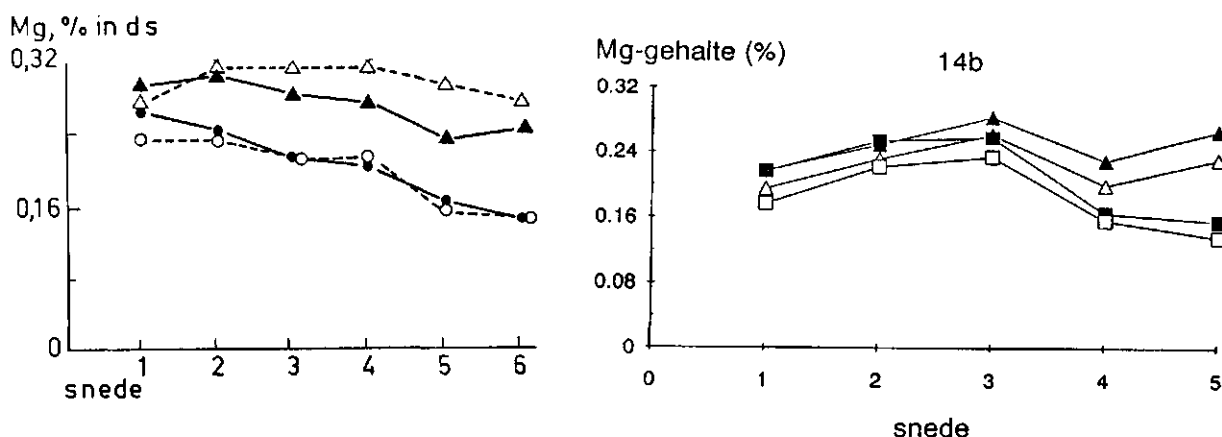
Deze proeven niet af te leiden of Mg-bemesting met kunstmest hetzelfde effect zou opleveren.



Figuur 13. De relatie tussen de K- en Mg-gehalten in gras van objecten in bemestingsproeven. De getallen zijn gemiddeld per jaar, in % van de drogestof. a. ● oplopende giften kunstmest-K, ▲ injectie 40 ton drijfmest + zelfde kunstmest-K giften [50]; Beide objecten tevens >400 kg N; b. ▲ 1,392 g drijfmest-N pot⁻¹, △ 2,783 g drijfmest pot⁻¹, ■ 1,425 g N pot⁻¹, □ 2,850 g N pot⁻¹ [6].

Ook N-bemesting beïnvloedt het Mg-gehalte in het gewas (figuur 13b). Bij hoge N-bemesting was het Mg-gehalte lager bij hetzelfde K-gehalte dan bij lage N-bemesting. Dit verschil neemt af bij toenemend K-gehalte.

Deze gegevens hebben betrekking op gemiddelden per jaar, terwijl voor de gezondheid van het dier de gehalten van de individuele sneden van belang zijn. In figuur 14 is het Mg-gehalte per snede bij een bepaald K-niveau gegeven. Uit zowel figuur 14a als b blijkt dat bij toediening van drijfmest het Mg-gehalte het hele jaar hoger was dan 0,20%. Ook hier geldt dat bij hoge K- en N-gehalten 0,20% Mg niet voldoende is. Bij toediening van alleen kunstmest (N en K), daalde het Mg-gehalte tot 0,14-0,15 in de laatste snede. Bovendien lagen bij hogere K-bemestingen de lijnen in de figuur lager en bij lagere hoger. In de potproef was het verloop van het Mg-gehalte grilliger dan in de veldproef. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door variatie in het K-aanbod, maar het effect van drijfmest is hetzelfde. Het Mg-gehalte gemiddeld over het jaar alleen is dus geen betrouwbare maat voor



Figuur 14. Het Mg-gehalte per snede (% in de drogestof) [50]: a. Δ geen K-bemesting, ▲ injectie 40 ton drijfmest, ○ 250 kg kunstmest-K, ● injectie 40 ton drijfmest + 250 kg kunstmest; alle objecten ontvingen meer dan 400 kg N ha⁻¹; [6] zie figuur 13.

het inschatten van gevaren voor kopziekte.

Op zandgronden kan een positief effect van Mg-bemesting verwacht worden, als de K-toestand van de grond niet hoger is dan 'voldoende'. Bij zware N-bemesting daalt het aandeel kruiden en klavers in het bestand en heeft het totaal een lager Mg-gehalte [5]. Hoewel Kemp en Geurink [60] vermelden dat Mg-bemesting minstens 60 kg ha⁻¹ jr⁻¹ moet zijn om effect te hebben, blijkt uit figuur 14 dat toediening van drijfmest het Mg-gehalte van het gras verhoogd. Op kleigrond is het effect kleiner. Pogingen het Mg-gehalte in gras via Mg-bemesting te verhogen bieden beperkte perspectieven bij het huidige intensieve graslandgebruik met een hoge jaarlijkse grasproductie en oogsten in een jong stadium [5, 60]. Het Mg-gehalte van het gras is sterker te beïnvloeden door de K-bemesting. Bij een lage K-bemesting is het Mg-gehalte hoger dan bij een hoge K-bemesting.

4.6 Samenvatting

De respons van een grasgewas op K-bemesting is afhankelijk van de hoeveelheid K in de bodem en de voorziening met andere nutriënten, met name N.

Na het bereiken van de maximale drogestofopbrengst, dat is de opbrengst waarbij niet de beschikbaarheid van K maar andere factoren beperkend zijn, gaat de K-opname nog door, zodat het K-gehalte stijgt. De K/N-verhouding steeg in verschillende veldproeven tot 1,5.

Bij een beperkte hoeveelheid beschikbaar K en een goede voorziening met andere nutriënten, kan het K-gehalte lage waarden bereiken (0,75% in de

drogestof). De K/N-verhouding daalde in veldproeven tot ca. 0,3 en in een potproef zelfs tot 0,15. Deze lage K/N-verhoudingen gingen wel gepaard met een opbrengstreduktie. Het aantal geanalyseerde proeven is te klein om aan deze cijfers conclusies te verbinden.

Verhoging van de opbrengst van 95 naar 100% van de maximaal haalbare, resulteert in een sterke stijging van het K-gehalte, leidt tot verminderde opname van Mg door het gras en dus een lagere absorptie Mg door het dier. Dit effect is sterker als tevens hoge N-gehalten voorkomen. Bij hoge N-giften is het Mg-gehalte, bij eenzelfde K-gehalte, lager dan bij lage N-giften. Toediening van K met drijfmest verhoogt het Mg-gehalte van het gras t.o.v. K-toediening met kunstmest, waarschijnlijk doordat drijfmest ook Mg bevat.

Voor de gezondheid van het dier zou het bij beweiding aan te bevelen zijn, voor wat betreft een goede K-voorziening, niet naar een maximale opbrengst te streven maar daar enkele procenten onder te blijven. Andere manieren om kopziekte te vermijden zijn Mg-rijke brok bijvoeren en vóór inscharen het gras bestuiven met MgO.

Deling van de K-bemesting heeft weinig effect op de opbrengst en de totale jaarlijkse K-opname. Door de gelijkmatiger verdeling van het aanbod, vergeleken met een éénmalige gift in het voorjaar, varieert het K-gehalte binnen een seizoen veel minder. Beweiding heeft eenzelfde effect, zij het wat minder sterk, omdat er als het ware een continue overbemesting plaats vindt.

Een ander effect van beweiding is de heterogene verdeling van K met faeces en urine. Het bemestingsadvies voor beweide grasland is laag en waarnemingen in veldproeven duiden erop dat het gras dat niet met urine of faeces bedekt wordt, K-gebrek heeft.

5. DE KALIUMKRINGLOOP OP GRASLAND

In dit hoofdstuk wordt geprobeerd op basis van de verzamelde literatuurgegevens en aanvullende berekeningen, een overzicht te geven van de K-huishouding op grasland. Het schema, zoals in figuur 1 gegeven, wordt voor de graslandgebruikswijzen zomerstalvoeding en onbeperkt omweiden, beide op twee produktieniveaus, gekwantificeerd. In sectie 5.1 worden algemene uitgangspunten weergegeven en in de volgende secties wordt de K-huishouding voor de twee verschillende situaties verder uitgewerkt.

5.1 Uitgangspunten

De K-stromen in grasland worden berekend met een graslandbeheersmodel, dat ontwikkeld is voor kwantificering van nutriëntenstromen in het bodem-grasdier-systeem en vooralsnog alleen voor N en K is uitgewerkt [56]. Om het model te kunnen gebruiken moeten de volgende karakteristieken gedefinieerd en gekwantificeerd worden: de graslandgebruikswijze (zomerstalvoeding, beperkt omweiden of onbeperkt omweiden), de bruto-drogestofproduktie en het maaipercentage. In de berekeningen wordt uitgegaan van een volledig grasrantsoen, zowel voor zomerstalvoeding als voor beweiden. Met name bij zomerstalvoeding is een meer uitgebalanceerd rantsoen gemakkelijk te realiseren door andere voedergewassen, zoals snijmaïs of voederbieten, bij te voeren. In deze studie is dat buiten beschouwing gelaten.

Het K-gehalte in melk en vlees (levend gewicht) is respectievelijk 0,15 [19] en 0,174% [57]. Het weideseizoen is op 180 dagen gesteld. De gewichtstoename van een koe is geschat op 35 kg jr^{-1} en het gewicht van een kalf op 40 kg [57]. De jaarlijkse gewichtstoename is dus 75 kg koe^{-1} en deze wordt in de berekeningen gelijkelijk verdeeld over de zomer- en de winterperiode. De melkproduktie in de weideperiode is gesteld op gemiddeld 20 kg per koe per dag. Voor op 1 februari afkalvende koeien komt dat overeen met een jaarproduktie van 6 700 kg [21].

Aangenomen is dat de hoeveelheid K in wortels en stoppels constant is over de jaren, zodat er elk jaar evenveel wordt vastgelegd als er vrij komt door afsterving van die plantendelen.

De verschillen tussen de graslandgebruikswijzen hebben betrekking op verschillen in oogststadium, in oogst- en beweidingsverliezen en in de hoeveelheden mest en urine die in het veld terecht komen. De faeces- en urineplekken kunnen elkaar overlappen, zodat sommige delen van het veld meerdere malen met urine en/of faeces worden bedekt. Aangenomen is, dat de gemiddelde beïnvloede oppervlakte van urine- en faecesplekken

respectievelijk 0,68 en 0,08 m² is en dat 12 urine- en faeceslozingen per koe per dag plaats vinden, waarvan er twee tijdens het melken in de stal terecht komen. De veebezetting bepaalt hoe groot het totale oppervlak per ha is dat door faeces en urine bedekt wordt.

De drogestofopbrengst bepaald de N-behoefte. De N-opname wordt berekend uit een in het model gedefinieerde relatie tussen drogestofopbrengst en N-opname. Het gewenste K-gehalte kan berekend worden uit het N-gehalte (zie sectie 4.4) volgens de formule:

$$\% K = (47,75 * \% N + 158,2)/100 \text{ [17]}$$

Uit het K-gehalte kan de gewenste K-opname berekend worden. De werkelijke K-opname kan berekend worden uit de K-levering door de bodem, de K-bemesting en de K-recovery. Door beide uitkomsten met elkaar te vergelijken is af te leiden of in een bepaalde situatie K-overmaat of K-gebrek optreedt.

Een uitgebreide beschrijving van de rekenregels zoals gebruikt in het graslandbeheersmodel is in voorbereiding [56].

In tabel 16 is te zien dat de totale jaarlijkse K-vastlegging in produkten van ca. 10 kg koe⁻¹ laag is en dat het overgrote deel daarvan in melk wordt afgevoerd. Alle door het dier opgenomen K die niet wordt vastgelegd, wordt uitgescheiden in mest (10%) en in urine (90%).

Tabel 16. De vastlegging van K in melk en vlees (groei + kalf) in de zomer- en de winterperiode en totaal (kg koe⁻¹).

	melk	vlees	totaal
zomer	5,40	0,06	5,46
winter	4,65	0,06	4,71
totaal	10,05	0,12	10,17

De adviesbemesting voor kalium is gebaseerd op de K-toestand van de bodem (sectie 2.3). In de zandgebieden heeft 43% van de gronden een te hoge, 23% een te lage en 34% een voldoende tot ruim voldoende K-toestand (tabel 17).

De berekeningen in dit hoofdstuk hebben betrekking op een zandgrond met een K-toestand 'voldoende'. Bij de toestand 'ruim voldoende' wordt slechts één jaar volgens de daarvoor geldende richtlijn bemest, waarna wordt overgegaan op de bemesting voor de toestand 'voldoende' voor tenminste vier jaar.

In de proeven van Oostendorp en Harmsen [31] en Van Dijk [50] varieerde de K-levering door de bodem bij de K-toestand 'voldoende' van 95 tot 250 kg

$\text{ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. In de berekeningen, zoals in dit hoofdstuk vermeld, is het gemiddelde hiervan, $175 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, aangehouden.

Tabel 17. Beoordeling van de K-toestand van grasland in de zandgebieden (percentages van ontvangen grondmonsters in 1985-1986 met lage of hoge K-toestand). Laag: K-getal <16 , hoog: K-getal >35 .

	laag	hoog
Noordelijk zandgebied	32	26
Oostelijk zandgebied	23	43
Centraal zandgebied	16	58
Zuidelijk zandgebied	20	46
rekenkundig gemiddelde	23	43

bron: [47]

5.2 Maaien voor zomerstalvoeding

Gras gebruikt voor zomerstalvoeding wordt gemaaid bij een drogestof-opbrengst van $2\ 300 \text{ kg ha}^{-1}$. In tabel 18 en figuur 15 zijn de resultaten van de berekeningen met het graslandbeheersmodel samengevat.

De gekozen bruto-opbrengstniveaus voor gras zijn $9\ 000$ en $13\ 000 \text{ kg ds ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. De gewenste K-gehalten volgens [17] zijn respectievelijk $2,66$ en $3,00\%$. De gewenste K-opname door het gras is dan respectievelijk 239 en $389 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ (tabel 18-1).

De K-levering door de bodem is $175 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Bemesting vindt plaats volgens het advies. Voor een bodem met de waardering 'voldoende' wordt bij maaien een K-gift van 83 kg ha^{-1} voor de eerste snede en van 58 kg ha^{-1} voor elke volgende lichte snede ($2\ 500 \text{ kg ha}^{-1}$) geadviseerd [18]. Voor een opbrengst van $9\ 000 \text{ kg ha}^{-1}$ komt dit neer op een K-gift van 252 en voor $13\ 000 \text{ kg}$ op $352 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ (tabel 18-2). De K-depositie wordt geschat op $9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ [20].

De K-recovery voor kunstmest- en drijfmesttoepassing op zandgrond is bij een goede N-voorziening gesteld op $0,7$ (sectie 2.3). De K-opname uit bemesting is dan respectievelijk 176 en $246 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Aangenomen wordt dat van de K-depositie ca. $2/3$ in het groeiseizoen opgenomen kan worden. Uitgaande van deze situatie zou bij een produktie van $9\ 000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ de totale K-opname door het gras $357 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ worden. Uit literatuur (sectie 4.4) blijkt dat de K/N-verhouding in gras niet onbeperkt stijgt en maximaal $1,5$ is. Bij deze K/N-verhouding is de maximale K-opname 305 kg

Tabel 18. Resultaten van de berekeningen voor de K-kringloop op grasland bij zomerstalvoeding voor twee opbrengst-niveaus. De K-opname is op twee manieren berekend (1 en 2 in de tabel). Toelichting zie tekst.

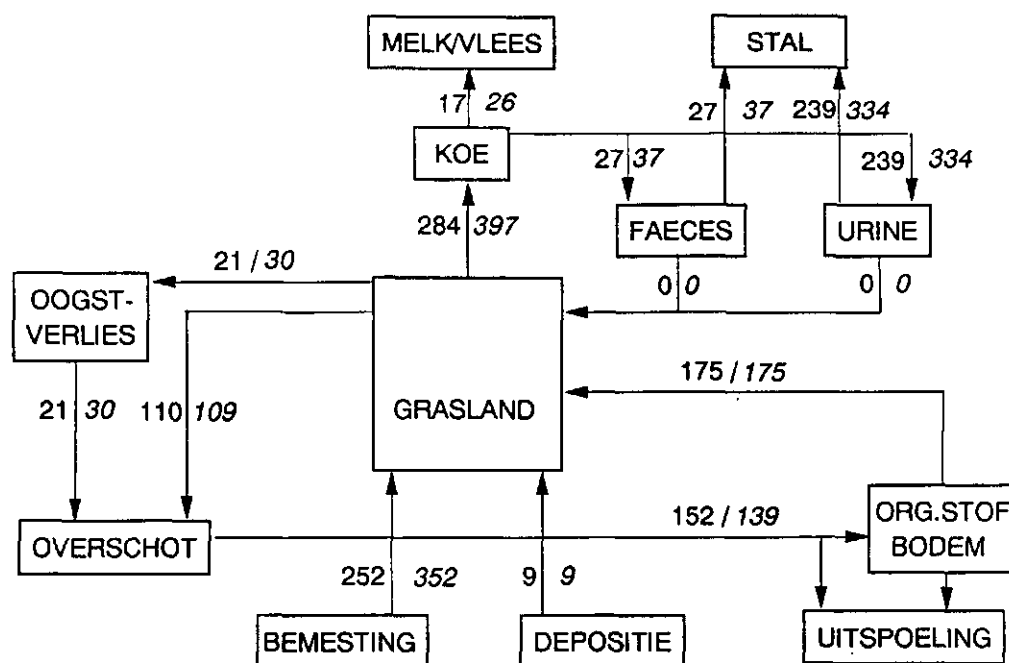
1. bruto ds-opbrengst	kg ha ⁻¹	9 000	13 000
N-opname gras	kg ha ⁻¹	203	385
N-gehalte	%	2,26	2,96
K-gehalte [17]	%	2,66	3,00
K-opname gras	kg ha ⁻¹	239	389
2. K-toevoer naar gras			
- bodem	kg ha ⁻¹	175	175
- K-bemesting	kg ha ⁻¹	252	352
- depositie	kg ha ⁻¹	9	9
totaal	kg ha ⁻¹	436	536
K-opname door gras uit:			
- bodem	kg ha ⁻¹	175	175
- bemesting	kg ha ⁻¹	176	246
- depositie	kg ha ⁻¹	6	6
totaal	kg ha ⁻¹	357	427
K-opname bij K/N=1,5	kg ha ⁻¹	305	nvt*
K-gehalte	%	3,39	3,28
verschil K-toevoer en			
K-opname gras	kg ha ⁻¹	131	109
K in oogstverlies (7%)	kg ha ⁻¹	21	30
K-overschot	kg ha ⁻¹	152	139
K opname vee (93%)	kg ha ⁻¹	284	397
K uitgescheiden in:			
- melk, groei + kalf	kg ha ⁻¹	17	26
- urine	kg ha ⁻¹	239	334
- faeces	kg ha ⁻¹	27	37

* niet van toepassing

ha⁻¹ jr⁻¹. De N-voorziening van het gras is in dit geval beperkend voor de K-opname. Er is ruim 50 kg K meer beschikbaar dan door het gras kan worden opgenomen en deze hoeveelheid blijft in de bodem achter. Het K-gehalte in het gras is 3,39% en ligt ruim boven het gewenste K-gehalte van 2,66%. In deze situatie wordt dus een overmaat aan K-bemesting gegeven.

Bij een produktie van 13 000 kg ha⁻¹ jr⁻¹ is de totale K-opname door het gras 427 kg ha⁻¹ jr⁻¹ en de maximale K/N-verhouding van 1,5 wordt in dit geval niet bereikt. Het K-gehalte van 3,28% is wat hoger dan het gewenste K-gehalte van 3,00%, zodat een lichte overmaat aan K-bemesting wordt gegeven.

Het verschil tussen de K-toevoer naar het gras en de K-opname door het gras wordt aan de post overschot toegerekend. Voor de produkties van 9 000 en 13 000 kg ha⁻¹ jr⁻¹ is dat respectievelijk 131 en 109 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Het oogstverlies, dat is K die wel door het gras maar niet door het vee wordt



Figuur 15. Schema van de K-kringloop op grasland bij maaien voor zomerstalvoeding van melkvee voor een drogestofproduktie van 13 000 (cursief) en 9 000 kg ha⁻¹ jr⁻¹ (recht). Getallen in kg ha⁻¹ in het weideseizoen.

opgenomen en dus in het veld achter blijft, is respectievelijk 21 en 30 kg K ha⁻¹ jr⁻¹. Het totale K-overschot komt daarmee op respectievelijk 152 en 139 kg ha⁻¹ jr⁻¹.

De K-levering door de bodem is 175 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Het overschot vult dat niet helemaal aan en in dit geval is er op de lange termijn dus sprake van uitputting van de bodem, waardoor in de loop van een aantal jaren de K-levering door de bodem terug zal lopen. Zodra echter de K-toestand van de bodem beneden de waardering 'voldoende' komt, moet extra K-bemesting plaats vinden.

Het is mogelijk dat een deel van het overschot niet aan de bodemvoorraad wordt toegevoegd, maar uitspoelt. In de vorige hoofdstukken kon geen relatie worden afgeleid tussen de K-bemesting en de K-uitspoeling, zodat deze niet goed te kwantificeren is. Wel bleek in hoofdstuk 2 duidelijk dat in sommige situaties op zandgrond nogal wat K kan uitspoelen. De K-uitspoeling in de winterperiode wordt waarschijnlijk sterk bepaald door de K-toestand van de bodem, de snelheid waarmee zich in de bodem een evenwicht instelt tussen K in oplossing en geadsorbeerd K en de K-bemesting. Volgens de EG-richtlijn mag slechts 36 kg ha⁻¹ jr⁻¹ uitspoelen (sectie 2.5).

Het grootste deel van het overschot is het gevolg van de K-recovery van slechts 0,7. Bij een hogere K-recovery wordt het K-overschot kleiner.

Bij het berekenen van de veebezetting is uitgegaan van de netto grasproduktie uitgedrukt in energiewaarde en energiebehoefte per dier per dag. De K-opname door het vee is bij een bruto-grasopbrengst van 9 000 kg ha⁻¹ 284 kg, waarvan 17 kg in melk en vlees terecht komt en 266 kg in faeces en urine. Bij een bruto-opbrengst van 13 000 kg ha⁻¹ is de K-opname 397 kg, wordt 26 kg in melk en vlees vastgelegd en komt 371 kg K in faeces en urine terecht. De koeien staan altijd binnen, zodat alle faeces en urine als drijfmest beschikbaar komen. Daar drijfmest-K de zelfde werking heeft als kunstmest-K, kan de benodigde K-bemesting volledig geleverd worden door de hoeveelheid K in drijfmest. Er is zelfs een klein overschot per ha van 14, respectievelijk 19 kg K jr⁻¹ bij de produkties van 9 000 en 13 000 kg gras ha⁻¹ jr⁻¹.

5.3 Onbeperkt omweiden

Bij het graslandgebruikssysteem onbeperkt omweiden wordt in deze studie uitgegaan van een volledige weidegang, waarbij geen winning van wintervoer plaatsvindt. De veebezetting is gebaseerd op de netto-energieopbrengst van het gras en de energiebehoefte van het vee. Het rantsoen bestaat volledig uit gras. Inscharen gebeurt bij 1 700 kg oogstbare drogestof per ha. Alle berekeningen zijn eerst uitgevoerd zonder rekening te houden met mest- en urineplekken. Daarna zijn ze herhaald, rekening houdend met de extra N- en K-belasting op deze plekken. In het model wordt onderscheid gemaakt tussen 0, 1 of 2 maal bedekking met faeces en/of urine, terwijl het deel van het veld dat meer dan 2x met urine of faeces bedekt wordt, is ondergebracht in een restfractie. Tenslotte wordt een gewogen gemiddelde voor een ha beweide grasland berekend op basis van het relatieve oppervlak van de verschillende plekken.

5.3.1 De kaliumkringloop op beweide grasland

De bruto drogestofopbrengsten bij onbeperkt omweiden zijn gesteld op 9 000 en 12 000 kg ha⁻¹ jr⁻¹. In het graslandbeheersmodel is aangenomen, dat een produktie van 13 000 kg ha⁻¹ jr⁻¹ onder beweiding niet haalbaar is. In urineplekken is de drogestofopbrengst hoger dan daarbuiten door de beschikbaarheid van extra N. De totale drogestofproduktie is dus wat hoger dan de basisproduktie van 9 000 en 12 000 kg ha⁻¹. De veebezetting is respectievelijk 2,68 en 3,55 koeien per ha.

In tabel 19 en in figuur 16 zijn de resultaten van de berekeningen voor de K-huishouding op grasland bij onbeperkt omweiden voor beide

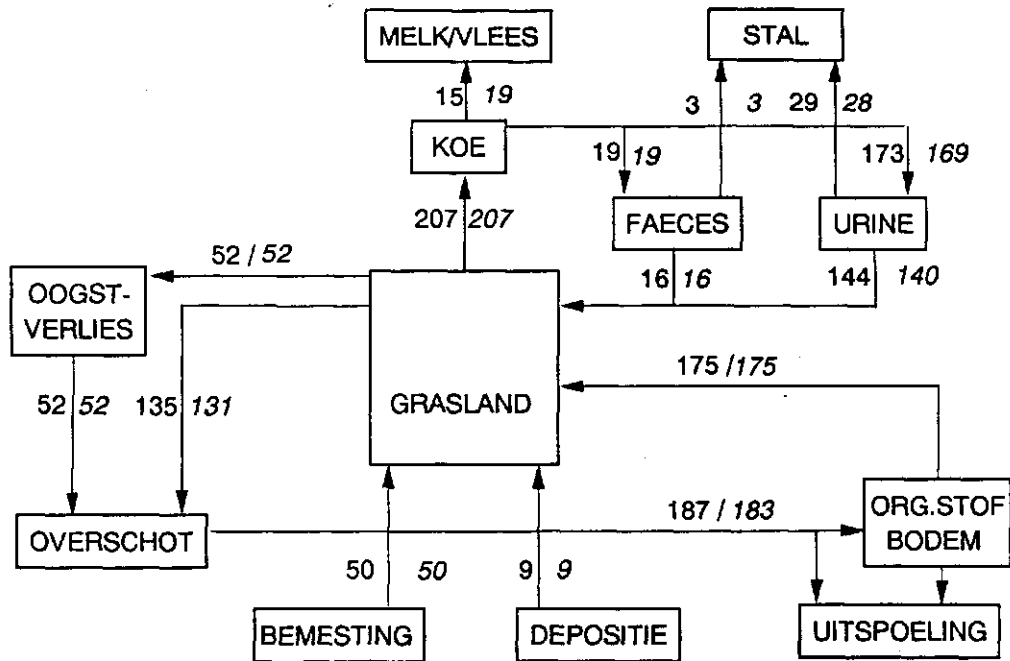
produktieniveaus weergegeven. Ook voor onbeperkt omweiden wordt de gewenste K-opname volgens [17] (tabel 19-1) vergeleken met de K-opname berekend uit de K-levering door de bodem, de K-bemesting, de K-recovery en in dit geval de K die uit faeces en urine beschikbaar komt (tabel 19-2).

Tabel 19. Resultaten van de berekeningen voor de K-kringloop op grasland bij onbeperkt omweiden bij twee opbrengst-niveaus. De K-opname is op twee manieren berekend (1 en 2 in de tabel). De cijfers geven gewogen gemiddelden per ha weer. Toelichting zie tekst.

1. bruto ds-opbrengst	kg ha ⁻¹	9 373	12 099
N-opname gras	kg ha ⁻¹	235	435
N-gehalte	%	2,50	3,60
K-gehalte [17]	%	2,77	3,30
K-opname gras	kg ha ⁻¹	260	399
2. K-toevoer naar gras			
- bodem	kg ha ⁻¹	175	175
- K-bemesting	kg ha ⁻¹	50	50
- depositie	kg ha ⁻¹	9	9
- urine + faeces	kg ha ⁻¹	160	156
totaal	kg ha ⁻¹	394	390
K-opname door gras uit:			
- bodem	kg ha ⁻¹	175	175
- bemesting	kg ha ⁻¹	35	35
- depositie	kg ha ⁻¹	6	6
- urine + faeces	kg ha ⁻¹	43	42
totaal	kg ha ⁻¹	259	258
K-gehalte	%	2,76	2,14
verschil K-toevoer en			
K-opname gras	kg ha ⁻¹	135	131
K in oogstverlies(20%)	kg ha ⁻¹	52	52
K-overschot	kg ha ⁻¹	187	183
K opname vee (80%)	kg ha ⁻¹	207	207
K uitgescheiden:			
- melk, groei + kalf	kg ha ⁻¹	15	19
- in drijfmest	kg ha ⁻¹	32	31
- urineplekken	kg ha ⁻¹	144	140
- faecesplekken	kg ha ⁻¹	16	16

De bruto-grasopbrengsten zijn 9 373 en 12 099 kg ha⁻¹ jr⁻¹ en de daarbij horende N-opname respectievelijk 235 en 435 kg ha⁻¹ jr⁻¹ (tabel 19-1). De gewenste K-opname, volgens [17], is dan respectievelijk 260 en 399 kg ha⁻¹ jr⁻¹.

De levering van K door de bodem is, evenals bij zomerstalvoeding, voor beide opbrengstniveaus gesteld op 175 kg ha⁻¹ jr⁻¹ (tabel 19-2), de K-gift volgens het bemestingsadvies voor beide opbrengstniveaus 50 kg ha⁻¹ jr⁻¹ en de K-depositie 9 kg ha⁻¹ jr⁻¹. De hoeveelheid K die met mest en



Figuur 16. Schema van de K-kringloop op grasland bij onbeperkt omweiden met melkvee bij een bruto grasopbrengst van ca. 12 000 (*cursief*) en 9 000 kg ha⁻¹ jr⁻¹ (recht). Getallen in kg ha⁻¹ in het weide-seizoen.

urine in het veld terecht komt is 160 kg ha⁻¹ jr⁻¹ bij een bruto-opbrengst van 9 000 kg ha⁻¹ en 156 kg bij een bruto-opbrengst van 12 000 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Bij het produktieniveau van 12 000 kg ha⁻¹ wordt iets meer K vastgelegd in melk en vlees (figuur 16, tabel 19), omdat de veebezetting hoger is. De totale jaarlijkse toevoer van K naar het gras is 394 en 390 kg ha⁻¹ jr⁻¹, respectievelijk.

De opname van K afkomstig uit de bodemvoorraad is 175 kg ha⁻¹ jr⁻¹. De K-recovery voor kunstmest en drijfmest is ook nu op 0,7 gesteld, zodat 35 van de 50 kg K-bemesting wordt opgenomen. Uit depositie wordt 6 kg ha⁻¹ jr⁻¹ opgenomen. De K-opname in het deel van het veld dat niet door faeces of urine bedekt wordt is dus voor beide opbrengstniveaus gelijk, nl. 216 kg ha⁻¹ jr⁻¹.

De hoeveelheid K die met urine en faeces in het veld wordt uitgescheiden, is berekend als de hoeveelheid K in het rantsoen, verminderd met de vastlegging van K in melk en vlees en de K die in drijfmest terecht komt. Voor K uit mest en urine is de recovery gelijk gesteld aan die uit kunstmest en drijfmest, dus ook 0,7. Slechts een deel van de K uit mest en urine kan door het gras opgenomen worden, omdat mest en urine verspreid over het groeiseizoen in het veld terecht komen. K die in de eerste beweidingsperiode op het gras terecht komt, kan voor het grootste deel opgenomen worden, terwijl K die in het najaar op het gras komt, nauwelijks

meer benut kan worden. Aangenomen is dat 40% van de K in faeces en urine voor opname door het gras beschikbaar is [56]. Dat, gecombineerd met de K-recovery van 0,7, leidt tot een maximale K-opname uit urine en faeces van 28%.

De hoeveelheid K per ha in het rantsoen is voor de opbrengstniveaus van ca. 9 000 en 12 000 kg ha⁻¹ gelijk. De afvoer van K per ha met melk en vlees is door de hogere veebezetting wat hoger bij 12 000 kg ha⁻¹, zodat de uitscheiding in urine en mest wat lager is. De extra opname van K door het gras, afkomstig van faeces en urine (ca. 28%), is dan ook praktisch gelijk: 42 en 43 kg ha⁻¹ jr⁻¹. De totale K-opname is bij 9 000 kg ha⁻¹ 259 en bij 12 000 kg ha⁻¹ 258 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Het mogelijke K-gehalte van het gras verschilt echter sterk en is respectievelijk 2,76 en 2,14 %. Bij het opbrengstniveau van 9 000 kg komt dat goed overeen met het gewenste K-gehalte van 2,77% zoals volgens [17] berekend. Bij het opbrengstniveau van 12 000 kg blijft het mogelijke K-gehalte van 2,14% duidelijk achter bij het gewenste gehalte van 3,30%. De K/N-verhouding is hier 0,60 en dat kan in sommige gevallen een opbrengstderving door K-gebrek geven (sectie 4.4).

De K opgevangen in drijfmest voorziet bij beide produktieniveaus in ca. 60% van de bemestingsbehoefte. Het K-overschot is 187 kg ha⁻¹ jr⁻¹ bij de opbrengst van 9 000 kg ha⁻¹ en 183 kg ha⁻¹ jr⁻¹ bij de opbrengst van 12 000 kg ha⁻¹. Deze hoeveelheden vullen de bodemvoorraad aan en compenseren daarmee de levering van K door de bodem.

5.3.2 De verdeling van faeces en urine en de gevolgen voor kaliumopname en grasopbrengst

De cijfers in de vorige paragraaf hadden alle betrekking op gewogen gemiddelden per ha. Faeces en urine komen echter pleksgewijs in het veld terecht, zodat op sommige plekken een zeer hoge belasting met nutriënten kan optreden.

In urineplekken is het N-gehalte van het gras hoger dan daarbuiten, zodat het gewenste K-gehalte volgens [17] ook hoger is. In het graslandbeheersmodel wordt voor de N in de faeces aangenomen dat deze geen invloed op de grasgroei heeft, omdat ze voor het grootste deel organisch gebonden is en dus slechts langzaam vrijkomt. In de faecesplekken wordt de grasgroei tijdelijk geremd en aan de randen wordt de groei gestimuleerd. Aangenomen is dat de extra produktie aan de randen de lagere produktie in het centrum compenseert. Het gewenste K-gehalte van gras in de faecesplekken is dan ook gelijk gesteld aan dat erbuiten.

Voor faeces- en urineplekken is de mogelijke K-opname, berekend uit bodemlevering, toediening van K, zowel door bemesting als met faeces en urine, en K-recovery, groter dan daarbuiten. In tabel 20 is voor de twee opbrengstniveaus en de daarbij behorende veebezettingen de oppervlakte die bedekt wordt met faeces en urine, en de hoeveelheid K die met beide wordt toegediend, weergegeven.

Tabel 20. Fracties van het oppervlak die wel en niet beïnvloed worden door faeces en urine en de hoeveelheden K in deze plekken bij twee veebezettingen, voor elk velddeel uitgedrukt in kg ha^{-1} . U0, U1, U2: 0, 1, en 2x met urine bedekt; F0, F1, F2: 0, 1 en 2x met faeces bedekt; REST: vaker met urine of faeces bedekt.

velddeel	2,68 koeien ha^{-1}			3,55 koeien ha^{-1}		
	opp.	K urine	K faeces	opp.	K urine	K faeces
U0F0	0,6932	0	0	0,6157	0	0
U0F1	0,0267	0	415	0,0314	0	306
U0F2	0,0005	0	830	0,0008	0	611
U1F0	0,2273	440	0	0,2672	324	0
U1F1	0,0088	440	415	0,0136	324	306
U1F2	0,0002	440	830	0,0003	324	611
U2F0	0,0372	879	0	0,0580	647	0
U2F1	0,0014	879	415	0,0030	647	306
U2F2	0,0000*	-	-	0,0001	647	611
REST	0,0046	1354	19	0,0099	1008	18
totaal**	1,000	144	16	1,000	140	16

* oppervlakte $< 0,0005 \text{ ha ha}^{-1}$

** gewogen gemiddelde per ha

Bij de veebezettingen van 2,68 en 3,55 koeien ha^{-1} is de totale toediening van K met faeces en urine, respectievelijk 160 en 156 kg ha^{-1} . De verdeling over het perceel is zeer onregelmatig. Bij de laagste veebezetting wordt 69% van het oppervlak niet bedekt met faeces of urine en bij de hoogste 62%. In de faeces- en urineplekken is de K-belasting hoog, variërend van 440 tot ruim 1 350 en van 300 tot ruim 1 250 $\text{kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. De K-belasting in urine- en faecesplekken is bij de veebezetting van 3,55 koeien per ha lager dan bij de veebezetting van 2,68 koeien per ha, omdat het K-gehalte in het gras bij de opbrengst van ca. 12 000 $\text{kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ lager is. De K-belasting gemiddeld per ha is ongeveer gelijk, maar de verdeling van K binnen het veld verschilt sterk voor beide opbrengstniveaus.

Op elk velddeel kan maximaal 28% van de K uit faeces en urine opgenomen worden. Ook hier is een maximum gesteld aan de K-opname door de K/N-verhouding van 1,5 aan te houden. De N- en K-opname, het gewenste en het

berekende K-gehalte en de totale opname per ha zijn voor elk velddeel in tabel 21 weergegeven.

Tabel 21. N- en K-opname door gras, gewenste en berekende K-gehalte in gras (% in de drogestof) en en totale K opname (kg ha^{-1}) in urine- en faecesplekken voor bruto drogestofopbrengsten van 9 000 en 12 000 $\text{kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Verklaring van de codes gebruikt voor de velddelen: zie tabel 20.

veld- deel	9 000 kg				12 000 kg			
	opname N	% K gewenst	opname K	% K berek.	opname N	% K gewenst	opname K	% K berek.
U0F0	220	2,70	216	2,40	415	3,21	216	1,80
U0F1	220	2,70	329	3,66	415	3,21	299	2,49
U0F2	220	2,70	330	3,67	415	3,21	382	3,19
U1F0	266	2,94	336	3,29	464	3,41	304	2,48
U1F1	266	2,94	398	3,90	464	3,41	387	3,16
U1F2	266	2,94	398	3,90	464	3,41	470	3,83
U2F0	310	3,16	436	4,15	493	3,52	392	3,18
U2F1	310	3,16	464	4,22	493	3,52	475	3,85
U2F2	nvt**	nvt**	nvt**	4,22	493	3,52	558	4,53
REST	343	3,33	514	4,51	497	3,52	494	4,01
totaal*	235	2,77	259	2,76	435	3,30	258	2,14

* gewogen naar aandeel in het totale oppervlak

** niet van toepassing

Uit tabel 21 blijkt dat bij beweiding het K-gehalte van gras binnen een perceel, afhankelijk van de veebezetting, sterk kan variëren. Bij een opbrengstniveau van 9 000 kg ha^{-1} varieert het berekende K-gehalte van 2,40% in plekken waar geen urine en faeces terecht zijn gekomen tot ruim 4,5% in plekken waar veel urine en faeces terecht zijn gekomen.

Vergelijking van dit K-gehalte met het gewenste K-gehalte volgens [17] laat zien dat in de faeces- en urineplekken een overmaat aan K beschikbaar is. Op het velddeel niet bedekt door faeces en urine, is het K-gehalte wel iets lager dan het gewenste, maar waarschijnlijk niet zoveel dat een opbrengstderving te verwachten is (sectie 4.4). Uit het oogpunt van diergezondheid kunnen hoge K-gehalten in het gras nadelig zijn. Het vee begraast echter het hele perceel en gras met een hoog K-gehalte wordt in dat geval bij consumptie vanzelf gemengd met gras met een lager K-gehalte. Gemiddeld is het K-gehalte 2,76% en dat levert geen problemen op.

Bij het opbrengstniveau van 12 000 kg ha^{-1} varieert het K-gehalte van 1,80% tot ruim 4%. Vergelijking met de gewenste K-gehalten laat zien dat in het deel dat niet met faeces en urine bedekt wordt (62% van het oppervlak) het K-gehalte veel lager is dan het gewenste. De K/N-verhouding is slechts

0,52. Op basis van het eerder beschreven literatuuronderzoek (sectie 4.4) is in dit geval een opbrengstreduktie door K-gebrek te verwachten. In de velddelen die slechts éénmaal door of faeces of urine worden bedekt (U1F0 en U0F1, samen 30% van het oppervlak) is het K-gehalte ook nog aanzienlijk lager dan gewenst, omdat slechts 28% van de toegediende K ook werkelijk door de plant wordt opgenomen. Het is niet helemaal duidelijk of in deze plekken een opbrengstreduktie door K-gebrek zal optreden, maar het risico bestaat wel. K-gebrek, zoals dat in deze situatie optreedt, wordt vooral veroorzaakt door de lage K-bemesting ($50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$).

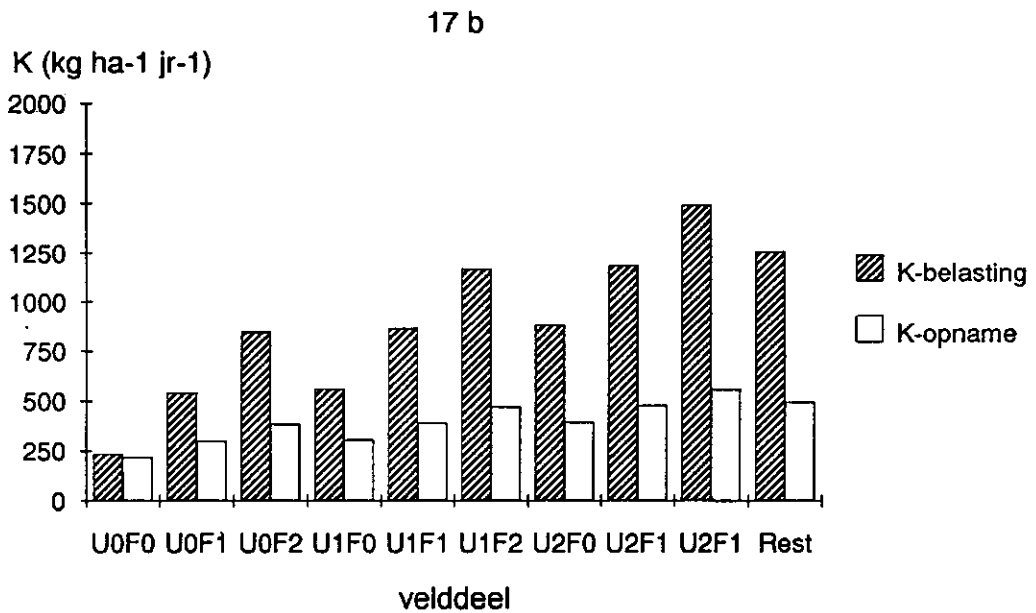
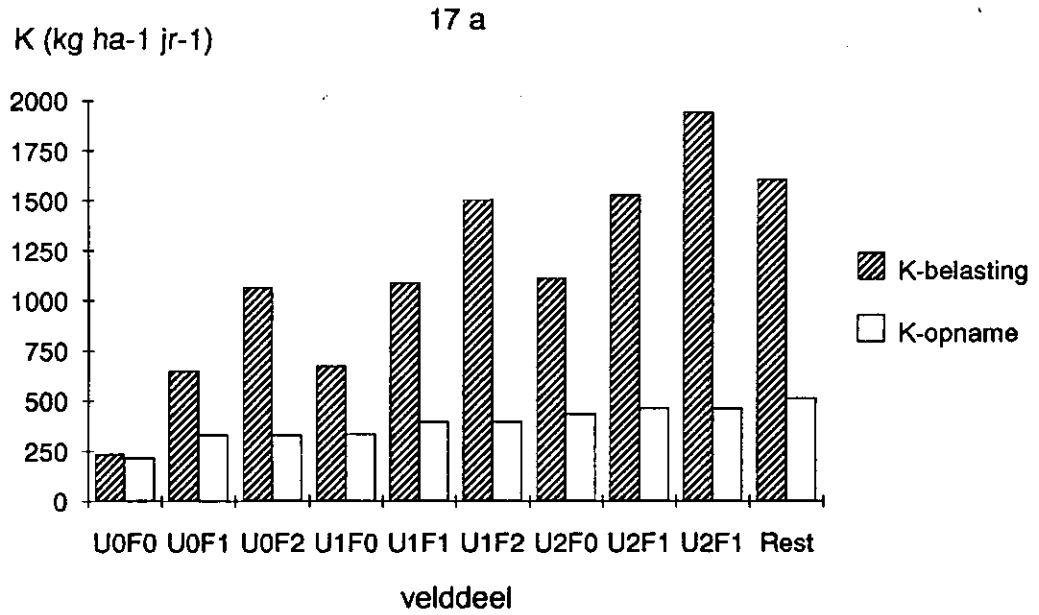
5.3.3 Kalium-tekort en kalium-overmaat bij beweiding

Bij beweiding circuleert de K uit urine en faeces in het systeem en is dus niet zonder meer verloren. Het probleem is dat deze K geconcentreerd wordt op slechts een deel van het veld.

In figuur 17a en b is dit nog eens weergegeven door voor beide opbrengstniveaus de totale K-belasting en de K-opname door het gras in de verschillende velddelen naast elkaar te zetten. Onder 'totale K-belasting' wordt verstaan de som van K geleverd door de bodem, K die uit bemesting en depositie afkomstig is, en K die met faeces en urine op het veld komt.

Uit figuur 17 blijkt dat het verschil tussen de K-belasting en de K-opname gering is voor dat deel van het veld dat niet door faeces en urine bedekt wordt. In alle andere velddelen overtreft de K-belasting de K-opname ruimschoots. Een deel van het verschil tussen de K-belasting en de K-opname door het gras kan dienen om de K-voorraad in de bodem op peil te houden. Aannemend dat de K-toestand van de bodem ongeveer gelijk moet blijven, kan nu voor elk velddeel de K-overmaat uitgerekend worden, dus de hoeveelheid die na compensatie van de 175 kg bodemlevering nog overblijft. In figuur 18 is dit voor beide opbrengstniveaus weergegeven. Er is rekening gehouden met 20% beweidingsverliezen, die ook aan de aanvulling van de bodemvoorraad bij kunnen dragen.

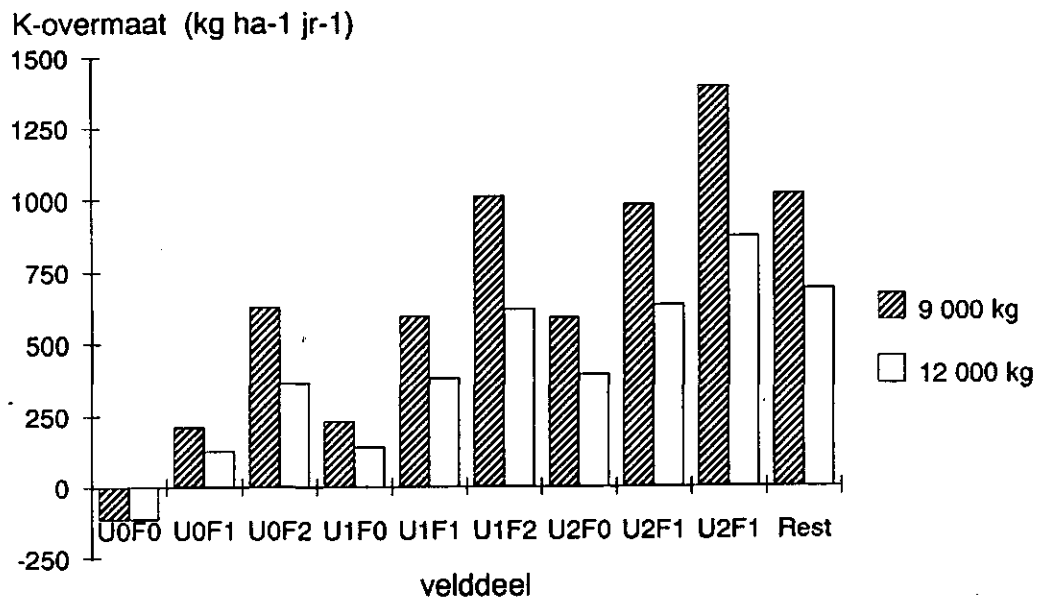
Op het deel van het veld dat niet met faeces en urine bedekt wordt, bestaat een K-tekort van ca. $110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, zodat uitputting van de bodem plaats vindt en het K-getal op den duur zal dalen. Op alle plekken waar faeces en urine terecht komen is een K-overmaat aanwezig, variërend van 200 tot 1 400 en 100 tot $900 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ bij de opbrengstniveaus van respectievelijk 9 000 en $12\,000 \text{ kg ha}^{-1}$. De gemiddelde K-overmaat per ha beweid grasland is $91 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ bij een opbrengst van $9\,000 \text{ kg}$ en $79 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ bij een



Figuur 17. De totale K-belasting en de K-opname (kg ha⁻¹ jr⁻¹) voor de verschillende velddelen in een beweide perceel bij twee opbrengstniveaus: a. 9 000 kg ha⁻¹ jr⁻¹; b. 12 000 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Verklaring codes zie tabel 20.

opbrengst van 12 000 kg ha⁻¹. De K-overmaat is groter bij het lage produktieniveau, omdat de belasting per urine- en faecesplek door hoger is, vanwege het hogere K-gehalte van het gras (tabel 20). Een deel van de overmaat aan K kan bijdragen aan een plaatselijke verhoging van de K-toestand van de bodem. Indien de K-overmaat groot is, is het waarschijnlijk dat een deel ervan in de winter uitspoelt.

Als in de faeces- en urineplekken het K-getal hoger wordt, zal in het volgende jaar de K-levering door de bodem hoger worden of in elk geval



Figuur 18. De overmaat aan K ($\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) voor de verschillende velddelen in beweide grasland bij twee opbrengstniveaus, 9 000 en 12 000 $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$. Toelichting codes zie tabel 20.

minder snel dalen. Een veel gebruikt argument om bij beweiding niet met K te bemesten is dan ook dat elke plek ongeveer éénmaal per drie jaar bedekt wordt met faeces en/of urine. Tabel 23 laat zien dat bij een veebezetting van 2,68 en 3,55 koeien per ha dat niet geldt voor 33, respectievelijk 23 % van het oppervlak en na vijf jaar voor 16, respectievelijk 9% van het oppervlak. Deze schattingen komen redelijk overeen met andere berekeningen [40]. Verschillen worden veroorzaakt door iets andere uitgangspunten, zoals het oppervlak van faecesplekken.

Tabel 23. Deel van het oppervlak (%) dat in de loop van 5 jaar onbepaald omweiden niet beïnvloed wordt door faeces en urine voor twee veebezettingen (koeien ha^{-1}).

jaar	veebezetting	
	2,68	3,55
1	69,3	61,6
2	48,0	37,9
3	33,3	23,4
4	23,1	14,4
5	16,0	8,9

Uit de literatuurstudie bleek dat op zandgrond de K-levering door de bodem in de loop van enkele jaren snel daalt door de hoge jaarlijkse onttrekking door gras. In de proeven van Oostendorp en Harmsen [31] was op zandgrond de

K-levering door de bodem in het eerste t/m het vijfde jaar respectievelijk 220, 200, 115, 60 en 50 kg ha⁻¹ jr⁻¹. Na drie tot vier jaar zal de door de bodem geleverde hoeveelheid dus op de plekken die niet met faeces en urine bedekt worden, aanzienlijk zijn teruggelopen. De K-bemesting van 50 kg ha⁻¹ jr⁻¹ lijkt onvoldoende om op die plekken een goede grasopbrengst te garanderen, zeker bij hoge N-bemestingen. Nadeel van een hogere bemesting is dat deze ook op de faeces- en urineplekken terecht komt en de K-overmaat, en daarmee het gevaar voor uitspoeling, vergroot. Uit de literatuurgegevens kon geen verband tussen K-toestand van de bodem, K-bemesting en K-uitspoeling worden afgeleid, zodat de uitspoeling niet goed te kwantificeren is. De hoeveelheid K die in de bodem gebonden kan worden is natuurlijk beperkt (hoofdstuk 1). Op zandgronden zal bij K-overmaat het risico van uitspoeling groter zijn dan op kleigronden, omdat het adsorberend vermogen van zandgronden kleiner is.

Dat er uitspoeling plaats vindt, blijkt uit de hoge K-concentraties die in grondwater gemeten worden (tabel 5). Uit tabel 17 bleek ook dat de K-toestand van 43% van de zandgronden in Nederland hoger is dan 'voldoende' en dan lijkt het risico van K-uitspoeling aanwezig.

Het is moeilijk te beoordelen hoe realistisch de uitkomsten van de berekeningen in deze sectie zijn, omdat er nauwelijks experimentele gegevens beschikbaar zijn met betrekking tot de variatie in K-gehalte in gras en bodem binnen intensief beweidde percelen. In mengmonsters is de variatie niet meer zichtbaar en het gemiddelde K-gehalte is zodanig, dat geen opbrengstredukties verwacht worden. Ook over de K-huishouding bij hoge N-niveaus zijn weinig gegevens beschikbaar.

De hier gepresenteerde uitkomsten worden sterk bepaald door de gehanteerde uitgangspunten en aannamen, zoals een K-levering door de bodem van 175 kg ha⁻¹ jr⁻¹ en een K-recovery van 0,7. Deze analyse laat echter wel zien, dat bij beweiding K-uitspoeling vooral zal plaats vinden onder faeces- en urineplekken.

5.4 Samenvatting

De K-kringloop van grasland op zandgrond is gekwantificeerd voor twee graslandgebruikswijzen gecombineerd met opbrengstniveaus van 9 000 en 13 000 kg ha⁻¹ jr⁻¹ bij zomerstalvoeding en 9 000 en 12 000 kg ha⁻¹ jr⁻¹ bij onbeperkt omweiden. De aangenomen grasopbrengst bepaalt de benodigde hoeveelheid N, die hier beschikbaar wordt verondersteld. De berekeningen zijn uitgevoerd met een graslandbeheersmodel en daarin is de mogelijke K-opname op twee manieren berekend. Ten eerste is de gewenste K-opname

afgeleid uit de N-opname zoals beschreven in [17]. Ten tweede is de mogelijke K-opname berekend uit de K-levering door de bodem, de K-bemesting volgens het bemestingsadvies en de K-recovery (0,7). Bij beweiding komt de K uit faeces en urine daar nog bij. Voor de bodem is uitgegaan van een K-toestand 'voldoende' en een K-levering van $175 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$.

Bij zomerstalvoeding en een grasopbrengst van 9 000 kg is het mogelijke K-gehalte (3,39%) aanzienlijk hoger dan het gewenste K-gehalte volgens [17] (2,66%) en is de K-voorziening van het gewas dus erg ruim.

Bij de grasopbrengst van 13 000 kg is het mogelijke K-gehalte 3,28% en het gewenste 3,00%, zodat de gewenste K-voorziening benaderd wordt. K dat niet opgenomen wordt door het gras en K dat met oogstverlies op het veld achter blijft kan de bodemvoorraad weer aanvullen. Bij beide opbrengstniveaus wordt de bodemlevering van $175 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ niet helemaal gecompenseerd. Er wordt dus meer K afgevoerd uit het systeem dan er aangevoerd wordt. Als de K-toestand echter in de loop van de tijd daalt naar 'laag' wordt dat door een hogere K-bemesting weer aangevuld.

Bij onbeperkt omweiden en een grasopbrengst van $9\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ komt het berekende K-gehalte van 2,76% goed overeen met het gewenste gehalte van 2,77%. Bij $12\,000 \text{ kg}$ echter is het berekende K-gehalte van 2,14% een stuk lager dan het gewenste gehalte van 3,30%. De K/N-verhouding is 0,60 en dat kan in sommige gevallen leiden tot een opbrengstderving door K-gebrek. In beide gevallen wordt de K-levering door de bodem van $175 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ gecompenseerd door K dat niet opgenomen wordt door het gras en K dat circuleert via urine, faeces en beweidingsresten. De totale K-afvoer uit het systeem is dus ongeveer gelijk aan de totale aanvoer van K.

Deze cijfers hebben echter betrekking op gemiddelden per ha. Faeces en urine worden pleksgewijs gedeponeerd en de K daarin wordt dus geconcentreerd op slechts een deel van het veld. De K-belasting in urine- en faecesplekken is hoog en ook na compensatie van de bodemlevering blijft er een overschot aan K bestaan. Dit kan o.a. dienen om de K-toestand van de bodem, zij het pleksgewijs, te verhogen, maar bij een hoge K-belasting bestaat er uitspoelingsgevaar. Uit de literatuurgegevens kon geen duidelijk verband afgeleid worden tussen K-bemesting, K-toestand van de bodem en K-uitspoeling, zodat de uitspoeling moeilijk te kwantificeren is. In het deel van het veld dat niet met faeces of urine wordt bedekt, bestaat een K-tekort door de lage K-bemesting, zodat de K-toestand van de bodem daar daalt. Het is dus waarschijnlijk dat K-uitspoeling, zoals die in de literatuur wordt vermeld, vooral plaats vindt onder faeces- en

urineplekken. De K-uitspoeling volgens de EG-drinkwaternorm mag slechts 36 kg ha⁻¹ jr⁻¹ zijn. De overmaat aan K in faeces- en urineplekken is gemiddeld 91 en 79 kg ha⁻¹ jr⁻¹ bij grasopbrengsten van respectievelijk 9 000 en 12 000 kg ha⁻¹ jr⁻¹.

De resultaten van deze berekeningen worden sterk bepaald door de uitgangspunten en moeten met de nodige voorzichtigheid bekeken worden.

LITERATUURLIJST

- [01] Ministerie van Landbouw en Visserij, 1985.
Bemesting van grasland. Vlugschrift voor de landbouw 363, 12p.
- [02] Ministerie van Landbouw en Visserij, 1987.
Dierlijk mest. Vlugschrift voor de landbouw 406, 12p.
- [03] LEI & CBS, 1989.
Landbouwcijfers 1989, 251 p.
- [04] Janssen, B.H., 1978.
Bodemvruchtbaarheid II. Diktaat, Vakgroep Bodemkunde en Bemestingsleer, LH, Wageningen, 242 p.
- [05] Kemp, A., 1986.
Intensification of forage production affecting the mineral supply and incidence of nitrate poisoning in cattle. IDF Bulletin 196, 79-82.
- [06] Berghs, M., 1987.
De invloed van grote hoeveelheden drijfmest op de graskwaliteit. Doctoraalverslag, Vakgroep Landbouwplantenteelt en Graslandkunde, Landbouwuniversiteit/CABO, Wageningen. 53 p.
- [07] Dam Kofoed, A., 1978.
The potassium cycle in cropping systems. In: International Potash Institute, Potassium Research: review and trends, 11th Congress of the I.P.I., Der Bund AG, Bern, 435-450.
- [08] Schroeder, D., 1978.
Structure and weathering of potassium containing minerals. In: International Potash Institute, Potassium Research: review and trends, 11th Congress of the I.P.I., Der Bund AG, Bern, 43-64.
- [09] Steineck, O. & H.E. Header, 1978.
The effect of potassium on growth and yield components of plants. In: International Potash Institute, Potassium Research: review and trends, 11th Congress of the I.P.I., Der Bund AG, Bern, 165-188.
- [10] Mengel, K., 1978.
A consideration of factors which affect the potassium requirement of various crops. In: International Potash Institute, Potassium Research: review and trends, 11th Congress of the I.P.I., Der Bund AG, Bern, 225-238.
- [11] Quintanilla Rejado, P., 1978.
Potassium requirements of cereals. In: International Potash Institute, Potassium Research: review and trends, 11th Congress of the I.P.I., Der Bund AG, Bern, 43-64.
- [12] Beaucorps, G. de, 1978.
The potassium requirements of crops harvested green, with special reference to grassland. In: International Potash Institute, Potassium Research: review and trends, 11th Congress of the I.P.I., Der Bund AG, Bern, 105-122.
- [13] Biewinga, E.E., B.H.W. Edel & F. Stouthart, 1987.
Naar een proefbedrijf melkveehouderij en milieu. 1e deel van een voorstudie. Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht, 108 p.
- [14] Dijk, T.A. van, 1987.
Onderzoek naar het optimaal gebruik van geïnjecteerde dierlijke mest en kunstmest op grasland, in het bijzonder voor de fosfaat- en kalivoorziening. Projectverslag 1986, Projectenbundel, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.
- [15] Henkens, Ch.H., 1985.
De problematiek van mestoverschotten. Meststoffen 3, 9-15.
- [16] Kemp, A., 1971.
The effects of K and N dressings on the mineral supply of grazing animals. In: International Potash Institute, Potassium and systems of grassland farming, 1st Colloquium of the I.P.I., 1-14.

- [17] Commissie Onderzoek Minerale Veevoeding, 1982.
Handleiding mineralenonderzoek bij rundvee in de praktijk. NRL0, Den Haag, 100 p.
- [18] Consultantschap voor Bodem-, water- en bemestingszaken in de veehouderij, 1989.
Bemestingadvies voor grasland en voedergewassen. Wageningen, 56 p.
- [19] Handboek voor de rundveehouderij, 1988.
PR, Lelystad, 376 p.
- [20] Beek, C.G.E.M. van, 1987.
Landgebruik en kwaliteit van het ondiepe grondwater. In: C.G.E.M van Beek (Ed.), Landbouw en drinkwatervoorziening, oriënterend onderzoek naar de beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit door bemesting en het gebruik van bestrijdingsmiddelen. Onderzoek 1982-1987. KIWA mededeling 99, KIWA, Nieuwegein, 5.1-5.24.
- [21] Wieling, H., A.H. Koops, L.E.M. Rempelberg & S. de Jong, 1982.
Normen voor de voedervoorziening. PR-Rapport 57, PR, Lelystad, 56 p.
- [22] Tallowin, J.R.B. & K.E. Brookman, 1988.
Herbage potassium levels in a permanent pasture under grazing. Grass and Forage Science 43, 209-212.
- [23] Hopper, M.J. & C.R. Clement, 1966.
The supply of potassium to grassland. Trans. Comm. II and IV. International Society of Soil Science, 237-246.
- [24] Werkgroep Mestinjectie, 1988.
Mestinjectie: mogelijkheden, voordelen en problemen. Directie Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen, 64 p.
- [25] Tahtinen, H., 1979.
The effect of nitrogen fertilizer on the potassium requirement of grassland for silage. Annales Agriculturae Fenniae 18(4), 231-245.
- [26] Gutser, R., H. Vollrath & W. Kuhbauch, 1978.
Wirkung einer K- und Na-Düngung zu einer Dreischnittwiese auf K-fixierendem Boden. Wirtschaftseigene Futter, 24(3/4), 221-238.
- [27] Yeo, M.L., 1976.
Phosphate and potash requirements of intensively grazed paddocks. Experimental Husbandry 31, 114-119.
- [28] Beuning, W., G. Schalitz & E. Schnieder, 1973.
The effect of periodic dressings of potassium fertilizers on yield, stand development and forage quality of a hay field on lowmoor grassland. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 17(5), 333-339.
- [29] Meyer, M. & F. Asmus, 1976.
Zur wirkung van Kalium aus Gülle auf Pflanzenenertrag, Kaliumaufnahme und- ausnützung. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 20(10), 723-732.
- [30] Görlitz, H. & G. Specht, 1974.
The possibilities of advance potassium fertilizer application on sandy soils. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 18(7), 529-539.
- [31] Oostendorp, D. & H.E. Harmsen, 1966.
Kalibemesting en gebruikswijze van grasland. PAW-publikatie 29, PAW, Wageningen, 84 p.
- [32] Henkens, Ch.H., 1978.
Rate of application of manure on grassland. Proceedings of the 7th General Meeting of the European Grassland Federation, 5-9 June, Gent, EGF, Merelbeke, 10.2-10.10.
- [33] Henkens, Ch. H. 1976.
Voedingsstoffen- of mineralenbalansen. Stikstof 83/84, 355-362.
- [34] Chevalier, H., 1978.
The effect of nitrogen and potassium fertilizer on seasonal

- production of perennial ryegrass under simulated grazing management. In: Constraints to grass growth and grassland output. Proceedings of the 7th General meeting of the European Grassland Federation, 5-9 June, Gent, EGF, Merelbeke, 10.43-10.52.
- [35] Sluysmans, C.M.J., 1962.
Mg- en K-gehalten van gras in afhankelijkheid van bodem en andere factoren. Tijdschrift voor Diergeneeskunde 87, 547-556.
- [36] Broek, J.M.M. van de & H.W. van der Marel, 1964.
De alluviale gronden van de Maas, de Roer en de Geul in Limburg. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 645, Pudoc, Wageningen, 83 p.
- [37] Marel, J.W. van der & J.T.N. Venekamp, 1955.
Onderzoek naar het verschijnsel der kaliumfixatie in de Nederlandse gronden. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 618, Staatsdrukkerij, 's Gravenhage, 61 p.
- [38] Sluijsmans, C.M.J., 1963.
Bemesting van grasland met magnesium op basis van grondonderzoek. Landbouwvoorlichting 20, 198-205.
- [39] Wit, N.H.S.M. de & W. Bleuten, 1986.
Inventarisatie van de vermist van het ondiepe grondwater in de gehele provincie Utrecht. II. Toelichting op de analyse resultaten. Vakgroep Fysische Geografie, Rijksuniversiteit Utrecht, 21 p.
- [40] Lammers, H.W., 1987.
Bemesting van grasland door weidend vee. De Buffer 33,1-24.
- [41] During, C. & K.J. McNaught, 1961.
Effects of cow urine on growth of pasture and uptake of nutrients. New Zealand Journal of Agricultural Research 4, 591-605.
- [42] During, C., W.C. Weeda & F.D. Dorofaeff, 1973.
Some effects of cattle dung on soil properties, pasture production and nutrient uptake. New Zealand Journal of Agricultural Research 16, 431-438.
- [43] MacDiarmid, B.N. & B.R. Watkin, 1972.
The cattle dung patch. 2. Effect of a dung patch on the chemical status of the soil and ammonia nitrogen losses from the patch. Journal of the British Grassland Society 27, 43-54.
- [44] Smith, K.A. & T.A. van Dijk, 1987.
Utilization of phosphorus and potassium from animal manures on grassland and foddercrops. In: H.G. van der Meer et al. (Eds), Animal Manure on grassland and foddercrops. Fertilizer or waste?, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, 87-102.
- [45] Dijk, T.A. van, 1988.
Fosfaat- en kaliwerking van geïnjecteerde dunne rundermest op grasland. Jaarverslag 1987 Aver Heino, 53-56.
- [46] Dijk, T.A. van, 1987.
Fosfaat- en kaliwerking van geïnjecteerde rundermest op grasland. Jaarverslag 1986 Aver Heino, 53-55.
- [47] Vereijken, P.H. & H.G. van der Meer, 1988.
Geïntegreerde bemesting: onbekend maakt onbemind? Landbouwkundig Tijdschrift 100 (11) 19-22.
- [48] Fiedler, H.J. & Reissig, 1964.
Lehrbuch der Bodenkunde. VEB. Gustav Fischer-Verlag, Jena.
- [49] Oosterom, H.P., 1982.
Samenstelling van het bovenste grondwater onder landbouwpercelen en enkele bospercelen. ICW-nota 1385, 22 p.
- [50] Dijk, T.A. van, 1989.
Het gebruik van dierlijke mest op grasland. 4. Kaliwerking van in het voorjaar geïnjecteerde dunne rundermest in het jaar van toediening. Meststoffen 2/3, 10-14.

- [51] Dijk, T.A van, 1988.
Fosfaat- en kaliwerking van geïnjecteerde dunne runderdrijfmest op grasland. Jaarverslag 1987, Regionaal Onderzoekscentrum "Bosma Zathe", Ureterp, 63-66.
- [52] Dijk, T.A. van, 1987.
Fosfaat- en kaliwerking van geïnjecteerde runderdrijfmest op grasland. Jaarverslag 1986, Regionaal Onderzoekscentrum "Bosma Zathe", Ureterp, 63-65.
- [53] Kemp, A., 1983.
The effect of fertilizer treatment of grassland on the biological availability of magnesium to ruminants. In: J.P. Fontenot et al. (Eds.), *The role of magnesium in animal nutrition*, Virginia Polytechnical Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 143-157.
- [54] Clement, C.R. & M.J. Hopper, 1968.
The supply of potassium to high yielding cut grass. *N.A.A.S Quarterly*, Review 79, 101-109.
- [55] Kemp, A. & J.H. Geurink, 1962.
Enkele voorlopige gegevens over de magnesiumbemesting van grasland op zandgrond in verband met de preventie van hypomagnesemie bij melkkoeien. Mededeling 194 van het I.B.S., Jaarboek, 167-171.
- [56] Ven, G.W.J. van de, 1989.
Een graslandbeheersmodel, in prep.
- [57] Lammers, H.W., 1984.
De relatie tussen rundveebezetting per ha grasland, de mestproductie en de gevolgen van het gebruik van deze mest. Consulentenschap voor Bodemaangelegenheden in de Landbouw, Wageningen, 42 p.
- [58] Weeda, W.C., 1977.
Effect of cattle dung patches on soil tests and botanical and chemical composition of herbage. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 20, 471-478.
- [59] Duijvenbooden, W. van, (Ed.), 1989.
De kwaliteit van het grondwater in Nederland. RIVM, Bilthoven, rapport 778820001, 307 p.
- [60] Kemp, A. & J.H. Geurink, 1970.
Invloed van magnesiumbemesting op het magnesiumgehalte van de grond, het gras en het bloedserum bij melkkoeien. Mededeling 432 van het I.B.S., 33 p.
- [61] Kemp, A., 1982.
The importance of the chemical composition of forage for optimizing animal production. In: *International Potash Institute, Optimizing yields, the role of fertilizers*. 12th Congress of the I.P.I, der Bund AG, Bern, 95-116.
- [62] Aarts, H.F.M., E.E. Biewinga, G. Bruin, B. Edel & H. Korevaar, 1988.
Melkveehouderij en milieu. Een aanpak voor het beperken van mineralen verliezen. CABO-verslag 79, 136 p.
- [63] Smith, G.S., I.S. Cornforth, & H.V. Henderson, 1985.
Critical leaf concentrations for deficiencies of nitrogen, potassium, phosphorus en magnesium in perennial ryegrass. *New Phytologist* 101, 393-409.