

augustus 2010

rapport 1347.N.09

Interactie tussen N en K op grasland. Herziening kali-advies gewenst?

ir. D.J. den Boer (NMI)

ir. J.C. van Middelkoop (Livestock Research)

dr. ir. L. van Schöll (NMI)



nutriënten management instituut nmi bv
agro business park 10
6708 pw wageningen
postbus 250
6700 ag wageningen
tel. (0317) 46 77 00
fax (088) 876 12 81
e-mail nmi@nmi-agro.nl
internet www.nmi-agro.nl

© 2010 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

Ing. P.R.M. Witlox, Productschap Zuivel	5
Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen	10
Livestock Research	2

Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	3
1 Inleiding	9
2 Interacties tussen N- en K-voorziening op grasland	11
2.1 Opname van N door de plant	11
2.2 Opname van K door de plant	11
2.3 Interactie tussen N- en K-voorziening	11
2.4 Opbrengst en gewaskwaliteit	12
2.5 Resultaten onderzoek/proefvelden op grasland	12
2.6 Gewaskwaliteit	17
2.7 Conclusies	18
3 Kali-balansen op melkveebedrijven	19
3.1 Opzet van de berekeningen	19
3.2 Zandgrond	21
3.2.1 Scenario's	21
3.2.2 Uitkomsten	22
3.3 Klei	22
3.3.1 Scenario's	22
3.3.2 Uitkomsten	24
3.4 Veen	24
3.4.1 Scenario's	24
3.4.2 Uitkomsten	24
3.5 Invloed K-gehalte van weidegras op bodembalans	25
3.5.1 Zandgrond	25
3.5.2 Klei	27
3.5.3 Veengrond	28
3.6 Overzicht bodembalansen en conclusies	28
3.7 Conclusies	30
4 Het kalibemestingsadvies voor de eerste snede	31
4.1 Opzet onderzoek en adviezen	31
4.1.1 Onderzoek	31
4.1.2 Het opstellen van de adviezen	31
4.2 Advies maaisnede zandgrond	32
4.3 Advies bij weiden en extra maaien	34
4.4 Andere grondsoorten	35
4.5 Discussie	36
4.5.1 Oogstdepressie niet meer dan 5 procent bij weglaten K-bemesting	36
4.5.2 Grootte vereiste mestgift	37
4.5.3 Verandering van K-getal, uitspoeling en onttrekking.	38
4.5.4 Het K-gehalte	39
4.5.4.1 Gewenst K-gehalte in het gras	40
4.6 Conclusies	40

5	Het kalibemestingsadvies voor latere sneden	43
5.1	Historie	43
5.2	Gebruiksnormen en K-onttrekking	44
5.2.1	N-bemesting en K-gehalte	44
5.3	Verdeling mest over weide en stal bij beweiden	45
5.4	Conclusies	47
6	Kali in de bodem en extractiemethoden	49
6.1	Kalium in de bodem	49
6.2	Extractiemethoden voor kalium	50
7	Huidig K-bemestingsadvies en K-getal	53
7.1	De opbouw van het advies	53
7.2	Ontstaan en achtergronden van het K-getal	55
7.3	Discussie en Conclusies	56
8	Beperkingen extractiemethode en K-getal	59
8.1	Kalibemestingsadvies op basis van het K-getal	59
8.2	Andere nutriënten en factoren	60
8.3	K-leverend vermogen van de grond en extractiemethode	60
8.4	Onderzoek Van Rotterdam-Los	61
8.5	Gewenste situatie	61
9	Conclusies en aanbevelingen	63
9.1	Conclusies	63
9.2	Aanbevelingen	63
	Referenties	65

Samenvatting en conclusies

Om een maximaal rendement van de door gebruiksnormen beperkte stikstof (N)- en fosfaat- (P_2O_5) bemesting op grasland te krijgen dient de voorziening met andere nutriënten in orde te zijn. Naast N en P zijn kalium (K) en ook zwavel (S) direct van invloed op de grasopbrengst. Voor een optimale grasgroei moet K op het juiste moment in voldoende mate aanwezig zijn. Tegelijkertijd dient een te hoog aanbod van K, waardoor het gras een te hoog kaligehalte krijgt, te worden voorkomen. Dit heeft een negatief effect op de diergezondheid.

In opdracht van het Productschap Zuivel hebben het Nutriënten Management Instituut NMI en Wageningen UR Livestock Research een onderzoek gedaan naar de kalivoorziening uit mest op melkveebedrijven en nagegaan of het huidige K-bemestingsadvies en de toegepaste analysemethode nog actueel zijn of verbetering behoeven.

Dit rapport geeft een overzicht van:

- een literatuurstudie naar interacties tussen de N- en K-voorziening op grasland;
- de K-voorziening uit mest op bedrijfsniveau bij de vastgestelde gebruiksnormen;
- de achtergronden van het K-advies voor de eerste snede en een analyse of dit advies nog voldoet;
- een analyse van het K-bemestingsadvies voor latere sneden;
- een studie naar de meest gewenste analysemethoden en achtergronden van de klasse-indeling op basis van het K-getal; en
- aanbevelingen tot verbetering van het bemestingsadvies.

Interacties tussen N- en K-voorziening

K is het begeleidende ion bij het transport van nitraat (NO_3) en aminozuren vanuit de wortels naar de bovengrondse delen. Een tekort aan K leidt tot ophoping van NO_3 in de wortels. Bij ophoping van NO_3 wordt de verdere opname ervan geremd, wat leidt tot groeireductie. K is ook betrokken bij de eiwitvorming, waarbij K de omzetting van N naar eiwit stimuleert. Een voldoende K-voorziening is dus nodig voor een goede opbrengst en gewaskwaliteit met een voldoende eiwitgehalte. Kalium bevordert dus de benutting van de beschikbare N.

Het onderzoek naar de interacties tussen de N- en K-voorziening kan als volgt worden samengevat:

- Diverse onderzoekers melden interacties tussen de N- en K-voorziening. Dit interactie-effect treedt vooral op bij een tekort aan plantbeschikbaar K. De extra gegeven stikstof kan dan niet goed worden benut en leidt maar beperkt of zelfs niet tot extra gewasopbrengst;
- Een tekort aan K kan resulteren in een verhoogd NO_3^- gehalte, een verhoogd gehalte aan opgelost organisch N en een verlaagd gehalte aan eiwit-N; en
- Het bemestingsadvies voor K is gericht op een optimale gewasopbrengst en het realiseren of in stand houden van een goede K-toestand in de bodem. Bij opvolgen van dit advies behoeven geen interactie-effecten worden verwacht.

K-voorziening op melkveebedrijven bij gebruiksnormen

Berekeningen naar de kalivoorziening uit dierlijke mest op zand, klei en veen bij een voor die gronden gemiddelde veebezetting laten zien dat op zand en klei, op bedrijven waar mest moet worden afgevoerd, er een negatief bodemoverschot voor K is. Vooral op zandgrond, waar ook verliezen door uitspoeling plaatsvinden, is aanvulling met kunstmestkali dan nodig om opbrengstderving te voorkomen. Het bodemoverschot, exclusief aanvulling met kunstmestkali, hangt sterk samen met de intensiteit van

het bedrijf. De bodembalans is negatiever naarmate er meer K met de mest moet worden afgevoerd. Bij een gewenst lager K-gehalte in het gras is ook het K-gehalte in de af te voeren mest lager. Het bodemoverschot is dan minder negatief.

Bij een lager K-gehalte in de mest is het advies voor aanvulling met kunstmest-K hoger. De vraag is of deze extra K gegeven moet worden. Het K-gehalte in het gras zou dan weer verhoogd worden. Het streven moet gericht zijn op een voldoende K-gehalte voor een goede grasgroei, maar niet hoger dan nodig is in verband met de gezondheid van het vee.

Het K-advies voor de eerste snede

Het bemestingsadvies voor de eerste snede is opgesteld in de jaren 1930 – 1960. Men heeft bij het opstellen van de adviezen, naast de maximale/economisch optimale opbrengst van de eerste snede, ernaar gestreefd om het kaligetal op een bepaald niveau te brengen of te houden. In het algemeen vond men een kaligetal 'goed', wanneer het bij de optimale gift in de loop der jaren ongeveer gelijk bleef, terwijl het weglaten van de bemesting niet meer dan 5 procent opbrengstderving mocht geven.

De eerste adviezen zijn opgesteld voor een graslandgebruik van 1x maaien gevolgd door verder weiden. De proefvelden zijn geoogst bij een hooisnede (5 – 7 ton drogestof ha⁻¹). Het advies beperkte zich aanvankelijk tot de eerste snede. Dit was gebaseerd op de ervaring dat het gewicht van sneden, volgend op een optimaal bemeste eerste snede, niet duidelijk op een aanvullende K-bemesting reageerde. De hooisnede werd bemest met 50 – 60 kg N per ha uit kunstmest. De gemiddelde jaargift was circa 135 – 150 kg N per ha.

Dit advies voor de eerste snede maaien is na 1958 niet meer gewijzigd. In de jaren 50 is vervolgens een advies opgesteld voor een extra snede maaien. Dit advies was gelijk aan een geschatte onttrekking van 80 kg K₂O ha⁻¹ bij een K-toestand laag en goed. Het advies voor de eerste snede weiden of voor alleen weiden was dan gelijk aan het advies voor 1x maaien en verder weiden (180 kg K₂O ha⁻¹ bij toestand laag) minus het advies voor een extra snede maaien. Deze hoeveelheid werd nodig geacht om de K-toestand op 'goed' te brengen of te houden.

Samengevat:

- Het advies voor de eerste snede is gelijk aan het advies dat is opgesteld voor één snede maaien en verder weiden. Het onderzoek hiernaar is uitgevoerd bij een hooisnede van 5-7 ton drogestof per ha en een N-bemesting van 50 – 60 kg N per ha.
- Dit huidige advies is gericht op een ruime K-voorziening voor een optimale groei. Bij een maaisnede van 3.000 – 3.500 kg ds per ha komt dit overeen met een K-gehalte in het gras van 33 – 39 gram K per kg drogestof.
- Het advies bij een eerste snede weiden komt overeen met een K-gehalte in het gras van circa 30 gram K per kg drogestof.
- In een serie meerjarige proefvelden heeft De Vries (1966) vastgesteld dat in de winterperiode het K-getal is gestegen. Dit wordt toegeschreven aan nalevering uit de bodem die de uitspoeling in de winterperiode overtreft.
- Ook tijdens de groei van de eerste snede komt hij tot de conclusie dat nalevering op onbemeste velden en 'vastlegging' of uitspoeling op zwaar bemeste velden een belangrijke rol moet spelen.

Het K-advies voor latere sneden

Het advies voor latere sneden is erop gericht de kalionttrekking in latere sneden te compenseren. Dit advies is voor het laatst bijgesteld in 2000. De gebruiksnorm voor de hoeveelheid toe te dienen werkzame N grasland op zandgrond is 50 kg N ha⁻¹ lager dan het bemestingsniveau van 300 kg N ha⁻¹, waarmee de K-onttrekking in 2000 is berekend. De analyse van het K-advies voor latere sneden leidt tot

de volgende conclusies:

- Een lagere N-bemesting, door daling van het N-regime met 50 kg N ha^{-1} ten opzichte van de berekeningen in 2000 als gevolg van de gebruiksnormen, leidt tot een lagere K-onttrekking. Deze lagere onttrekking is enerzijds het gevolg van een lagere grasopbrengst. Dit betekent dat er dan minder maaisneden zijn. Het K-bemestingsadvies is dan ook lager. Anderzijds leidt een lagere N-bemesting tot een lager K-gehalte in het gras. Hierdoor is de K-opname in het gras na de eerste snede per snede op zandgrond naar schatting met 2-3% gedaald. Dit is een geringe afwijking vergeleken bij de afwijking bij het schatten van de snedezwaarte. Het is echter wel een systematische afwijking: systematisch wordt 2-3 % teveel kali aangevuld.
- Overwogen kan worden om bij berekening van de onttrekking bij beweiden uit te gaan van een hoeveelheid mest in de weide, die overeenkomt met het aantal uren van een etmaal dat een koe in de weide verblijft. Dit geeft mogelijk een nauwkeuriger schatting van de onttrekking per weidesnede.
- De onttrekking van K_2O door beweiding kan beter gecompenseerd worden door het advies, evenals bij maaien, per weidesnede te geven.

Kali in de bodem

In Hoofdstuk 6 is een overzicht gegeven hoe kalium in de bodem voorkomt en welke factoren van invloed zijn op de beschikbaarheid van K.

Kalium is in tegenstelling tot N, P en S, die ook in belangrijke mate voorkomen in de organische vorm, in de bodem nagenoeg uitsluitend aanwezig in minerale vorm. De hoeveelheid K in de bodem kan worden ingedeeld in 4 fracties:

1. K^+ ionen in de bodemoplossing; direct beschikbaar voor de plant;
2. K-uitwisselbaar; K geadsorbeerd aan de klei- en humusdeeltjes (adsorptiecomplex; CEC). Uitwisseling tussen K in de bodemoplossing en K geadsorbeerd vindt snel plaats: binnen enkele minuten tot 24 uur;
3. K-gefixeerd of gebonden; K ingesloten in de kleiplaatjes. Uitwisseling tussen K-gefixeerd met K-bodemoplossing neemt dagen tot maanden in beslag; en
4. K-mineraal of K-gesteente; komt beschikbaar door vertering en is niet van belang voor gewasgroei.

Er is een dynamische evenwichtssituatie voor de verdeling over de fracties: K in oplossing, K-uitwisselbaar en K-gefixeerd. Na onttrekking (door gewasopname of uitspoeling) of toevoeging (vanuit bemesting of plantenresten) van K stelt zich een nieuw evenwicht in waarbij er een herverdeling van K over de drie fracties plaatsvindt. De hoeveelheid K in de bodemoplossing wordt zodoende gebufferd door K-uitwisselbaar en K-gefixeerd. Buffering wil zeggen dat er bij hoge concentraties K aan de bodemoplossing wordt onttrokken en bij lage concentraties K wordt nageleverd.

De totale hoeveelheid K in de bodemoplossing is direct beschikbaar voor de plant.

De K-uitwisselbaar is de hoeveelheid K die geadsorbeerd is aan de negatieve ladingen van de klei en humusdeeltjes. De hoeveelheid K-uitwisselbaar wordt bepaald door:

- de omvang van het adsorptiecomplex; en
- de relatieve bezetting van de CEC (het adsorptiecomplex) met K: Dit wordt beïnvloed door de concentraties van zowel K als andere kationen (vnl. Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Na^+). Deze andere kationen kunnen K van het adsorptiecomplex verdringen.

De K-gefixeerd of -gebonden is de hoeveelheid K die is ingesloten tussen de laagjes waaruit de kleideeltjes zijn opgebouwd. Uitwisseling tussen K-gefixeerd met K-bodemoplossing en K-uitwisselbaar neemt dagen tot maanden in beslag.

De sterkte van het gebruikte zout of zuur bepalen welk deel van de verschillende fracties bij de analyse wordt geëxtraheerd.

Het K-getal

Het bemestingsadvies is gebaseerd op het K-getal. Het K-getal wordt berekend door het met 0,1 M HCl geëxtraheerde kaligehalte van de grond te vermenigvuldigen met een correctiefactor F voor gehalte aan humus of organische stof. Op basis van dit K-getal zijn de gronden ingedeeld in waarderingsklassen voor bodemvruchtbaarheid. Het K-getal is ingevoerd in 1928 op basis van de waarneming dat een humusrijke grond meer K bevatte dan een humusarme grond. De keuze voor het vaststellen van het K-getal op basis van humus is voor die tijd, met de ter beschikking staande reken- en analysemethoden, begrijpelijk en voor de hand liggend.

Van der Paauw, een vooraanstaand onderzoeker op het gebied van fosfaat en kali, wees er in 1936 al op dat aan het gebruik van het K-getal bezwaren kleven. Hij heeft meerdere keren gewezen op andere (bodem)factoren en nutriënten die van belang zijn voor het vaststellen van de beschikbaarheid van K voor het gewas en die op deze wijze buiten beschouwing blijven.

Overwegingen K-getal en extractiemethode

In Hoofdstuk 8 is aangegeven waarom het K-bemestingsadvies op basis van de huidige extractiemethode en het K-getal om heroverweging vraagt:

- Door koppeling van het bemestingsadvies aan het humusgehalte (K-getal) is het niet mogelijk een causaal verband vast te stellen tussen het beschikbare K in de bodem en andere bodemfactoren als pH, de omvang en sterkte van het adsorptiecomplex en het effect van andere nutriënten als Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ en NH_4^+ . Dit wordt nog bemoeilijkt doordat momenteel de verschillende nutriënten met verschillende extractiemiddelen worden geanalyseerd.
- Voor een optimale opbrengst (voldoende K beschikbaar) en voor een gewenst gehalte voor gezond vee (K-gehalten in gewas niet te hoog) is het van belang de K-beschikbaarheid uit de bodem goed te kunnen schatten.
- Er zijn nu analysemethoden beschikbaar om op basis van intensiteit en capaciteit de K-beschikbaarheid beter te schatten, waarbij tevens rekening gehouden kan worden met andere factoren (pH) en nutriënten (Ca, Mg, NH_4 en Na) in de bodem.

Conclusies

- Van der Paauw & Ris (1953) vonden een grote spreiding in het K-gehalte van gras bij de betreffende K-getallen van de bodem. Dit wijst erop dat andere factoren in de bodem een grote invloed hebben op de beschikbaarheid van K voor het gewas. Van der Paauw heeft hier meerdere keren op geattendeerd.
- Ook De Vries (1966) constateert dat de nalevering uit de bodem een belangrijke rol speelt voor de K-opname en K-beschikbaarheid door het gewas.
- Voor een optimale opbrengst (voldoende K beschikbaar) en voor een gewenst gehalte voor gezond vee (K-gehalten in gewas niet te hoog) is het van belang de K-beschikbaarheid uit de bodem goed te kunnen schatten.
- Analyse- en rekenmethoden zijn in de loop van de tijd aanzienlijk verbeterd. Er zijn nu analysemethoden beschikbaar, waarmee op basis van intensiteit en capaciteit de K-beschikbaarheid beter kan worden geschat, waarbij tevens rekening gehouden kan worden met andere factoren (pH) en nutriënten (Ca, Mg, NH_4 en Na) in de bodem.

- Het huidige advies voor de eerste snede is afgeleid van en gelijk aan het advies dat is opgesteld voor één snede maaien en verder weiden. Het onderzoek hiernaar is uitgevoerd bij een hooisnede van 5-7 ton drogestof per ha en een N-bemesting van 50 -60 kg N per ha.
- Dit huidige advies is gericht op een ruime K-voorziening voor een optimale groei. Bij een maaisnede van 3.000 – 3.500 kg ds per ha komt dit overeen met een K-gehalte in het gras van 33 – 39 gram K per kg drogestof. Hieromheen zal een ruime spreiding voorkomen afhankelijk van de K-beschikbaarheid van de bodem.
- Het advies voor latere sneden kan verder worden verfijnd door rekening te houden met het aantal uren weidegang per dag van de dieren en door het opstellen van een advies per weidesnede.

Aanbevelingen

Om rekening te kunnen houden met het effect van andere bodemfactoren en andere nutriënten in de bodem op de beschikbaarheid van K en om de bemesting te kunnen richten op een gewenst K-gehalte voor een goede grasopbrengst en gezond vee verdient het aanbeveling om:

- over te schakelen naar een analysemethode waarmee de intensiteit en de capaciteit worden bepaald;
- de verschillende nutriënten met een zelfde extractiemiddel te analyseren;
- de indeling van de bodemvruchtbaarheid in waarderingsklassen op basis van het K-getal te laten vervallen;
- het advies voor de eerste en latere sneden af te stemmen op de K-beschikbaarheid in de bodem; en
- voor latere sneden een aantal kleine correcties door te voeren (bij beweiden rekening houden met aantal uren weidegang per dag en advies per weidesnede).

1 Inleiding

De elementen stikstof (N), fosfor (P), kalium (K) en zwavel (S) zijn direct van invloed op de grasopbrengst. Nutriënten als magnesium (Mg) en natrium (Na) zijn zelden beperkend voor een goede gewasproductie, maar zijn van belang voor de graskwaliteit.

Om een maximaal rendement van de, door gebruiksnormen beperkte, N- en P-bemesting op grasland te krijgen dient de voorziening met andere nutriënten in orde te zijn. Naast N en P zijn K en ook S direct van invloed op de grasopbrengst. Voor een optimale grasgroei moet K op het juiste moment in voldoende mate aanwezig zijn. Tegelijkertijd dient een te hoog aanbod van K, waardoor het gras een te hoog kaligehalte krijgt, te worden voorkomen. Dit heeft een negatief effect op de diergezondheid (zachtere klauwen, waardoor meer klauwproblemen en bij het afkalven meer zucht in de uiers). Een te hoog K-gehalte geeft een verlaagd Mg-gehalte en leidt tot een verhoogd risico van melkziekte en bij een ernstig Mg-tekort tot kopziekte.

In opdracht van het Productschap Zuivel hebben het Nutriënten Management Instituut NMI en Wageningen UR Livestock Research een onderzoek gedaan naar de kalivoorziening uit mest op melkveebedrijven en nagegaan of het huidige K-bemestingsadvies en de toegepaste analysemethode nog actueel zijn of verbetering behoeven.

In deze studie is aandacht besteed aan interacties tussen de N- en K-voorziening op grasland en in hoeverre deze van belang zijn voor het K-bemestingsadvies. Nagegaan is wat de achtergronden zijn van de bemestingsadviezen met K voor de eerste en voor latere sneden en of deze adviezen nog voldoen. Tevens is nagegaan in hoeverre het mogelijk is om met de huidige analysemethode en waardering op basis van het K-getal rekening te houden met bodemeigenschappen en het effect van andere nutriënten in de bodem op de beschikbaarheid van K voor het gras. Deze beschikbaarheid is van belang om met het advies te kunnen sturen op een gewenst K-gehalte voor goede grasopbrengst en gezond vee.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2: Geeft een overzicht van de literatuurstudie naar de interacties tussen de N- en K-voorziening op grasland.

Hoofdstuk 3: Geeft een overzicht van de K-voorziening uit dierlijke mest op verschillende grondsoorten en met een uiteenlopend(e) graslandgebruik en intensiteit bij toepassing van de gebruiksnormen.

Hoofdstuk 4: Dit hoofdstuk geeft een overzicht van het ontstaan en de achtergronden van het advies voor de eerste snede en een inschatting of dit advies nog voldoet.

Hoofdstuk 5: In dit hoofdstuk is nagegaan of het advies voor latere sneden nog voldoet.

Hoofdstuk 6: Geeft informatie over het voorkomen en gedrag van kali in de bodem.

Hoofdstuk 7: Geeft de achtergronden en het ontstaan van het K-getal weer, waarop het huidige K-bemestingsadvies is gebaseerd.

Hoofdstuk 8: Geeft een aantal beperkingen van de huidige extractiemethode en het K-getal en een doorkijkje naar de gewenste situatie.

Hoofdstuk 9: In dit hoofdstuk zijn de conclusies en aanbevelingen geformuleerd.

Deze studie mondt uit in een advies om over te gaan naar een andere analysemethode en de aanpassingen van de adviezen voor de eerste en latere sneden hierop te baseren. Hiervoor is vervolgonderzoek nodig (fase 2).

2 Interacties tussen N- en K-voorziening op grasland

2.1 Opname van N door de plant

Het totale stikstofgehalte van planten ligt tussen de 2 en 4%. Stikstof wordt opgenomen in de vorm van NO_3^- en NH_4^+ . Bij lage temperaturen ($<12^\circ\text{C}$) wordt NH_4^+ preferent opgenomen. Bij hogere temperaturen is NO_3^- het voorkeursion. De opname van NO_3^- is een actief proces.

De stikstofopname vereist regulatie van de interne pH en het elektrisch potentiaal in de plantcellen (cytoplasma en vacuoles). Opname van N in de vorm van NO_3^- gaat gepaard met een hogere opname van kationen, waaronder K^+ , terwijl er bij opname van NH_4^+ een hogere opname van anionen waargenomen wordt (Marschner, 1998). Opname van N in de vorm van NH_4^+ (kation) of NO_3^- (anion) leidt tot andere mechanismen voor het handhaven van de interne pH en het elektrisch potentiaal (Mengel & Kirkby, 1987).

2.2 Opname van K door de plant

Opname van K^+ is het resultaat van zowel een actief als een passief proces. Bij lage concentraties van K^+ in de bodemoplossing overheerst het actieve opnamemechanisme (HATS: high affinity transport system), terwijl bij hoge concentraties het passieve opnamemechanisme overheerst (LATS low affinity transport system). Opname via het actieve opnamemechanisme wordt verhoogd bij een tekort aan K in de plant. Opname via het passieve opnamemechanisme is onafhankelijk van de K-status van de plant. (Britto & Kronzucker, 2007).

2.3 Interactie tussen N- en K-voorziening

Van Diest (1978) schrijft het volgende over interacties tussen N en K en tussen P en K:

“De opname door plantenwortels van o.a. K is een gecontroleerde opname via het zogenaamde carriër-systeem. De meeste ionen hebben een specifieke carriër, maar daarnaast lijken planten ook algemene carriërs te hebben, één voor kationen (positief geladen ionen) en één voor anionen (negatief geladen ionen), waardoor er competitie tussen verschillende (gelijkgeladen) ionen kan ontstaan. K is echter een ion dat niet snel weggeconcentreerd wordt. Zelfs een hoge concentratie Ca of Na concurreert K niet weg. Een positieve interactie tussen K en andere elementen bestaat in ieder geval indirect: een harder groeiend gewas (door een goede P en N bemesting) heeft meer K nodig en zal ook meer opnemen als het beschikbaar is. Er is uit proeven ook afgeleid dat K-opname wordt gestimuleerd door de opname van negatieve ionen als nitraat (NO_3^-). Er zou in ieder geval een positieve interactie tussen N-opname en K-opname bestaan en mogelijk ook tussen P en K opname”.

Bij het actieve opnamemechanisme voor K heeft NH_4^+ een remmend effect op de opname van K^+ . Omgekeerd heeft K^+ geen remmend effect op de opname van NH_4^+ (Mengel & Kirkby, 1987; Marschner, 1998; Britto & Kronzucker, 2007). Bij lage temperaturen wordt stikstof vooral in de vorm van NH_4^+ opgenomen. In het voorjaar zou er dus een directe negatieve interactie tussen N en K op kunnen treden bij een lage K-voorziening. Bij hogere temperaturen ($>12^\circ\text{C}$) wordt er vooral NO_3^- opgenomen. In het algemeen wordt er een positieve interactie tussen de N- en K-voorziening van een gewas waargenomen (Marschner, 1998).

2.4 Opbrengst en gewaskwaliteit

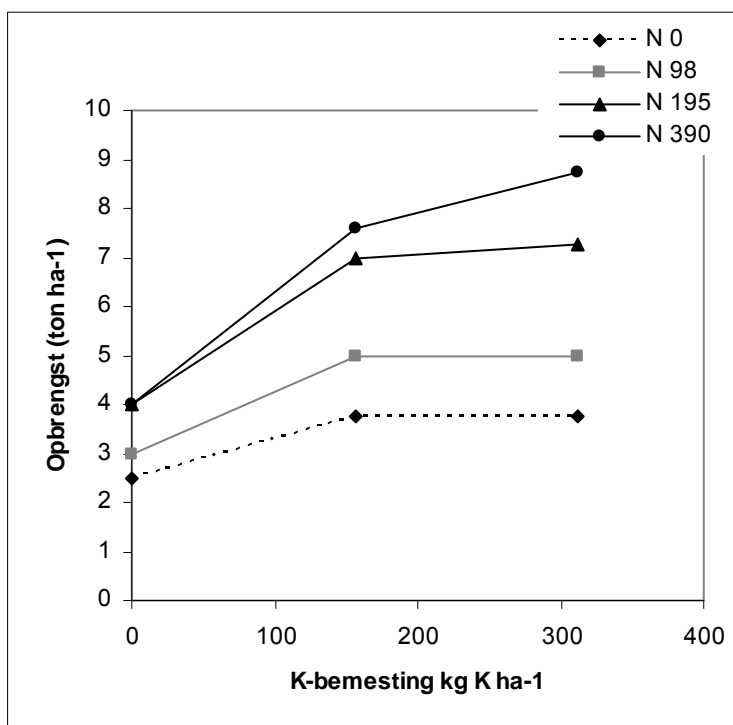
K is belangrijk voor het handhaven van de osmotische druk in de plantencellen. Bij een tekort aan K zullen de huidmondjes minder opengaan, waardoor de fotosynthese en daarmee de groei van het gewas wordt geremd. Bij een voldoende kalivoorziening en daarmee een goede osmotische druk in de vacuoles de plant minder gevoelig voor droogtestress en bij vorst minder gevoelig voor uitwinteren.

K is het begeleidende ion bij het transport van NO_3^- en aminozuren vanuit de wortels naar de bovengrondse delen (Pettigrew, 2007). Een tekort aan K leidt dan ook tot ophoping van NO_3^- in de wortels. Bij ophoping van NO_3^- wordt de verdere opname van NO_3^- geremd door een feedback mechanisme, wat leidt tot groeireductie. K is ook betrokken bij de eiwitvorming, waarbij K de omzetting van N naar eiwit stimuleert (Pettigrew, 2007).

Een voldoende K-voorziening is nodig voor een goede opbrengst en gewaskwaliteit met een voldoende eiwitgehalte. Kalium bevordert dus de benutting van de beschikbare N.

2.5 Resultaten onderzoek/proefvelden op grasland

Gething (1986) geeft een uitgebreid overzicht van experimenten naar N en K interacties. Hij concludeert daaruit dat bij een hoge N-bemesting de drogestofopbrengst afhankelijk is van de K-voorziening. Daarnaast stelt hij dat K de efficiëntie van de N-opname verhoogt, waardoor de maximale drogestofopbrengst al bij lagere N-bemesting bereikt zou kunnen worden. Voor grasland verwijst hij daarbij naar een experiment van Reith et al. (1961) in Schotland. Grasland met mengsel van gras en klaver werd 5 keer per jaar gemaaid en elk jaar bemest met combinaties van 0; 98; 195 of 390 kg N ha^{-1} en 0; 156 of 312 kg K ha^{-1} . Deze proeven werden aangelegd op 6 proefcentra, met vergelijkbare resultaten. In het eerste jaar was er alleen een opbrengstrespons op N. In het derde jaar was de opbrengstrespons op N afhankelijk van de K-bemesting, waarbij er tevens een sterke N*K interactie optrad (zie Figuur 2.1). De verklaring hiervoor is dat in het eerste jaar de levering van K uit de bodem nog voldoende was, terwijl de bodemnalevering van K in het derde jaar sterk verlaagd was, vooral bij de hoogste N-bemesting. Een N-bemesting boven 195 kg ha^{-1} leidt bij 0 K dan niet meer tot een hogere drogestofopbrengst. Als K beperkend is dan geeft N-bemesting een lagere opbrengstrespons dan op basis van de N-gift verwacht mag worden.



Figuur 2.1. Opbrengst grasland (droge stof) op proefcentrum Fingask na 3 jaar bemesting met oplopende hoeveelheden N en K (herleid van Reith et al., 1961).

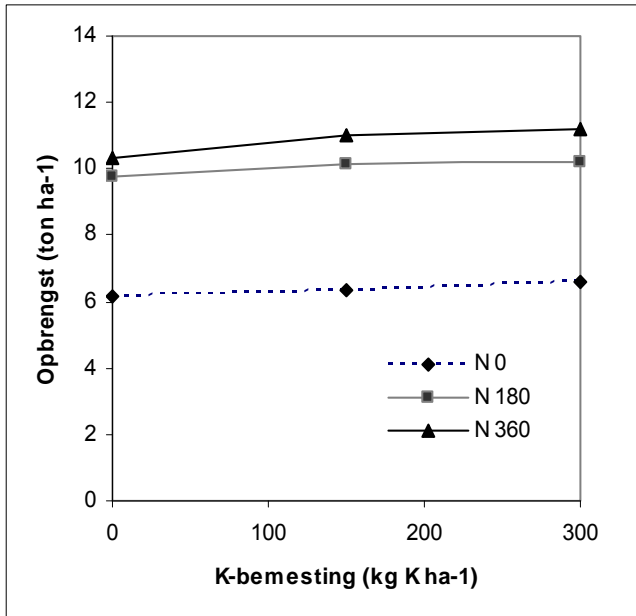
Milford & Johnston (2007) geven een overzicht van proeven op Rothamsted (UK) waarin de interactie tussen N en K op gewasproductie is onderzocht. De opbrengstrespons op N van gewassen bleek daarbij afhankelijk van de hoeveelheid plantbeschikbaar ofwel makkelijk extraheerbaar K (Kex). De opbrengst was aanzienlijk lager bij een te lage concentratie makkelijk extraheerbaar K (Kex). Bij een lage Kex was dan ook een aanvullende K-bemesting nodig voor een optimale oogst. In hun overzicht halen zij een meerjarig (1965-1968) experiment op grasland aan (Rothamsted, Engeland). Daarbij zijn twee verschillende stikstofgiften (40-80 kg N) gegeven vóór elk van de vier sneden, op gronden met twee verschillende gehalten aan plantbeschikbaar kalium (Kex). De opbrengsten lieten een sterk interactie-effect tussen N en K zien (Tabel 2.1). De respons op N-bemesting was hoger bij de grond met een hogere Kex, en het effect van Kex was sterker bij de hogere N-giften. Hier is sprake van interactie tussen N en K in de strikte definitie dat de respons op een gelijktijdige N+K voorziening hoger is dan de som van de respons op de afzonderlijke N en K voorziening.

Tabel 2.1. De interactie tussen N en K op de jaarlijkse droge stof opbrengst van grasland, Rothamsted, 1965-1968. (Milford & Johnston, 2007).

Plant beschikbaar K (mg Kex/kg grond)	N bemesting per snede	
	40 kg	80 kg
80	5,8	6,5
670	8,5	11,8

Adams (1973) voerde compleet factoriële proeven uit op 16 locaties in Noord-Ierland, waarbij het effect en de interactie tussen 3 bemestingsniveaus van N, P en K werden vergeleken. De bemesting kwam

overeen met $0-180-360 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ en $0-150-300 \text{ kg K ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Er was een sterk positief effect van N op de drogestofopbrengst, een klein effect van K en een zeer klein effect van P (Figuur 2.2). Daarbij was er interactie tussen N en K bemesting, maar geen interactie tussen N en P of tussen P en K. In het geval er naast de kunstmest ook dunne mest gegeven werd ($138.000 \text{ liter dunne mest ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$) was de opbrengstrespons op N lager en de opbrengstrespons op K en P nagenoeg afwezig. Aangenomen mag worden dat de gewasbehoefte grotendeels gedekt werd door de vrijkomende nutriënten vanuit de mest.

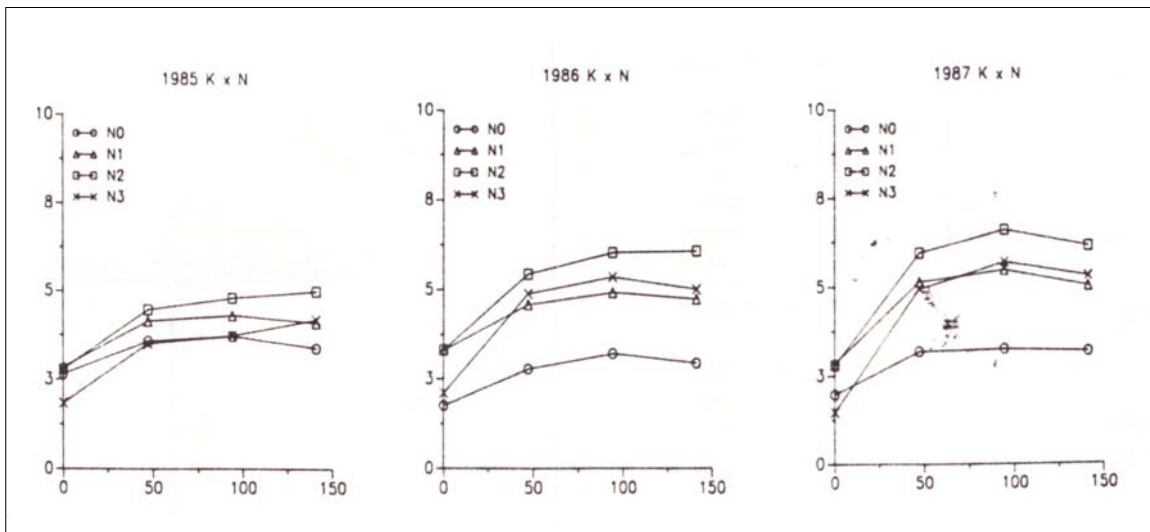


Figuur 2.2. Opbrengst (drogestof) van grasland bij bemesting met oplopende hoeveelheden N en K (gemiddelde waarden van 16 locaties) (Adams, 1973).

Bélanger et al. (1989) beschrijven een meerjarig veldexperiment (25 jaar) waarin de effecten van N-, P- en K-bemesting op de opbrengst, bestendigheid en voedingswaarde van timotheegras werd onderzocht (New Brunswick, Canada). Proefopzet was een volledig factoriële combinatie van vier niveaus van N-bemesting ($0-90-180-270 \text{ kg N ha}^{-1}$, met vier niveaus van P-bemesting ($0-15-29-44 \text{ kg ha}^{-1}$) en vier niveaus van K-bemesting ($0-47-94-141 \text{ kg K ha}^{-1}$), resulterend in 64 plotjes. De proef is in enkelvoud aangelegd. Er waren twee sneden per jaar.

De K-bemesting was van invloed op de botanische samenstelling van de grasmatt. Na 25 jaar was het aandeel timotheegras positief gerelateerd aan de K-bemesting, maar niet aan de N-bemesting. Het aandeel beemdgrassen en struisgrassen nam af bij een toenemende K-bemesting. Het aandeel niet-grasachtige was in alle plotjes verwaarloosbaar.

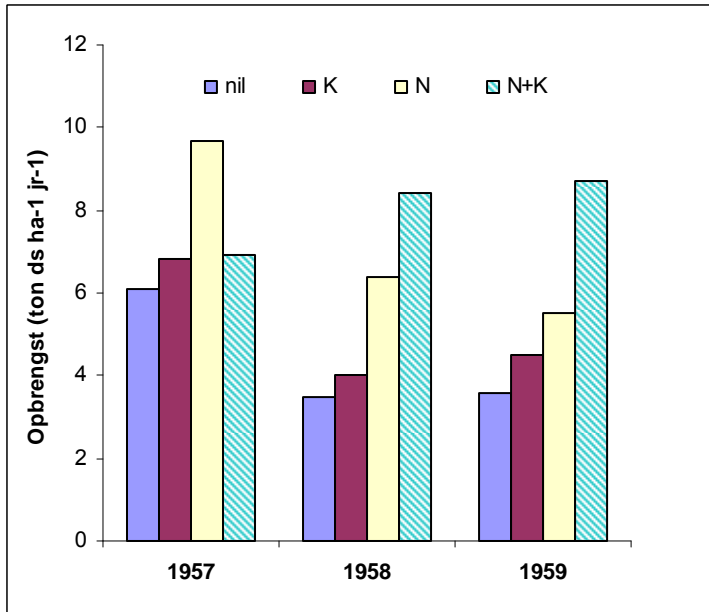
Zowel gedurende de eerste drie jaar als na 25 jaar bemesting was er respons op zowel de N als K-bemesting alsook een interactie-effect van $N \times K$ (Figuur 2.3). Opvallend is dat de hoogste N-bemesting, $270 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$, (N3) in de laatste 3 jaar een lagere opbrengst geeft dan een bemesting met $180 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ (N2). De opbrengst bij 0 K en 270 N is lager dan bij de andere N-bemestingsniveaus. Dit duidt op een sterke uitputting van het beschikbare K in de bodem bij dit object.



Figuur 2.3. Opbrengst van grasland gedurende 3 jaren (1985-1987) na 25 jaar bemesting met oplopende hoeveelheden N en K (Bélanger et al., 1989).

Hemingway (2007) geeft een overzicht van resultaten van veldproeven, uitgevoerd in de jaren 50-60 van de vorige eeuw in Groot-Brittannië, waarin de respons van grasland op bemesting met N en K werd onderzocht. De resultaten van deze proeven geven het belang aan van goede K-voorziening. Een van de eerste proeven naar NxK interactie op grasland was die van Hemingway 1961. Op bestaand grasland werd de opbrengstrespons op een N en K-bemesting, enkel of gecombineerd, vergeleken met die van onbemest grasland. De N-bemesting was $360 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ en de K-bemesting $147 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$. Bij bemesten met enkel N ofwel enkel K was er in het eerste jaar een sterke respons op N en een kleine respons op K (Figuur 2.3). In de volgende jaren nam de respons op N-bemesting zonder K-bemesting af, terwijl de respons op gecombineerde N+K bemesting toenam. Het aandeel klaver nam af in de plots met N-bemesting.

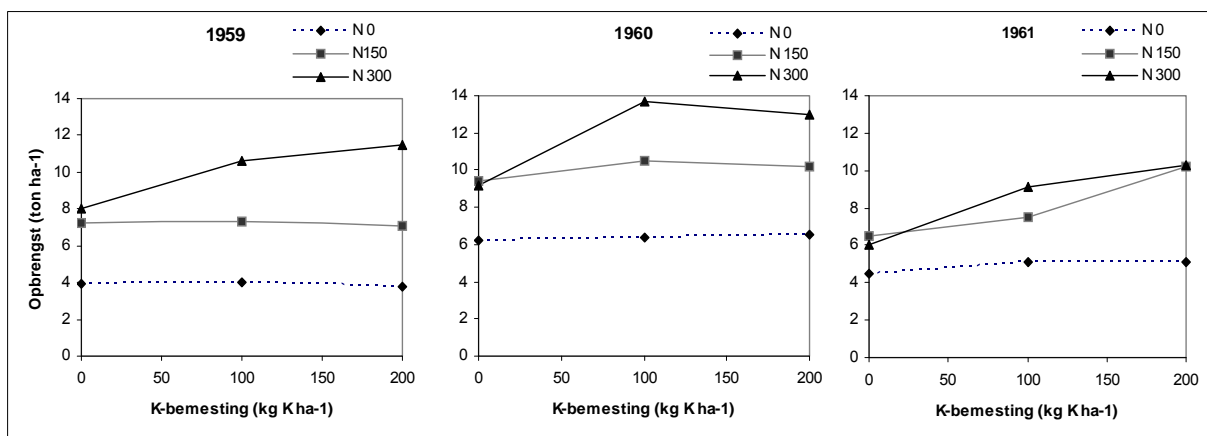
De geringe N-respons in jaar 2 en 3 duidt erop dat K de beperkende factor is. Jaar 3 laat duidelijk zien dat de opbrengstreactie van N+K groter is dan de som van de afzonderlijke reacties van N en K. Dit is interactie.



Figuur 2.4. Effect van bemesting met N en K enkel of gecombineerd op de drogestofopbrengst van grasland (4 snedes) vergeleken met onbemest grasland gedurende 3 jaar (Hemingway, 1961 en 1963 in Hemingway, 2007).

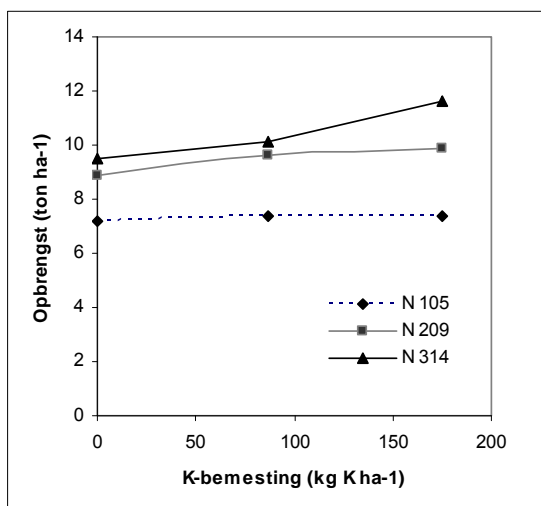
Wolton et al., 1968 (in Hemingway, 2007) voerden een driejarige veldproef uit, waarin het effect van N- en K-bemesting werd vergeleken. Drie niveaus van N (0-150-300 kg N ha⁻¹ jr⁻¹) werden volledig factorieel gecombineerd met 3 niveaus van K (0-100-200 kg K₂O ha⁻¹ jr⁻¹) en in drie gelijke giften verdeeld over het groeiseizoen toegediend. Er was een sterke respons op N bemesting waarbij de respons op de hoogste N gift toenam met de K-bemesting (Figuur 2.5). Dit duidt op een interactie-effect. In het tweede en derde jaar was de opbrengst bij 0 K en 300 N lager dan die bij 0 K en 150 N. Dit geeft aan dat K hier beperkend is.

De lagere opbrengstniveaus in het derde proefjaar 1961 werden geweten aan de beperkte regenval in dat jaar. Er was in dat jaar een sterkere reactie bij 150 N en 200 K₂O ten opzichte van 150 N en 100 K₂O. De goede K-voorziening bij 200 K₂O kan ertoe geleid hebben dat het gras minder gevoelig was voor droogte (stressbestendiger was) waardoor het in dit droge jaar beter door kon groeien en een zelfde opbrengstniveau bereiken als 300 N en 200 K₂O.



Figuur 2.5 Opbrengst van grasland bij oplopende N en K bemesting gedurende 3 jaren (1959-1961). (Wolton et al., 1968 in Hemingway, 2007).

Widdowson et al., 1965 (in Hemingway, 2007) voerden op Rothamsted een veldproef uit met een volledig factoriële combinatie van 3 N-bemestingsniveaus (105-209-314 kg N ha⁻¹ jr⁻¹) en 3 K-bemestingsniveaus (0-87-175 kg K₂O ha⁻¹ jr⁻¹). De kunstmest werd gelijkmatig over de 3 sneden per jaar verdeeld: de eerste gift in het voorjaar en de volgende giften na de geoogste sneden. Er was een duidelijk respons op N-bemesting en op K-bemesting, met een duidelijke interactie (Figuur 2.6). Bij de laagste N bemesting (105 kg N ha⁻¹ jr⁻¹) was er geen effect van K-bemesting. Bij 209 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ was er een lichte opbrengstrespons op de K-bemesting, terwijl bij 314 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ er een sterke opbrengstrespons was tot 175 kg K₂O ha⁻¹ jr⁻¹.



Figuur 2.6. Opbrengst van grasland (gemiddelde van 3 proefjaren) bij oplopende N- en K-bemesting gedurende 3 jaren (1959-1961). (Widdowson et al., 1965 in Hemingway, 2007).

2.6 Gewaskwaliteit

In zijn review vermeldt Gething (1986) de resultaten van een potproef met Engels raaigras van Novakowski (1972). Een hoge N-gift zonder K gaf een verhoging van het gehalte aan NO₃⁻ en opgelost organisch-N, maar niet van het gehalte aan eiwit-N. Een gelijktijdige N + K gift verhoogde het gehalte aan eiwit-N en verlaagde de gehalten aan NO₃⁻ en opgelost organisch-N.

Tabel 2.2. Effect van oplopende K-bemesting op het gehalte aan eiwit N, opgelost organisch N en NO₃-N in Engels raaigras in een potproef bij een N-bemesting van 160 mg N kg⁻¹ grond.

K-gift (mg K kg ⁻¹ grond)	Eiwit-N	Opgelost organisch N	NO ₃ -N
0	77,8	12,84	7,79
60	85,9	11,76	1,3
120	8,1	9,3	0,94
240	92,0	7,53	-

Dit is in overeenstemming met Pettigrew, 2007. Hij vermeldde dat een tekort aan K als begeleidend ion bij het transport van NO₃⁻ en aminozuren vanuit de wortels naar de bovengrondse delen leidt tot ophoping van NO₃⁻ in de wortels. Bij ophoping van NO₃⁻ wordt de verdere opname van NO₃⁻ geremd door een feedback mechanisme, wat leidt tot groeireductie. K is ook betrokken bij de eiwitvorming, waarbij K de omzetting van N naar eiwit stimuleert.

2.7 Conclusies

- De hoeveelheid onderzoek uitgevoerd naar interacties tussen de N- en K-voorziening op grasland is beperkt.
- Dat onderzoek laat echter duidelijk zien dat deze interacties aanwezig zijn. Het interactie-effect treedt vooral op bij een tekort aan plantbeschikbaar K. De extra gegeven stikstof kan dan niet goed worden benut en leidt maar beperkt of zelfs niet tot extra gewasopbrengst.
- Een tekort aan K kan resulteren in een verhoogd NO_3^- -gehalte en gehalte aan opgelost organisch N en een verlaagd gehalte aan eiwit-N.
- In § 2.4 is aangegeven dat K het begeleidende ion is bij het transport van NO_3^- en aminozuren vanuit de wortels naar de bovengrondse delen. Bij een tekort aan K wordt de opname van NO_3^- geremd, wat leidt tot groeireductie. Inbouwen van interacties in het bemestingsadvies is mogelijk door het K-bemestingsadvies zodanig op te stellen dat er geen tekort aan plantbeschikbaar K optreedt.

3 Kali-balansen op melkveebedrijven

Op melkveebedrijven in Nederland was voor 2006 over het algemeen (ruim) voldoende kali aanwezig om het grasland bij een voldoende en hogere kalitoestand volgens advies te kunnen bemesten. Sinds 2006 mogen bedrijven echter niet meer dan 170 kg N per ha uit dierlijke mest op hun grond toedienen. Melkveebedrijven met minimaal 70% grasland kunnen derogatie aanvragen. In dat geval mogen zij 250 kg N per ha toedienen. Dit is inclusief de mest die door weidend vee achtergelaten wordt op het grasland. Intensieve melkveebedrijven moeten het overschot aan mest afvoeren. Met die mest gaat ook kali van het bedrijf af. De verwachting is dat de hoeveelheid kali die op het bedrijf achterblijft niet voldoende is om gras en maïs volgens advies te bemesten.

Hoewel er wettelijk geen beperkingen zijn aan de kaligift, zijn melkveehouders niet gewend om kunstmestkali aan te voeren. Er is ook vaak weinig aandacht voor de kalivoorziening van gras en maïs. De kalitoestand gaat in geval van tekort achteruit en, afhankelijk van de voorraad in de bodem, zal er op lange of korte termijn kaligebrek optreden. In Hoofdstuk 2 hebben we kunnen zien dat daarmee ook de N-benutting lager wordt.

Om na te gaan of er voldoende kali in de mest op bedrijven achterblijft zijn berekeningen uitgevoerd met het Bedrijfs Begrotings Programma Rundveehouderij (BBPR) van ASG.

Het doel van deze berekeningen is om na te gaan of de hoeveelheid organische mest, die volgens de gebruiksnormen toegepast mag worden, voldoende kali bevat om volgens advies te bemesten en of veranderingen in K toestand van het grasland en beweidingssysteem daar invloed op hebben. Tevens wordt nagegaan hoe de bodembalans voor kali is als er wel en geen kunstmestkali wordt toegepast. Bij een negatieve bodembalans is te verwachten dat de kalitoestand van het grasland achteruit gaat.

3.1 Opzet van de berekeningen

Gekozen is voor drie typen bedrijven, op zand, klei en veen en de gemiddelde veebezettingen die bij deze grondsoorten in Nederland horen. De basisgegevens van deze bedrijven zijn overgenomen uit een eerdere studie naar de effecten van het mestbeleid (De Haan et al., 2005). Het bedrijf op zand is het meest intensief en het bedrijf op veen het minst (Tabel 3.1). Met deze drie typen bedrijven is een groot deel van de gespecialiseerde melkveebedrijven in Nederland vertegenwoordigd.

Met de modelbedrijven zijn enkele scenarioberekeningen uitgevoerd:

Deze bedrijven passen beweiding toe: op zand en klei beperkt weiden, op veen onbeperkt weiden. In de scenario's is nagegaan wat het betekent als op veen beperkt wordt geweid en op zand en klei wordt opgesteld.

Op klei is tevens een intensiever bedrijf doorgerekend.

Op alle drie de bedrijven is de kalitoestand op grasland voldoende. In de scenario's wordt hetzelfde bedrijf doorgerekend met een lage kalitoestand.

De hoogte van de N-bemesting is (mede) bepalend voor de hoogte van de opbrengst, daardoor voor het aantal sneden en de hoogte van het bemestingsadvies voor kali. Er is voor de hoogte van de N-bemesting uitgegaan van de gebruiksnormen van 2009 voor werkzame N, omdat dit in de rekensets zo

toegepast was. Voor klei en veen zijn de N gebruiksnormen op grasland en maïslaan van 2009 gelijk aan die van 2010 tot en met 2013. Voor zand zijn ze vanaf 2010 voor grasland en maïslaan 10-20 kg N per ha lager. De N-gebruiksnorm is op alle grondsoorten bij weiden lager dan bij alleen maaien.

Tabel 3.1. Bedrijfskenmerken van de modelbedrijven op zand, klei en veen.

Grondsoort	zand	klei	veen
Aantal melkkoeien	63,1	71,1	63,7
Percentage pinken	34,0	33,2	30,4
Percentage kalveren	36,0	35,0	32,0
Beweidingssysteem	beperkt	beperkt	onbeperkt
Kg melk per melkkoe	7.620	7.750	7.440
Kg quotum per ha	14.979	13.182	12.059
Oppervlakte grasland, ha	22,5	37,4	37,0
Oppervlakte maïslaan, ha	9,6	4,4	2,3
K-gehalte weidegras, g/kg	36,6	36,6	36,6
K-gehalte gras voederwinning, g/kg	32,0	32,0	32,0
K-gehalte maïs veldgewas, g/kg	12,6	12,6	12,6
K ₂ O toestand grasland	voldoende	voldoende	voldoende
K-getal bouwland	12	12	12

De ruimte voor kunstmest wordt in de gebruiksnorm als volgt berekend:

Kunstmestruimte =

Gebruiksnorm per ha voor grasland * oppervlakte grasland +
gebruiksnorm per ha voor maïslaan * oppervlakte maïslaan -
aanwezige dierlijke mest (vaak 250 kg N per ha) * wettelijke werkingscoëfficiënt.

Deze berekende N-kunstmestruimte wordt in BBPR gebruikt. Vervolgens is gerekend met de landbouwkundige N-werkingscoëfficiënt voor N in dierlijke mest. Die is lager dan de wettelijke N-werkingscoëfficiënt waardoor het N bemestingsniveau landbouwkundig lager uitkomt dan de gebruiksnorm.

De bodembalans voor kali is gelijk aan aanvoer minus afvoer.

Tot de aanvoer wordt gerekend:

- bemesting met organische mest;
- bemesting met kunstmest; en
- de mest die door weidende dieren uitgescheiden wordt: weidemest.

Tot de afvoer wordt gerekend:

- afvoer van gras door maaien;
- afvoer van gras door weidende dieren (opname); en
- afvoer van voedergewassen, in dit geval snijmaïs.

Alle posten zijn in BBPR omgerekend naar kg K₂O per ha op het bedrijf. In BBPR is verder uitgegaan van een gemiddeld K-gehalte in het gras dat onafhankelijk is van N-bemesting of K-toestand van de bodem. Aanvoer door depositie en mineralisatie uit de bodem en verliezen door uitspoeling zijn buiten beschouwing gelaten.

3.2 Zandgrond

3.2.1 Scenario's

De intensiteit van het modelbedrijf op zandgrond is een quotum van bijna 15.000 kg melk per ha gras en maïs. De productie per melkkoe is 7620 kg per jaar. De veebezetting is 1,97 melkkoe per ha. De jongvee bezetting is 34 % pinken en 36 % kalveren van het aantal melkkoeien (Tabel 3.1).

Het modelbedrijf (bw-vold, Tabel 3.2) heeft een advies van 225 kg K₂O per ha gemiddeld over grasland en maïsland. Er is ruim 195 kg K₂O per ha beschikbaar in de organische mest, 94 kg K₂O per ha moet afgevoerd worden volgens de gebruiksnormen. Er is 30 kg K₂O per ha uit kunstmest nodig om volgens advies voldoende te kunnen bemesten. Bij een lage kalitoestand op grasland is er 31 kg K₂O per ha op het bedrijf meer nodig om overeenkomstig advies te kunnen bemesten.

Tabel 3.2. Kali advies, -bemesting en -bodemoverschot op zand bij beperkt weiden en opstallen voor bedrijf uit Tabel 3.1.

Bedrijf op zandgrond	bw-vold*	bw-laag*	stal-vold*	stal-laag*
Beweidingsstelsel	beperkt	beperkt	opstallen	opstallen
N bemesting grasland	227	227	287	287
N bemesting maïsland	150	150	150	150
K ₂ O toestand grasland	vold	laag	vold	laag
K-getal bouwland	12	12	12	12
K ₂ O advies grasland, kg/ha	210	256	522	562
K ₂ O org. mest maïsland, kg/ha	260	260	260	260
K ₂ O advies bedrijf, kg/ha	225	257	444	472
K ₂ O org. mest maïsland, kg/ha	182	195	451	456
K ₂ O org. mest maïsland, kg/ha	225	198	224	211
K ₂ O org. mest bedrijf, kg/ha	195,5	195,5	383,1	383,1
K ₂ O kunstmest grasland, kg/ha	28	61	71	106
K ₂ O kunstmest maïsland, kg/ha	35	62	36	49
K ₂ O kunstmest bedrijf, kg/ha	29,9	61,2	60,6	87,7
K ₂ O in weidemest, kg/ha	94,7	94,7	0	0
K ₂ O afvoer gewas, netto (graskuil+maïskuil+ weidegras), kg/ha	322,3	322,3	402,2	402,2
K ₂ O bodemoverschot exclusief kunstmest, kg/ha	-32,1	-32,1	-19,1	-19,1
K ₂ O bodemoverschot inclusief kunstmest, kg/ha	-2,2	+29,1	+41,5	+68,4
Mestafvoer, m ³	507	507	319	319
K ₂ O gehalte, kg/m ³	5,96	5,98	6,83	6,83
Mestafvoer, kg K ₂ O /ha	94	94	68	68

* bw: beperkt weiden, stal: opstallen, vold: K-toestand voldoende, laag: K-toestand laag.

Bij opstallen (stal-vold) is het advies 444 kg K₂O per ha op het bedrijf (bij toestand voldoende op grasland). Er is 383 kg K₂O per ha beschikbaar in de organische mest. Bij een voldoende kalitoestand

op grasland is er 61 kg K₂O per ha met kunstmest nodig. Bij een lage kalitoestand is dit 88 kg K₂O per ha. Omdat is uitgegaan van een vast K-gehalte in het gras is de K afvoer met gewas bij voldoende en lage K-toestand gelijk. Bij opstallen is de afvoer van K met gewas hoger, omdat er meer gemaaid wordt en de N-bemesting hoger is. Het K-advies is ook hoger bij opstallen door het grotere aantal maaisneden. Er is echter meer organische mest beschikbaar, omdat alle mest in de opslag komt.

Voor zand is uitgegaan van N-gebruiksnormen van 2009. Die zijn 10 (bij weiden) tot 20 (bij maaien) en 10 (op maïs) kg N per ha hoger dan voor 2010 tot 2013. Dit zal een beperkte invloed hebben op de uitkomsten van de berekeningen. Er zal vanaf 2010 iets minder gemaaid kunnen worden waardoor het K-advies iets lager is en de K afvoer met gewas iets lager. Het bodemoverschot zonder kunstmest zal echter negatief blijven.

3.2.2 Uitkomsten

- Door de verplichte mestafvoer hebben de bedrijven, wanneer ze geen kunstmest zouden aanvoeren, een negatieve bodembalans. Dat betekent dat hun voorraad kali in de bodem zonder kunstmest daalt.
- Bij K-getal voldoende, mestafvoer en beweiding is 30 kg K₂O kunstmest per ha nodig om volgens advies te bemesten en de bodembalans ongeveer op 0 te krijgen.
- Bij K-getal voldoende, mestafvoer en opstallen is ongeveer 60 kg K₂O kunstmest per ha nodig om volgens advies te bemesten en 19 kg K₂O per ha om de bodembalans op 0 te krijgen.
- Bij een lage K-toestand op grasland is er volgens advies 27 tot 31 kg K₂O per ha op bedrijfsniveau meer nodig dan bij een voldoende K-toestand op grasland. Dit is voornamelijk het verschil in advies voor de eerste snede van het grasland. Het bodemoverschot moet positief zijn om verliezen aan K (uitspoeling) op te vangen en het K-getal op voldoende te handhaven of bij een lage toestand op voldoende te brengen.

3.3 *Klei*

3.3.1 Scenario's

De intensiteit van het modelbedrijf op kleigrond is een quotum van ruim 13.000 kg per ha gras en maïs. De productie per melkkoe is 7.750 kg melk per jaar, de veebezetting is 1,70 melkkoe per ha. De jongvee bezetting is 33,2 % pinken en 35,0 % kalveren van het aantal melkkoeien (Tabel 3.1).

Het modelbedrijf op klei (bw-vold; Tabel 3.3) heeft een advies van 324 kg K₂O per ha gemiddeld over grasland en maïsland. Er is 342 kg K₂O per ha beschikbaar in de organische mest, na afvoer van 26 kg K₂O per ha volgens de gebruiksnormen. Er is geen kunstmestkali nodig mits de organische mest zo verdeeld wordt over maïs en gras dat beide overeenkomstig of boven advies bemest worden. Bij een lage kalitoestand op grasland is er 18 kg kunstmest-kali per ha op het bedrijf nodig om overeenkomstig advies te kunnen bemesten.

Het intensieve kleibedrijf (bw-vold-int; Tabel 3.3) met 15.000 kg quotum per ha heeft een advies van 287 kg K₂O per ha op bedrijfsniveau. Dit is 42 kg lager dan op het gemiddelde kleibedrijf. Dit wordt vooral veroorzaakt door de intensievere beweiding waardoor dat bedrijf minder maait. Er is 308 kg K₂O per ha beschikbaar in organische mest, er is dus geen kunstmest nodig. Bij een lage kalitoestand op grasland is er ruim 7 kg K₂O uit kunstmest per ha op bedrijfsniveau nodig om overeenkomstig advies te kunnen bemesten.

Bij opstallen (stal-vold; Tabel 3.3) is het advies 470 kg K₂O per ha op het bedrijf. Er is 471 kg K₂O per ha beschikbaar in de organische mest. Bij een voldoende kalitoestand op grasland is er geen kunstmest

nodig. Bij een lage kalitoestand is dit ruim 46 kg K₂O per ha.

Net als bij zandgrond is de afvoer van K bij de voldoende en lage K-toestand gelijk door een gelijk verondersteld K-gehalte van het gras. Bij een intensievere veebezetting is de K-afvoer met het gewas lager, omdat er meer geweid wordt. Daardoor worden er minder maaisneden geoogst. De jaarlijkse grasopbrengst is dan lager. Op het intensievere bedrijf is de N-bemesting vrijwel even hoog als op het modelbedrijf. Het K-advies is op het intensievere bedrijf lager, omdat er minder gemaaid wordt. Bij opstallen is de afvoer met gewas hoger dan bij beweiden. Dit is een gevolg van meer maaien en de hogere N-bemesting. Ook het K-advies is hoger, omdat er meer sneden gemaaid worden. Er is, net als op zand, meer organische mest beschikbaar, omdat alle mest in de opslag terecht komt.

Tabel 3.3. Kali advies, -bemesting en -bodemoverschot op het modelbedrijf uit Tabel 3.1 op klei bij beperkt weiden, beperkt weiden met intensieve veebezetting en bij opstallen.

Bedrijf op kleigrond	bw-vold*	bw-laag*	bw-vold-int	bw-laag-int	stal-vold	stal-laag
Aantal melkkoeien	71,1	71,1	81,1	81,1	71,1	71,1
Beweidingsstelsel	beperkt	beperkt	beperkt	beperkt	opstallen	opstallen
Kg quotum/ha	13.182	13.182	15.036	15.036	13.182	13.182
N bemesting gras, kg/ha	282	282	277	277	338	338
N bemesting maïs kg/ha	160	160	160	160	160	160
K ₂ O toestand grasland	vold	laag	vold	laag	vold	laag
K ₂ O advies gras, kg/ha	327	367	285	318	490	544
K ₂ O advies maïs, kg/ha	300	300	300	300	300	300
K ₂ O advies bedrijf, kg/ha	324	360	287	316	470	518
K ₂ O org. mest gras, kg/ha	347	347	309	309	491	491
K ₂ O org. mest maïsland, kg/ha	300	300	300	300	300	300
K ₂ O org. mest bedrijf, kg/ha	342	342	308	308	472	472
K ₂ O kunstm gras, kg/ha	0	20	0	9	0	53
K ₂ O kunstm maïs, kg/ha	0	0	0	0	0	0
K ₂ O kunstm bedrijf, kg/ha	0	17,8	0	7,3	0	46,4
K ₂ O in weidemest, kg/ha	105	105	119,9	119,9	0	0
K ₂ O afvoer gewas, netto (graskuil+ maïskuil+ weidegras), kg/ha	465	465	460,2	460,2	482,2	482,2
K ₂ O bodemoverschot exclusief kunstmest, kg/ha	-18,	-18	-32,3	-32,3	-10,5	-10,5
K ₂ O bodemoverschot inclusief kunstmest, kg/ha	-18	-0,2	-32,3	-25,0	-10,5	+35,9
Mestafvoer, m ³	137	137	479	479	122	122
K ₂ O gehalte, kg/m ³	7,88	7,88	7,61	7,61	8,02	8,02
Mestafvoer, kg K ₂ O/ha	26	26	87	87	23	23

*bw: beperkt weiden, stal: opstallen, int: intensief, vold: K-toestand voldoende, laag: K-toestand laag.

3.3.2 Uitkomsten

- Bij K-getal voldoende is op klei in de scenario's modelbedrijf, intensiever en opstallen geen kunstmestkali nodig om overeenkomstig advies te bemesten. De bodembalansen zijn negatief. Er is respectievelijk ruim 18, 32 en 10 kg K₂O per ha nodig om de bodembalansen op 0 te krijgen.
- Bij K-toestand laag op grasland is er op het modelbedrijf op bedrijfsniveau 18 kg K₂O kunstmest per ha nodig om overeenkomstig advies te kunnen bemesten. Op het intensieve bedrijf is dit ruim 7 kg en bij opstallen ruim 46 kg K₂O kunstmest per ha.
- De bodembalansen zonder kunstmestkali zijn negatief. De kalivoorraad in de bodem zal dan afnemen. Kleigrond bevat over het algemeen echter een grote voorraad kali. De kalitoestand in de bodem hoeft dan niet af te nemen of dit gaat zeer langzaam.

3.4 Veen

3.4.1 Scenario's

De intensiteit van het modelbedrijf op veengrond is een quotum van ruim 12.000 kg per ha gras en maïs. De productie per melkkoe is 7440 kg melk per jaar; dus is er 1,62 melkkoe per ha. De jongvee bezetting is 30.4 % pinken en 32.0 % kalveren ten opzichte van de melkkoeien. Er is uitgegaan van maïsland op kleigrond.

Het modelbedrijf op veen (veen-onbeperkt weiden-voldoende, Tabel 3.4) heeft een advies van 178 kg K₂O per ha gemiddeld over grasland en maïsland. Er is 247 kg K₂O per ha beschikbaar in de organische mest. Er hoeft volgens de gebruiksnormen geen mest afgevoerd te worden. Er is geen kalikunstmest nodig mits de organische mest zo verdeeld wordt over maïs en gras dat beide overeenkomstig of boven advies bemest worden. Bij een lage kalitoestand op grasland is ook geen kunstmest-kali op het bedrijf nodig om overeenkomstig advies te kunnen bemesten.

Bij beperkt weiden (veen-beperkt weiden -voldoende, Tabel 3.4) is het advies bij toestand voldoende op grasland 289 kg K₂O per ha op het bedrijf. Bij een lage toestand op grasland is er 329 kg K₂O per ha nodig. Er is in beide gevallen 342 kg K₂O per ha beschikbaar in de organische mest. Bij een voldoende of een lage kalitoestand op grasland is dan er geen kunstmest nodig.

De K-afvoer met het gewas is bij beperkt weiden hoger dan bij onbeperkt weiden. Bij beperkt weiden wordt er meer gemaaid. De N-bemesting is ook iets hoger doordat er meer mest in de opslag komt die netjes toegediend kan worden. Voor weidemest wordt landbouwkundig uitgegaan van een N-werkingscoëfficiënt van nul.

3.4.2 Uitkomsten

Op veengrond is er in alle situaties ruim voldoende K₂O in de mest aanwezig om overeenkomstig of boven het advies te kunnen bemesten. Het bodemoverschot is positief. Op veengrond hoeft bij de gekozen veebezetting geen mest afgevoerd te worden. Bij een lage kalitoestand op grasland is er 30-40 kg K₂O per ha meer nodig dan bij een voldoende kalitoestand op grasland.

Bij beperkt weiden is er op bedrijfsniveau 110-120 kg K₂O per ha meer nodig dan bij onbeperkt weiden. Dit kan echter opgevangen worden uit de extra mest die bij beperkt weiden in de opslag komt.

Tabel 3.4. Kaliadvies, -bemesting en -bodemoverschot op het modelbedrijf uit Tabel 3.1 op veen bij onbeperkt en beperkt weiden.

Bedrijf op veengrond	onb-vold*	onb-laag*	bw-vold*	bw-laag*
Beweidingsstelsysteem	onbeperkt	onbeperkt	beperkt	beperkt
N bemesting grasland, kg/ha	211	211	236	236
N bemesting maïsland, kg/ha	160	160	160	160
K ₂ O toestand grasland	vold	laag	vold	laag
K ₂ O advies grasland, kg/ha	170	203	288	331
K ₂ O advies maïsland, kg/ha	300	300	300	300
K ₂ O advies bedrijf, kg/ha	178	209	289	329
K ₂ O org. mest grasland, kg/ha	243	243	345	345
K ₂ O org. mest maïsland, kg/ha	300	300	300	300
K ₂ O org. mest bedrijf, kg/ha	247,0	247,0	342,7	342,7
K ₂ O kunstmest grasland, kg/ha	0	0	0	0
K ₂ O kunstmest maïsland, kg/ha	0	0	0	0
K ₂ O kunstmest bedrijf, kg/ha	0	0	0	0
K ₂ O bemesting boven advies, kg/ha	69	38	54	14
K ₂ O in weidemest, kg/ha	173,7	173,7	92,4	92,4
K ₂ O afvoer gewas, netto (graskuil+maïskuil+ weidegras), kg/ha	366,6	366,6	393,7	393,7
K ₂ O bodemoverschot, kg/ha	54,1	54,1	41,4	41,4
Mestafvoer, m ³	0	0	0	0
K ₂ O gehalte, kg/m ³	6,89	6,89	7,68	7,68
Mestafvoer, kg K ₂ O /ha	0	0	0	0

*onb: onbeperkt weiden, bw: beperkt weiden, vold: K-toestand voldoende, laag: K-toestand laag

3.5 Invloed K-gehalte van weidegras op bodembalans

Bij de berekeningen uit de vorige paragraaf is gebruik gemaakt van het standaard K-gehalte van weidegras en kuilgras zoals dat in BBPR staat (respectievelijk 36,6 en 32,0 g K per kg ds). Dit standaard gehalte is overgenomen uit de veevoertabel van CVB (CVB, 2008). In Hoofdstuk 4 wordt echter beschreven dat het wenselijk is dat het K-gehalte van (weide)gras lager dan 35 g per kg ds is. Daarom zijn de berekeningen nog eens uitgevoerd met een K-gehalte van 33,0 g per kg ds in weidegras. Het K-gehalte in kuilgras is op 32,0 gehouden. De scenario's waarbij de dieren worden opgesteld zijn niet opnieuw berekend. Hierin komt immers geen weidegras voor.

3.5.1 Zandgrond

Op de zandbedrijven is de berekende afvoer van rundermest in volume vrijwel gelijk met de eerdere scenario's, omdat aan P en N niets veranderd is. Maar de afvoer aan kali is 2 kg K₂O per ha lager, omdat er minder K in de voeding zit en er daardoor ook minder in de mest terecht komt. Het bodemoverschot op de zandbedrijven met voldoende en met lage K-toestand wordt door het lagere K-gehalte in het weidegras 2 kg K₂O per ha hoger (minder negatief), als er geen kunstmest wordt gebruikt (vergelijk Tabel 3.2 en Tabel 3.5).

Tabel 3.5. Kali advies, -bemesting en -bodemoverschot op zand bij beperkt weiden voor bedrijf uit Tabel 3.1. Het K-gehalte in weidegras 33,0 g K per kg ds.

Bedrijf op zandgrond	bw-vold-Kgeh 33*	bw-laag-Kgeh 33*
Beweidingsstelsysteem	beperkt	beperkt
N bemesting grasland	227	227
N bemesting maïslaan	150	150
K ₂ O toestand grasland	vold	laag
K-gehalte bouwland	12	12
K ₂ O advies grasland, kg/ha	218	258
K ₂ O advies maïslaan, kg/ha	260	260
K ₂ O advies bedrijf, kg/ha	231	259
K ₂ O org. mest grasland, kg/ha	180	190
K ₂ O org. mest maïslaan, kg/ha	215	191
K ₂ O org. mest bedrijf, kg/ha	190	190
K ₂ O kunstmest grasland, kg/ha	38	68
K ₂ O kunstmest maïslaan, kg/ha	45	69
K ₂ O kunstmest bedrijf, kg/ha	40	68
K ₂ O in weidemest, kg/ha	84,2	84,2
K ₂ O afvoer gewas, netto (graskuil+maïskuil+ weidegras), kg/ha	304,5	304,5
K ₂ O bodemoverschot exclusief kunstmest, kg/ha	-29,8	-29,9
K ₂ O bodemoverschot inclusief kunstmest, kg/ha	+10,3	+38,4
Mestafvoer, m ³	508	508
K ₂ O gehalte, kg/m ³	5,84	5,84
Mestafvoer, kg K ₂ O /ha	92	92

* bw = beperkt weiden, vold = K-toestand voldoende, laag = K-toestand laag, Kgeh 33 = K-gehalte van weidegras 33,0 g K per kg ds.

Op het hele bedrijf blijft de aanvoer met krachtvoer en ruwvoer en de afvoer met melk en vlees gelijk en de afvoer van K₂O met mest wordt 2 kg K₂O per ha lager. Omdat er geen gasvormige K-verliezen zijn, moet dit terugkomen op de bodembalans.

Dit verschil zien we als volgt terug in de aan- en afvoerposten van de bedrijfsbalans: Er wordt 18 kg K₂O per ha minder in het gewas opgenomen en door het vee daardoor minder in de mest geproduceerd. Er wordt uiteindelijk 5 kg K₂O minder uitgereden op het land en 11 kg K₂O per ha minder uitgescheiden in de weidemest. Het verschil in bodemoverschot is dan 2 kg K₂O per ha.

Er is volgens advies wel meer kunstmest nodig, omdat er minder K₂O in de rundermest zit en het advies geen rekening houdt met het lagere K-gehalte van het gras. Naar verwachting moet deze extra kali niet gegeven worden. Het K-gehalte in het gras zou dan weer verhoogd worden. Het streven moet gericht zijn op een voldoende K-gehalte voor een goede grasgroei, maar niet hoger dan nodig is in verband met de gezondheid van het vee. Zie voor het gewenste K-gehalte Hoofdstuk 4 § 4.5.4.

Opmerking

In deze berekening is het K-gehalte in de drogestof van het kuilgras op 3,2 g K per kg ds gehandhaafd.

Een lager K-gehalte in weidegras zal ook leiden tot een lager K-gehalte in het kuilgras (het gras is verder uitgegroeid, waardoor het K-gehalte verdund is). Het K-gehalte van de mest zal dan nog wat lager zijn en de hoeveelheid kali die met mest wordt afgevoerd nog minder. Het verschil in bodemoverschot zal daardoor nog wat groter zijn. Voor bedrijven die ruwvoer aanvoeren is ook het K-gehalte in dit ruwvoer van invloed op het K-gehalte in de mest.

3.5.2 Klei

Tabel 3.6. Kali advies, -bemesting en -bodemoverschot op het modelbedrijf uit Tabel 3.1 op klei bij beperkt weiden en beperkt weiden met intensieve veebezetting. Het K-gehalte in weidegras is 33,0 g K per kg ds.

Bedrijf op kleigrond	bw-vold*	bw-laag*	bw-vold-int	bw-laag-int
Aantal melkkoeien	71,1	71,1	81,1	81,1
Beweidingsstelsel	beperkt	beperkt	beperkt	beperkt
Kg quotum/ha	13.182	13.182	15.036	15.036
N bemesting gras, kg/ha	282	282	277	277
N bemesting maïs kg/ha	160	160	160	160
K ₂ O toestand grasland	vold	laag	vold	laag
K ₂ O advies gras, kg/ha	320	368	290	320
K ₂ O advies maïs, kg/ha	300	300	300	300
K ₂ O advies bedrijf, kg/ha	318	360	291	318
K ₂ O org. mest gras, kg/ha	338	338	301	301
K ₂ O org. mest maïs,kg/ha	300	300	300	300
K ₂ O org. mest bedrijf, kg/ha	334	334	301	301
K ₂ O kunstm gras, kg/ha	0	31	0	19
K ₂ O kunstm maïs ,kg/ha	0	0	0	0
K ₂ O kunstm bedrijf, kg/ha	0	27	0	17
K ₂ O in weidemest, kg/ha	96	96	111	111
K ₂ O afvoer gewas, netto (graskuil+ maïskuil+ weidegras), kg/ha	447	447	442	442
K ₂ O bodemoverschot exclusief kunstmest, kg/ha	-17,0	-17,0	-30,4	-30,4
K ₂ O bodemoverschot inclusief kunstmest, kg/ha	-17,0	+9,8	-30,4	-13,3
Mestafvoer, m ³	135	136	476	476
K ₂ O gehalte, kg/m ³	7,74	7,76	7,49	7,49
Mestafvoer, kg K ₂ O/ha	25	25	85	85

*bw = beperkt weiden, vold = K-toestand voldoende, laag = K-toestand laag, int = intensief

Ook op de kleibedrijven wordt minder K₂O afgevoerd met de rundermest. Het verschil is 1 kg K₂O op de gemiddelde bedrijven en 2 kg K₂O op de intensieve bedrijven met beperkt weiden. Net als op de zandbedrijven is op de kleibedrijven dit verschil terug te vinden in de bodembalans.

Er is volgens advies wel meer kunstmest nodig, omdat er minder K₂O in de rundermest zit en het advies

geen rekening houdt met het lagere K-gehalte van het gras. De vraag is of deze extra kali gegeven moet worden (zie § 3.5.1.).

3.5.3 Veengrond

Tabel 3.7. Kaliadvies, -bemesting en -bodemoverschot op het modelbedrijf uit Tabel 3.1 op veen bij onbeperkt en beperkt weiden, Het K-gehalte in weidegras is 33,0 g K per kg ds.

Bedrijf op veengrond	onb-vold*	onb-laag*	bw-vold*	bw-laag*
Beweidingsstelsel	onbeperkt	onbeperkt	beperkt	beperkt
N bemesting grasland, kg/ha	211	211	236	236
N bemesting maïslaan, kg/ha	160	160	160	160
K ₂ O toestand grasland	vold	laag	vold	laag
K ₂ O advies grasland, kg/ha	170	203	288	331
K ₂ O advies maïslaan, kg/ha	300	300	300	300
K ₂ O advies bedrijf, kg/ha	178	209	289	329
K ₂ O org. mest grasland, kg/ha	242	242	335	335
K ₂ O org. mest maïslaan, kg/ha	300	300	300	300
K ₂ O org. mest bedrijf, kg/ha	245	245	333	333
K ₂ O kunstmest grasland, kg/ha	0	0	0	0
K ₂ O kunstmest maïslaan, kg/ha	0	0	0	0
K ₂ O kunstmest bedrijf, kg/ha	0	0	0	0
K ₂ O bemesting boven advies, kg/ha	67	36	46	5
K ₂ O in weidemest, kg/ha	159	159	84	84
K ₂ O afvoer gewas, netto (graskuil+maïskuil+ weidegras), kg/ha	349,4	349,4	377,7	377,7
K ₂ O bodemoverschot, kg/ha	54,1	54,1	41,4	41,4
Mestafvoer, m ³	0	0	0	0
K ₂ O gehalte, kg/m ³	6,79	6,79	7,52	7,52
Mestafvoer, kg K ₂ O /ha	0	0	0	0

*onb = onbeperkt weiden, bw = beperkt weiden, vold = K-toestand voldoende, laag = K-toestand laag

Op de veenbedrijven blijft het bodemoverschot voor K₂O gelijk bij een lager K-gehalte in het gras. Er wordt 17 kg K₂O per ha minder gewas geproduceerd en opgenomen door het vee. Het vee produceert daardoor niet minder melk of vlees. Er komt ook 17 kg K₂O per ha minder in de mest. Dit verschil wordt verdeeld over de weidemest en over de mest die uitgereden wordt. Er wordt 2 kg K₂O minder uitgereden op het land en 15 kg K₂O per ha minder uitgescheiden in de weidemest. De bodembalans blijft daardoor gelijk.

3.6 Overzicht bodembalansen en conclusies

In Tabel 3.8 staan de bodembalansen van de modelbedrijven bij elkaar. De tabel laat zien dat de bodembalans exclusief kunstmest sterk samenhangt met de intensiteit van het bedrijf.

Bij hetzelfde graslandgebruikstelsel (beperkt weiden) is het bodemoverschot negatiever, naarmate het bedrijf intensiever is en meer kali met de mest moet afvoeren. De zandbedrijven zijn gemiddeld intensiever dan de kleibedrijven.

Bij opstallen en een gelijke veebezetting hoeft minder mest te worden afgevoerd. Het bodemoverschot is dan minder negatief.

Ook wanneer het K-gehalte in het weidegras, en daardoor ook in de mest, lager is, is het bodemoverschot minder negatief.

Tabel 3.8. Bodembalans op zand, klei en veen bij verschillende K-gehalten in het weidegras, bij verschillende graslandgebruikssystemen en bij een voldoende en een lage K-toestand in de bodem.

Bedrijf	K-gehalte weidegras 36,6 g K per kg ds		K-gehalte weidegras 33,0 g K per kg ds	
	Bodembalans K ₂ O exclusief kunstmest	Bodembalans K ₂ O inclusief kunstmest	Bodembalans K ₂ O exclusief kunstmest	Bodembalans K ₂ O inclusief kunstmest
Zand				
Bw*, K toestand voldoende	-32,1	-2,2	-29,8	+10,3
Bw, K toestand laag	-32,1	+29,1	-29,8	+38,4
Opstallen, K- toestand vold.	-19,1	+41,5	-	-
Opstallen, K- toestand laag	-19,1	+68,4	-	-
Klei				
Bw, K-toestand voldoende	-18,1	-18,1	-17,0	-17,0
Bw, K toestand laag	-18,1	-0,2	-17,0	+9,8
Bw, Intensief K- toestand vold.	-32,3	-32,3	-30,4	-30,4
Bw, Intensief K- toestand laag	-32,3	-25,0	-30,4	-13,3
Opstallen K- toestand vold.	-10,5	-10,5	-	-
Opstallen K- toestand laag	-10,5	+35,9	-	-
Veen				
Onbeperkt weiden K-toestand vold.	54,1	54,1	54,1	54,1
Onbeperkt weiden K-toestand laag	54,1	54,1	54,1	54,1
Bw, K toest .vold.	41,4	41,4	41,4	41,4
Bw, K toest. laag	41,4	41,4	41,4	41,4

*Bw = beperkt weiden

3.7 Conclusies

- Op zandgrond wordt bij de gemiddelde veebezetting op deze grondsoort zonder aanvullende kali uit kunstmest beneden het kali-advies bemest en is het bodemoverschot voor kali negatief. De kalivoorraad in de bodem zal dan dalen. Er is in de organische mest voldoende kali aanwezig, maar een deel van deze mest moet volgens de gebruiksnormen worden afgevoerd.
- Op kleigrond kan bij de gemiddelde veebezetting op deze grondsoort bij een voldoende kalitoestand op grasland met de organische mest overeenkomstig advies worden bemest. Het bodemoverschot is echter negatief. De kalivoorraad in de bodem zal dan dalen. Kleigrond bevat over het algemeen echter een grote voorraad kali.
Bij een lage kalitoestand is op klei aanvullend kali nodig om overeenkomstig advies te bemesten. Er is in de meeste gevallen voldoende kali in de organische mest aanwezig, maar een deel van deze mest moet volgens de gebruiksnormen worden afgevoerd.
- Op veengrond is bij de gemiddelde veebezetting, zowel bij een voldoende als een lage kalitoestand, ruim voldoende kali aanwezig om overeenkomstig advies te bemesten. De bodembalans voor kali is positief. Een aanvullende bemesting met kunstmest is niet nodig.
- De hoogte van de bodembalans voor K is in belangrijke mate afhankelijk van de intensiteit en van het graslandgebruikssysteem van het bedrijf. Een zandbedrijf, dat net zo extensief is als het veenbedrijf en geen mest hoeft af te voeren, heeft ook zonder kunstmest een positieve bodembalans voor K (gegevens niet weergegeven).
- De mate waarin de kalitoestand zal gaan dalen is wel afhankelijk van de grondsoort. Naast de bodembalans zijn ook de bodemvoorraad aan K en de mate van verliezen van belang. Vooral op zandgrond kunnen de verliezen door uitspoeling in de winter aanzienlijk zijn.
- Bij een lager K-gehalte in het weidegras is ook het K-gehalte in de mest lager. Er hoeft dan minder K van het bedrijf te worden afgevoerd. Het bodemoverschot is dan minder negatief.
- Bij een lager K-gehalte in de mest is het advies voor aanvulling met kunstmest-K hoger. De vraag is of deze extra K gegeven moet worden. Het K-gehalte in het gras zou dan weer verhoogd worden. Het streven moet gericht zijn op een voldoende K-gehalte voor een goede grasgroei, maar niet hoger dan nodig is in verband met de gezondheid van het vee.

4 Het kalibemestingsadvies voor de eerste snede

In dit hoofdstuk is aangegeven hoe het huidige advies voor de kalibemesting van de eerste snede tot stand is gekomen. Dit advies is gebaseerd op een groot aantal proeven. Deze zijn onder andere beschreven in Van der Paauw (1936); 't Hart & Van der Paauw 1942; Van der Paauw (1943); Van der Paauw & Ris (1953) en De Vries (1966). De beschikbaarheid van kali uit de bodem is geschat op basis van het K-getal. Het K-getal wordt berekend vanuit het 'kaligehalte' van de grond, na extractie met 0,1 M HCl. Voor deze berekening wordt het kaligehalte vermenigvuldigd met een grondsoortafhankelijke correctiefactor F voor het gehalte aan organische stof. In de Hoofdstukken 6 en 7 wordt de gebruikte extractiemethode en de koppeling aan het humusgehalte besproken.

4.1 Opzet onderzoek en adviezen

4.1.1 Onderzoek

Het onderzoek naar de kalibemesting op grasland is in eerste instantie uitgevoerd op zandgrond. Later is dit uitgebreid naar de andere grondsoorten.

De proefvelden hadden betrekking op een maaisnede (5 – 7 ton drogestof ha⁻¹), gevolgd door verder weiden. Het advies beperkte zich aanvankelijk tot de eerste snede. Dit was gebaseerd op de ervaring dat het gewicht van sneden, volgend op een optimaal bemeste eerste snede, niet duidelijk op een aanvullende K-bemesting reageerde ('t Hart & Van der Paauw, 1942; De Vries, 1966).

De bemesting met N was beperkt. In de proeven beschreven door De Vries (1966) is aangegeven dat alle sneden met kunstmest-N bemest zijn. De gemiddelde jaargift was circa 135 kg N per ha, ongeacht de stikstof in de stalmest. De gemiddelde bemesting van de gemaaide eerste snede was circa 60 kg N per ha.

4.1.2 Het opstellen van de adviezen

De basis van het kali-advies voor zandgrasland is gepubliceerd in Mededelingen Landbouwvoorlichtingsdienst door 't Hart & Van der Paauw, (1942): "Kalibemesting op zandgrasland". Hieraan liggen de resultaten van een serie proeven in het noorden van Drenthe, ZW-Groningen en Overijssel ten grondslag. Er werd alleen een advies gegeven voor 1 x maaien en verder weiden. De Vries (1966) schreef: "Men heeft bij het opstellen van de adviezen, naast de economisch optimale opbrengst van de eerste snede, er ook naar gestreefd om het kaligetal op een bepaald niveau te brengen en te houden. In het algemeen vond men een kaligetal 'goed', wanneer het bij de optimale gift in de loop der jaren ongeveer gelijk bleef, terwijl het weglaten van de bemesting niet meer dan 5 procent opbrengstderving mocht geven".

In de eerste gedrukte "Adviesbasis voor de bemesting van landbouwgronden" (1962) is dit als volgt verwoord:

"Bij het vaststellen van de grenscijfers voor de klasse "goed" is men uitgegaan van de aanname dat de toestand "goed" wordt genoemd, wanneer:

1. het weglaten van de bemesting geen aanzienlijke oogstdepressies tot gevolg heeft: voor kali niet meer dan 5%;
2. de grootte van de vereiste mestgift in de buurt ligt van hetgeen de gewassen gemiddeld onttrekken, vermeerderd met de hoeveelheid die door uitspoeling en/of fixatie verloren gaat; en

3. de toestand van de grond bij de onder 2 genoemde giften ongeveer op hetzelfde peil blijft.

Dit betekent dus dat bij de toestand “goed” de grootte van de mestgift kan worden ingesteld op basis van het gebruik van het grasland en de verliezen in de grond. Bovendien zal de oogstdepressie bij deze toestand niet te groot zijn, wanneer door toevallige omstandigheden de gegeven meststoffen niet voldoende voor het gewas ter beschikking komen. Het advies moet er daarom op gericht zijn de percelen, waarvoor een bemestingsadvies wordt gegeven, in de waarderingsklasse “goed” te brengen of te houden” (Adviesbasis 1962).

4.2 Advies maaisnede zandgrond

Sedert 1947 zijn door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Groningen een aantal schema's voor het bemestingsadvieswerk op basis van grondonderzoek verstrekt aan de Rijkslandbouwvoorlichtingsdienst (Adviesbasis 1962). Sinds 1952 zijn de adviesschema's voor grasland opgesteld door een kleine werkgroep waarin meerdere instellingen vertegenwoordigd waren. In deze werkgroep is er ook rekening mee gehouden dat gehalten van verschillende elementen niet te hoog mochten worden in verband met de gezondheid van het vee. Vanaf 1956 zijn de adviesschema's gebundeld in een losbladig boekwerk. De eerste als boekwerk verschenen “volledige adviesbasis voor grondonderzoek, zoals die voor het gehele land bij de huidige stand van het wetenschappelijk onderzoek als de meest juiste wordt beschouwd” is verschenen in 1962.

De adviezen voor zandgrasland uit de Landbouwgids van 1953 zijn gegeven in Tabel 4.1. De adviezen waren geldig voor het jaar na de bodemanalyse en gericht op het standaardgebruik van 1x maaien en verder weiden. Vanaf november 1953 is de te geven hoeveelheid weergegeven in kg K₂O per ha (Archief CBGV).

Tabel 4.1. Kalibemestingsadvies voor zandgrasland (1953).

K-getal	Bemesting eerste jaar	Hoeveelheid
< 16	zwaar	4 balen K 40
16 – 25	ruim	2,5 – 3 balen
26 – 35	matig	1,5 – 2 balen
26 – 45	licht	1 baal
> 45	weglaten	0

In Tabel 4.2. is een overzicht gegeven van de waardering van de verschillende klassen van het K-getal op zandgrasland en wijzigingen daarin. Tevens is de geadviseerde gift vermeld bij 1x maaien en verder weiden.

Tabel 4.2. Waardering voor het K-getal op zandgrasland en advies bij 1x maaien en verder weiden.

K-getal	Waardering			Gift (kg K ₂ O/ha)	
	1953	1958	1976	1953	1958
< 16	laag	laag	laag	180	180
16 – 25	vrij laag	goed	voldoende	120	140
26 – 35	voldoende	hoog	ruim vold.	80	80
36 – 45	ruim	te hoog	hoog	40	40
> 45	te hoog	veel te hoog	zeer hoog	0	0

In 1958 is de adviesgift bij een K-getal van 16 – 25 en 1x maaien en verder weiden verhoogd van 120 naar 140 kg K₂O/ha, omdat met een gift van 120 kg het K-getal niet op peil kon worden gehouden (Archief CBGV). Tevens is de waardering voor de klasse gewijzigd van “vrij laag” in “goed” aangezien anders een zeer groot aantal van de geanalyseerde percelen in de klasse vrij laag zou vallen.

De in Tabel 4.2. gegeven klasse-indeling en de waardering ervan zijn na 1976 niet meer gewijzigd. Wel is in 2001 is de bemonsteringsdiepte van grasland gewijzigd van 0-5 naar 0-10 cm (Bussink & Spätjens, 2000). De klasse-indeling is daarbij op basis van statistische berekeningen aangepast. De waardering en het bemestingsadvies per klasse zijn niet gewijzigd. Tabel 4.3 geeft de klasse-indeling voor zand en dalgrond en voor de overige gronden bij een bemonsteringsdiepte van 0-5 cm en 0-10 cm.

Tabel 4.3. Waardering van het kaligetal en de bijbehorende klasse-indeling per bemonsteringsdiepte.

Waardering	Zand en dalgrond (< 25 % organische stof)		Zeeklei, rivierklei, veen en löss	
	0-5 cm	0-10 cm	0-5 cm	0-10 cm
Laag	< 16	< 15	<13	< 12
Voldoende	16-25	15-23	13-20	12-18
Ruim voldoende	26-35	24-31	21-28	19-25
Hoog	36-45	32-40	29-36	26-32
Zeer hoog	>45	> 40	>36	> 32

De geadviseerde gift voor een maaisnede en verder weiden is na 1958 niet meer gewijzigd. Dit advies geldt nu voor de eerste snede maaien bij een opbrengst > 2.500 kg drogestof per ha. Bij een lichte eerste maaisnede is het advies wel verlaagd met 40 kg K₂O ha⁻¹. Het huidige advies is weergegeven in Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Advies voor de kalibemesting van zand en dalgrond (< 25 % organische stof) in kg K₂O ha⁻¹. (Adviesbasis Bemesting grasland en voedergrassen, 2009).

Waardering	Eerste snede			Volgende sneden				Aantal jaren	
	weiden	maaien		weiden		maaien			
		> 2.500 kg ds/ha	< 2.500 kg ds/ha	melkvee dag en nacht	overig vee	> 2.500 kg ds/ha (voor 1-7)	< 2.500 kg ds/ha (na 1-7)		
Laag	100	180	140	15	85	0	100	70	4
Voldoende	60	140	100	15	85	0	100	70	4
Ruim voldoende	0	80	40	15	85	0	80	50	1
Hoog	0	40	0	0	0	0	60	40	1
Zeer hoog	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Conclusies

Het advies voor de K-bemesting van de eerste snede maaien op zandgrond is gebaseerd op:

- het economisch optimale advies voor een hoaisnede van 5-7 ton ds ha⁻¹;
- een N-bemesting van circa 60 kg N per ha; en
- is gericht op het op peil brengen of houden van het K-getal.

Dit advies geldt nu voor een eerste snede maaien bij > 2.500 kg ds ha⁻¹ bij een gift van 100 – 120 kg werkzame N ha⁻¹. Bij een hogere N-bemesting is voor een optimale groei een hoger K-gehalte in het

gras gewenst (zie § 4.5 Discussie).

4.3 Advies bij weiden en extra maaien

Zoals in Hoofdstuk 4.1 vermeld is het door 't Hart & Van der Paauw, (1942) gepubliceerde document "Kalibemesting op zandgrasland" de basis van het kalibemestingsadvies. Er werd alleen een advies gegeven voor 1 x maaien en verder weiden. In 1942 is al wel een poging gedaan om vast te stellen hoeveel K gegeven moet worden voor een snede extra maaien, maar hiervoor waren onvoldoende gegevens beschikbaar.

Van der Paauw & Ris (1953) wijzen erop dat de behoefte van het grasland als gevolg van verschillende gebruikswijzen zeer wisselend is. Zij beschrijven een groot aantal éénjarige proeven op verschillende grondsoorten met overwegend hooiland, overwegend weiland en wisselend gebruik, maar kunnen op basis van deze proeven de adviezen niet differentiëren. Ze verwijzen terug naar de publicatie uit 1942, waar meerjarige proeven aan ten grondslag lagen.

In de eerste "Adviesbasis voor de bemesting van Landbouwgronden" (1962) is wel een advies vermeld voor een snede extra maaien en ook voor "Alleen weiden" (Tabel 4.5).

Tabel 4.5. Advies kalibemesting op zand- en dalgronden (Adviesbasis 1962).

Waardering	K-getal (0-5 cm)	Bemesting in kg K ₂ O per ha		
		alleen weiden	1x maaien daarna weiden	per snede extra maaien
Laag	< 16	100	180	80
Goed	16-25	60	140	80
Hoog	26-35	0	80	60
Te hoog	36-45	0	40	40
Veel te hoog	> 45	0	0	0

Opmerkingen gemaakt bij de tabel in de Adviesbasis:

1. Bij weiden en daarna maaien moet vóór de weideperiode de in het advies onder "alleen weiden" genoemde kaligift gegeven worden en na het weiden de voor "per snede extra maaien" genoemde hoeveelheid.
2. Een te hoge kalitoestand op grasland verhoogt de kans op kopziekte. In dit geval late men de kalibemesting geheel weg en maaie men extra.
3. Volgende jaren: Een bemestingsadvies voor kali op zandgrond is slechts voor korte tijd geldig. Hoeveel jaar de volgens grondonderzoek vereiste gift kan worden gegeven is moeilijk te zeggen. Vooral bij lage humusgehalten zal spoedig de kaligift behorende bij toestand "goed" moeten worden aangehouden.

Na 1953 is de onttrekking bij een snede extra maaien vastgesteld op zo'n 80 kg K₂O per ha. Bij de kalitoestand hoog en te hoog wordt deze onttrekking dan niet volledig gecompenseerd en bij "veel te hoog" vindt geen compensatie plaats (Tabel 4.5).

Het advies voor "alleen weiden" lijkt afgeleid te zijn uit het eerder vastgestelde advies voor "1x maaien en daarna weiden" en het advies voor de extra snede maaien. Bij de toestand laag en goed is het advies bij "alleen weiden" namelijk gelijk aan het verschil van "1x maaien en daarna weiden" en de gift nodig per snede extra maaien. Deze geadviseerde gift is dan nodig om de kalitoestand bij "alleen weiden" op peil te brengen of te houden. Bij hogere kalitoestanden is dit niet nodig. De kalitoestand mag daar afnemen tot de toestand "goed".

Conclusies

- Het huidige advies voor weiden van de eerste snede (Tabel 4.4) is gelijk aan het advies voor “alleen weiden” (Tabel 4.5). Dit is vastgesteld de jaren 50 van de vorige eeuw. De geadviseerde gift werd nodig geacht om de kalitoestand bij “alleen weiden” op peil te brengen of te houden.
- Voor een snede extra maaien (Tabel 4.5) is het advies later bijgesteld (verhoogd) en gedifferentieerd naar de zwaarte van de gemaaide snede (Tabel 4.4).

4.4 Andere grondsoorten

Het kalibemestingsadvies op klei, veengrond en löss is waarschijnlijk grotendeels gebaseerd op het onderzoek beschreven door Van der Paauw & Ris (1953) “Toetsing van grondonderzoek naar kalitoestand op Nederlands grasland”. Daarin zijn de resultaten beschreven van 36 proefvelden op zandgrond, 35 proefvelden op veengrond en 29 op rivierklei. Alle proefvelden hadden een gelijke opzet: geen kali (4-voud) en 30, 80, 140 en 220 kg K₂O ha⁻¹ (2-voud). De kali is toegediend als K-40 in het voorjaar. De proefvelden zijn verder bemest met 50 kg N als kalkammonsalpeter en 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ als superfosfaat. De proefvelden zijn gemaaid in het hooistadium.

Daarnaast is gebruik gemaakt van proefplekkenonderzoek. Dit waren in totaal 519 kleine plekken (0,25 m²), waar gelijktijdig kort voor het maaien van de hooisnede monsters van het gras en van de grond genomen zijn. Van zeeklei en löss waren alleen proefplekken beschikbaar. Van der Paauw schrijft hierover: “Zeeklei en löss zullen waarschijnlijk bij benadering als rivierklei moeten worden geadviseerd. De zeekleigronden zijn echter veel beter van kali voorzien en kaligebrek is hier waarschijnlijk vrij zeldzaam. Op löss komen waarschijnlijk grote verschillen in beschikbaarheid van kali voor”.

In een handgeschreven document (Archief CBGV) staat vermeld: “Het is niet bekend waarom dezelfde klasse-indeling is gevolgd als voor de zandgronden of wat de basis is geweest voor de adviezen in 1954 en de correcties in 1955. Na 1955 heeft er geen wijziging van het K-advies voor eenmaal maaien en verder weiden plaatsgevonden”.

In Tabel 4.6 is het schema voor de bemesting van grasland op zeeklei, rivierklei, veengrond en lössgrond gegeven uit de adviesbasis van 1962.

Tabel 4.6. Advies kalibemesting op zeeklei, rivierklei, veengrond en löss (Adviesbasis 1962).

Waardering	Bemesting in kg K ₂ O per ha			
	K-getal (0-5 cm)	alleen weiden	1x maaien, daarna weiden	per snede extra maaien
Laag	<13	80	160	80
Goed	13-20	20	100	60
Hoog	21-28	0	60	30
Te hoog	29-36	0	30	0
Veel te hoog	>36	0	0	0

Opmerkingen gemaakt bij Tabel 4.6:

1. Bij weiden en daarna maaien moet vóór de weideperiode de in het advies onder “alleen weiden” genoemde kaligift gegeven worden en na het weiden de voor “per snede extra maaien” genoemde hoeveelheid.
2. Een te hoge kalitoestand op grasland verhoogt de kans op kopziekte. In dit geval late men de kalibemesting geheel weg en maaie men extra.
3. Volgende jaren: Bij veen- en lössgrond is nog weinig bekend over de veranderingen die het

kaligetal onder praktijkomstandigheden in de loop van de tijd ondergaat. Voor kleigrond heeft het advies waarschijnlijk verscheidene jaren geldigheid.

4. Bij niet kleihoudende veengronden geldt het advies waarschijnlijk slechts voor korte tijd. In de volgende jaren moet de gift veranderd worden in de hoeveelheid, die bij een “goede” kalitoestand wordt geadviseerd. Herhaling van het grondonderzoek na enige tijd is gewenst.

Zoals gemeld is voor klei, veen en löss dezelfde klasse-indeling aangehouden als bij de zandgronden. De klassengrenzen zijn echter anders en de gegeven adviezen bij een bepaalde klasse zijn lager dan op de zandgronden. De verliezen door uitspoeling zullen op deze gronden over het algemeen lager zijn. In Tabel 4.7 is het huidige advies voor de kalibemesting op zeeklei, rivierklei, veen en löss gegeven.

Tabel 4.7 Advies voor de kalibemesting op zeeklei, rivierklei, veen en löss in kg K₂O per ha (Adviesbasis Bemesting grasland en voedergewassen, 2009).

Waardering	Eerste snede			Volgende sneden					Aantal jaren
	weiden	maaieren		weiden		overig vee	maaieren		
		> 2.500 kg ds/ha	< 2.500 kg ds/ha	melkvee dag en nacht	overdag		> 2.500 kg ds/ha (voor 1-7)	< 2.500 kg ds/ha (na 1-7)	
Laag	80	160	120	15	85	0	100	70	4
Voldoende	20	100	60	15	85	0	100	70	4
Ruim voldoende	0	60	30	15	85	0	50	30	1
Hoog	0	30	0	0	0	0	0	0	1
Zeer hoog	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Conclusies

- Op andere grondsoorten komt het huidige advies voor de eerste snede maaieren bij > 2.500 kg ds ha⁻¹ bij een bemesting van 100 – 120 kg N ha⁻¹ overeen met het in 1954-1955 opgestelde advies voor één snede maaieren voor een hooisnede met een bemesting van 50 – 60 kg N ha⁻¹ en verder weiden.
- Evenals op zandgrond is het advies van de eerste snede weiden hiervan afgeleid.

Het in Tabel 4.7 genoemde advies voor volgende sneden is later ontwikkeld en is gebaseerd op de berekende onttrekking door maaisneden. Bij de ontwikkeling van de ligboxenstal is tevens rekening gehouden met de mest die bij een weidesnede niet in de weide maar in de put kwam. Het advies voor latere sneden is beschreven in Hoofdstuk 5.

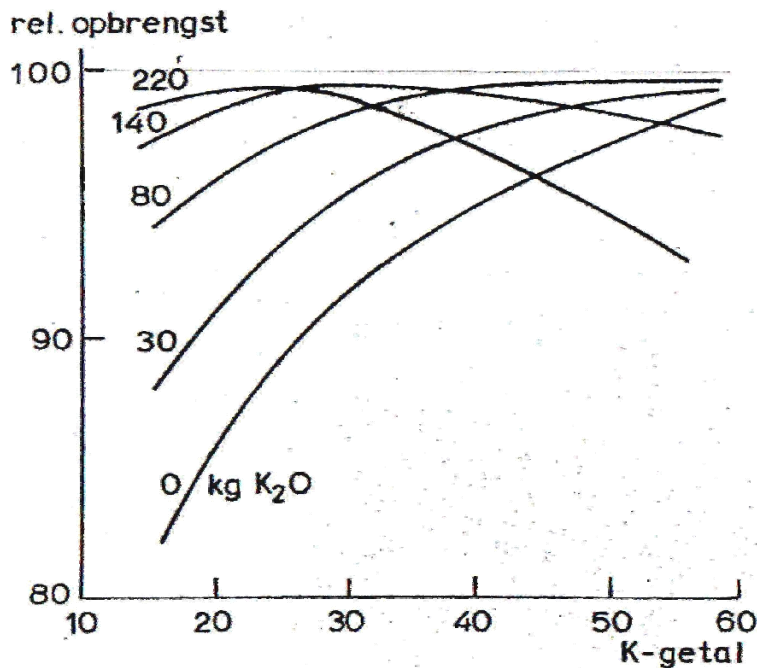
4.5 Discussie

In § 4.1 is aangegeven dat men bij het vaststellen van de grenscijfers voor de klasse “goed” ervan is uitgegaan dat de toestand “goed” wordt genoemd, wanneer:

1. Het weglaten van de bemesting geen aanzienlijke oogstdepressies tot gevolg heeft: voor kali niet meer dan 5%.
2. De grootte van de vereiste mestgift in de buurt ligt van hetgeen de gewassen gemiddeld onttrekken, vermeerderd met de hoeveelheid die door uitspoeling en/of fixatie verloren gaat.
3. De toestand van de grond bij de onder 2 genoemde giften ongeveer op hetzelfde peil blijft.

4.5.1 Oogstdepressie niet meer dan 5 procent bij weglaten K-bemesting

In 'Grondonderzoek naar de fosfaat- en kalitoestand op grasland' (Van der Paauw, 1943) is de relatieve opbrengst weergegeven bij uiteenlopende K-getallen en verschillende niveaus van kalibemesting (Figuur 4.1).



Figuur 4.1. Verband tussen de opbrengst van gras en het K-getal van de grond bij verschillende kalibemesting op zandgrasland (Uit Van der Paauw, 1943).

De K-getallen in Figuur 4.1 hebben betrekking op bodemlaag van 0-5 cm. In 1953 geven Van der Paauw & Ris op grond van een groot aantal proefvelden aan dat het weglaten van de kalibemesting beneden een K-getal van 25-30 uit oogpunt van opbrengst ontoelaatbaar is. Dit zal leiden tot opbrengstdervingen van meer dan 10%. Dit komt overeen met Tabel 4.2. In 1953 werd een K-getal van 26-35 als voldoende beoordeeld.

Uit Figuur 4.1 kan worden afgeleid dat bij een laag K-getal met een hogere bemesting een zelfde relatieve opbrengst gerealiseerd kan worden. Het weglaten van de bemesting leidt dan tot een hoge opbrengstderving. Bij een K-getal van 30 is de opbrengstderving dan circa 5%.

4.5.2 Grootte vereiste mestgift

Het tweede aandachtspunt bij het vaststellen van de waarderingsklassen was dat de grootte van de vereiste mestgift in de buurt ligt van wat de gewassen gemiddeld onttrekken, vermeerderd met de hoeveelheid die door uitspoeling en/of fixatie verloren gaat.

In 'De beheersing van het K-getal op blijvend grasland' beschrijft De Vries (1966) een aantal meerjarige proeven van 1956 – 1962 op meerdere grondsoorten. Het graslandgebruik was het 'standaardgebruik van eerste snede maaien en verder weiden. Elk proefveld bevatte 2 objecten, waarvan één jaarlijks bemest werd met 120 K₂O per ha. Hierbij werd opgemerkt dat deze hoeveelheid overeenkwam met de jaarlijkse afvoer van het perceel. Het andere object was;

- geen kali op proefvelden met een hoog uitgangskaligetel, of
- 240 kg K₂O per ha op proefvelden met een laag uitgangskaligetel.

De fosfaatbemesting vond plaats op basis van het P-Al-getal. De proefvelden kregen geen gier. Eens per 4 jaar mocht wat stalmest worden gegeven. De kali uit de stalmest werd dan verrekend met de kali

uit de kunstmest. De N-bemesting was gemiddeld 136 kg N per ha per jaar, ongeacht de stikstof uit de stalmest. De gemiddelde bemesting van de gemaaide eerste snede was 61 kg N per ha. Voor de onttrekking werd gerekend met K die met de maaisnede werd afgevoerd. Op het K-0 object was dit gemiddeld 115, op het K-120 object 137 en op het K-240 object gemiddeld 151 kg K₂O per ha. Op het K-120 object, waar de bemesting en onttrekking elkaar weinig ontlieden was er nagenoeg geen verandering van het K-getal.

4.5.3 Verandering van K-getal, uitspoeling en onttrekking.

De Vries (1966) heeft jaarlijks op alle objecten het K-getal gemeten op een aantal tijdstippen:

- voorafgaand aan de K-bemesting;
- op het tijdstip van maaien;
- aan het einde van het weideseizoen; en
- voorafgaand aan de K-bemesting in het volgende jaar.

Daarnaast heeft hij de verandering van het K-getal berekend op basis van de gegeven bemesting en tevens de verwachte verandering op basis van de onttrekking met de maaisnede.

In § 4.5.2 is al aangegeven dat op het K-120 object er nagenoeg geen verandering van het K-getal was. De berekende verandering als gevolg van de bemesting en de berekende verandering als gevolg van de onttrekking met de maaisnede kwam goed overeen met het gemeten K-getal op het tijdstip van maaien.

Op het K-0 object berekende De Vries een daling van het K-getal op basis van de onttrekking van 13,3 eenheden. De gemeten waarde gaf slechts een daling aan van 2,4 eenheden.

De Vries constateert hier: 'Ongeacht de uitspoeling moet derhalve 80% van de onttrekking uit andere bronnen dan de extraheerbare fractie van de bovenste 5 cm geleverd zijn'.

De daling van het K-getal in de laag van 5-10 cm was van dezelfde orde van grootte als die in 0-5 cm. Een K-levering van betekenis uit nog diepere lagen werd als onwaarschijnlijk gezien. Het K-getal op dit blijvend grasland was veel lager dan in 0-5 cm en de zuurstofvoorziening beperkt. Ook capillaire opstijging van enige betekenis werd onwaarschijnlijk geacht. De Vries constateert dat de extra K-levering alleen verklaard kan worden uit een nalevering.

Op het K-240 object vindt het omgekeerde plaats. Uit de berekening van bemesting en onttrekking zou een stijging van het K-getal van 9,5 eenheden moeten volgen, terwijl de gemeten stijging slechts 3,9 eenheden bedroeg. De Vries constateert hier dat een groot deel van de gift moet zijn uitgespoeld of vastgelegd in de bodem. De stijging van het K-getal in laag 5-10 cm wijst op een uitspoeling die de onttrekking uit deze laag overtreft.

De winter

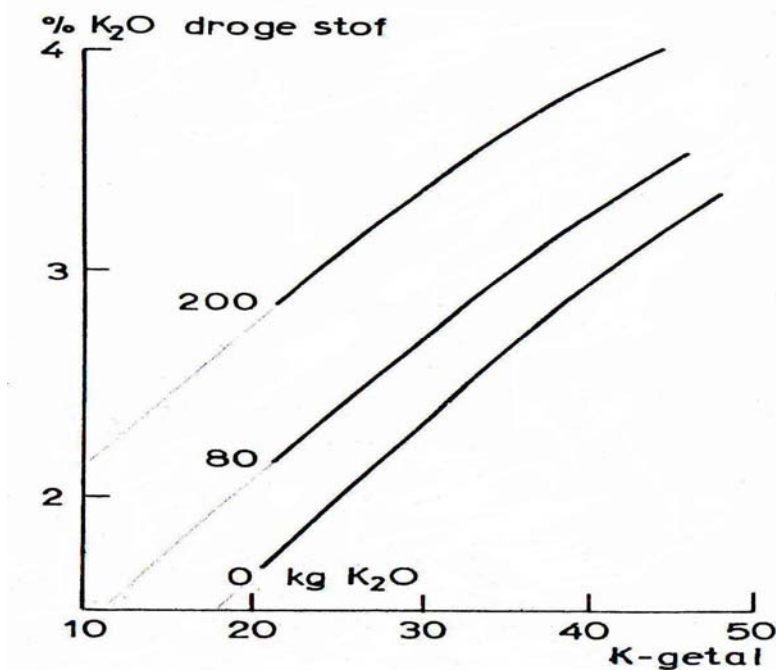
De Vries heeft het K-getal gemeten aan het einde van het weideseizoen en voorafgaand aan de K-bemesting in het volgende jaar. Hij nam waar dat het K-getal in de winter stijgt. Aangezien de neerslag in de wintermaanden aanzienlijk groter is dan de verdamping zou men een versterkte uitspoeling verwachten resulterend in een daling van het K-getal. De gemiddelde stijging over alle jaren en proefvelden in de winterperiode was 2,8 eenheden. Hij constateert: "Aangezien er geen onttrekking plaatsvindt moet de stijging verklaard worden uit een nalevering die de uitspoeling overtreft".

Buffering

De Vries constateert uit dit onderzoek: "Het K-getal blijkt door nalevering, vastlegging, uitspoeling en onttrekking aan diepere lagen sterk gebufferd te zijn. Deze buffering is even sterk bij dalen als bij stijgen van het K-getal. De resultaten wijzen erop dat de buffering zich grotendeels of volledig voltrekt binnen enkele maanden nadat de bemesting is gegeven of op de onbemeste objecten de onttrekking is begonnen. Zij lijkt zich sneller te voltrekken op onbemeste dan op bemeste objecten".

4.5.4 Het K-gehalte

't Hart & Van der Paauw (1942) geven in een figuur de relatie tussen het K-getal en het kaligehalte in het gras. Dit K-gehalte is uitgedrukt als % K_2O in de drogestof.



Figuur 4.2. Verband tussen het K-getal van de grond en het kaligehalte van het gras (Uit 't Hart & Van der Paauw, 1942).

Deze K-gehalten hebben betrekking op het gras van een geogste eerste snede bij 5-7 ton drogestof per ha en een bemesting met circa 50 kg N per ha.

Bij een K-getal van 30 is, na omrekenen van het % K_2O naar % K in de drogestof, het K-gehalte in het gras bij geen K-bemesting circa 20 gr K per kg ds, bij een bemesting met 80 kg K_2O circa 23 gr K en bij een bemesting met 200 K_2O circa 28 gr K per kg drogestof.

In 1953 geven Van der Paauw & Ris als resultante van alle proeven in een figuur het verband tussen het K-getal in de bodem (0-5 cm) en het K_2O -gehalte in de drogestof van het gras. De spreiding van het K_2O -gehalte bij de betreffende K-getallen was zeer groot. Uit deze figuur is afgeleid dat bij een K-getal van 30 en geen bemesting het K-gehalte gemiddeld 26,6 gram K per kg ds was en bij een K-getal van 20 gemiddeld 21,6 g K per kg drogestof (omgerekend uit K_2O). Een bemesting met 80 K_2O geeft een verhoging van het K-gehalte met 3,75 g K per kg drogestof en een bemesting met 220 K_2O een verhoging met 7,1 g K per kg drogestof. Het hogere gehalte in 1953 bij een K-getal van 30 en geen bemesting kan betekenen dat de maaisneden in latere proeven in een eerder stadium zijn geogst. Van der Paauw wijst er hierbij nadrukkelijk op dat voor het verkrijgen van een goede opbrengst het weglaten van een K-bemesting beneden een K-getal van 30 ontoelaatbaar is. Maar hij waarschuwt tegelijk dat

door de K-bemesting het gehalte te hoog kan worden voor een goede diergezondheid.

In de proeven van De Vries (1966) is de onttrekking door een maaisnede bij een bemesting met 120 K₂O gemiddeld 137 kg K₂O per ha. Dit komt overeen met 114 kg K per ha. Het K-getal was circa 20. Op basis van de gegevens van Van der Pauw is het verwachte K-gehalte dan 21,6 + circa 4 = 25,6 g K per kg ds. Een onttrekking van 114 kg K komt dan overeen met een snedezwaarte van ca 4.500 kg ds per ha met een gehalte van 25,6 g K per kg ds.

In de §§ 4.2 en 4.4 is aangegeven dat het advies voor een eerste snede maaien en daarna weiden bij een N-bemesting van 50-60 kg N per ha nu geldt voor de eerste snede maaien met een snedezwaarte groter dan 2.500 kg ds per ha en een N-bemesting van 100-120 kg N per ha.

Dit advies is bij toestand voldoende op zandgrond 140 kg K₂O per ha. Dit is een aanvoer van 116 kg K per ha. Bij een snede van 3.000 kg ds per ha komt dit overeen met 38 à 39 gram K per kg ds en bij een snede van 3.500 kg ds per ha met 33 à 34 gram K per kg ds. Ook hier zal een grote spreiding omheen zitten als gevolg van andere bodemfactoren.

Voor een weidesnede is het advies bij K-getal voldoende 60 kg K₂O per ha. Indien deze kali met een weidesnede van 1700 kg ds ook wordt onttrokken komt dit overeen met een K-gehalte van 30 gram K per kg drogestof.

4.5.4.1 Gewenst K-gehalte in het gras

In Hoofdstuk 2 is aangegeven dat K het begeleidende ion is bij het transport van NO₃⁻ en aminozuren vanuit de wortels naar de bovengrondse delen (Pettigrew, 2007). Een tekort aan K leidt dan ook tot ophoping van NO₃⁻ in de wortels. Bij ophoping van NO₃⁻ wordt de verdere opname van NO₃⁻ geremd door een feedback mechanisme, wat leidt tot groeireductie. K is ook betrokken bij de eiwitvorming, waarbij K de omzetting van N naar eiwit stimuleert (Pettigrew, 2007).

Sluijsmans (1963) stelde een formule op waarmee het gewenste K-gehalte in gras voor een optimale groei kan worden benaderd. Met die formule kan worden berekend hoe hoog het K-gehalte bij verschillende gehalten aan ruw eiwit (RE) moet zijn om geen omgeen opbrengstverliezen als gevolg van K-gebrek te hebben.

g RE kg ds ⁻¹	50	100	150	200	250	300
g K kg ds ⁻¹	19,7	23,5	27,3	31,1	34,9	38,7

Bij de huidige N-bemesting zal het RE-gehalte in het gras circa 150 – 200 gr RE per kg drogestof zijn. Bij dit RE gehalte van 150 – 200 g RE kg ds⁻¹ moet het K-gehalte dan 27 -31 g K kg ds⁻¹ zijn.

Uit een oogpunt van veevoeding heeft het vee voldoende aan 8 gram K per opgenomen kg drogestof (CVB, 2005).

Voor een goede groei van het gras en de gezondheid van het vee is het dus gewenst om te streven naar een K-gehalte in het gras dat lager is dan 35 g K per kg drogestof.

4.6 Conclusies

- Het advies voor de eerste snede is gelijk aan het advies dat is opgesteld voor één snede maaien en verder weiden. Het onderzoek hiernaar is uitgevoerd bij een hooisnede van 5-7 ton drogestof per ha en een N-bemesting van 50 -60 kg N per ha.
- Dit huidige advies is gericht op een ruime K-voorziening voor een optimale groei. Bij een maaisnede

van 3.000 – 3.500 kg ds per ha komt dit overeen met een K-gehalte in het gras van 33 – 39 gram K per kg drogestof.

- Het advies bij een eerste snede weiden komt overeen met een K-gehalte in het gras van circa 30 gram K per kg drogestof.
- In een serie langjarige proefvelden heeft De Vries (1966) vastgesteld dat in de winterperiode het K-getal is gestegen. Dit wordt toegeschreven aan nalevering uit de bodem die de uitspoeling in de winterperiode overtreft.
- Ook tijdens de groei van de eerste snede komt hij tot de conclusie dat nalevering op onbemeste velden en 'vastlegging' of uitspoeling op zwaar bemeste velden een belangrijke rol moeten spelen.

5 Het kalibemestingsadvies voor latere sneden

In Hoofdstuk 4 is vermeld dat het K_2O -advies op grasland voor de tweede en latere sneden later is ontwikkeld en gebaseerd is op de berekende of geschatte onttrekking. Om na te gaan of het advies voor overige sneden nog voldoet is getracht te achterhalen hoe dit advies tot stand gekomen is.

5.1 Historie

In een syllabus, gebruikt voor de opleiding van specialisten weide- en voederbouw (Bakker, 1959), is uitgelegd hoe het advies van 1962 is samengesteld.

Het K-getal in de bodem blijkt snel te veranderen onder invloed van neerslag, bemesting, opname, enzovoort. Op basis van proeven in 1948 en 1949 met 0 – 220 kg K_2O ha⁻¹ (Van der Paauw & Ris, 1953) in het voorjaar is de optimale gift is vastgesteld voor 1x maaien en daarna weiden, voor een snede extra maaien en voor alleen weiden (Tabel 4.5 en 4.6). Hierbij is vastgesteld dat het K-gehalte zeer snel steeg bij een hoge K-toestand onder invloed van bemesting. Bij een lage K-toestand steeg vooral de opbrengst. Dit was mede bepalend voor het vaststellen van de K-toestand “goed”.

Voor de extra snede maaien na de eerste snede werd in een handgeschreven notitie, genaamd “Het K-getal op grasland” (jaar en auteur onbekend) gemeld: “De huidige norm is waarschijnlijk vastgesteld op basis van de onttrekking van een snede maaien en de wenselijkheid van het al dan niet dalen van de toestand. De gift 80 kg K_2O zal zijn voor een snede maaien voor hooi of inkuilen van bijvoorbeeld 3.500 kg ds. Voor maaisneden voor stalvoeding die gemaaid worden bij 2.000 kg ds kan deze hoeveelheid iets te hoog zijn.”

In 1983 is besloten om giften van volgende snede maaien voor de toestand laag en voldoende te verhogen tot 100 kg K_2O voor alle grondsoorten. Dit is doorgevoerd in de adviesbasis van 1984. Vaak maaien bij een hoge K-toestand liet het K-getal echter te snel dalen. Daarom werd de gift voor extra maaisneden op zand bij ruim voldoende verhoogd naar 80, bij hoog naar 60 en op de overige grondsoorten bij ruim voldoende naar 50 kg K_2O ha⁻¹.

In 1989 is het advies voor overige sneden iets verfijnd; de lichte maaisnede werd toegevoegd.

Het advies voor overige sneden is in 1983 verder gedifferentieerd. Geschat werd dat bij beperkt weiden (’s nachts opstallen) 50 procent van de mest in de stal terecht kwam. Naar schatting was dit 90-100 kg K_2O in de weideperiode. Besloten werd om de onttrekking in hetzelfde jaar nog te compenseren, zodat het K-getal voldoende bleef. Alleen hoge K-getallen mochten dalen. Belangrijk was ook dat het K-gehalte in het gras niet te hoog werd om te zorgen dat de gezondheid van het vee niet alleen in de eerste snede maar ook in de latere sneden gewaarborgd was.

Dit resulteerde in een advies voor een eenmalige extra gift van 90 kg K_2O ha⁻¹ bij beperkt weiden voor een K-toestand laag tot en met ruim voldoende. Bij een hoge en zeer hoge toestand was het advies om niet te compenseren. In 1984 was er volgens de notulen een voorstel om de 90 kg K_2O te verlagen naar 75 kg. Dat voorstel heeft het blijkbaar niet gehaald. In 1986 was het advies bij beperkt weiden nog steeds 90 kg K_2O ha⁻¹.

In 2000 is het kali-advies op grasland voor latere sneden herzien. Het advies voor de eerste snede bleef ongewijzigd. Het advies na de eerste sneden is aangepast (Den Boer & Vergeer, 2000).

Nagegaan is of de adviezen voor de latere sneden nog overeenkwamen met de onttrekking die in de praktijk werd gerealiseerd.

De wijzigingen waren:

- toevoeging van een eenmalige gift bij onbeperkt weiden met melkvee van 15 kg K₂O ha⁻¹, behalve bij toestand 'hoog' en 'zeer hoog';
- verlaging van de gift bij beperkt weiden met melkvee van 90 naar 85 kg K₂O ha⁻¹; en
- maaisneden na 1 juli krijgen het advies van een lichte snede, met hierbij de opmerking dat voor een snede zwaarder dan 2.500 kg drogestof ha⁻¹ het advies geldt van een normale snede.

Na 2000 is het advies voor de overige sneden niet meer gewijzigd.

5.2 Gebruiksnormen en K-onttrekking

Door de gebruiksnormen is de hoeveelheid toe te dienen N uit dierlijke mest en kunstmest beperkt. Nagegaan is of er daardoor systematische veranderingen in de K-onttrekking zijn te verwachten.

De K-onttrekking door een snede gras wordt bepaald door de opbrengst en het K-gehalte van het gras. Wanneer door wijzigingen in het mestbeleid de drogestofopbrengst op jaarbasis verandert, verandert ook het aantal sneden. Het advies voor de kalibemesting is dan ook lager. Er zijn geen aanwijzingen dat de opbrengst per snede sterk verschuift, zeker niet bij weidesneden.

Voor de overige sneden lijkt het compenseren van de onttrekking een goed uitgangspunt te zijn.

5.2.1 N-bemesting en K-gehalte

Naast de opbrengst is het K-gehalte van het gras van invloed op de K-onttrekking. Door Den Boer & Vergeer (2000) zijn data gebruikt van proefvelden en gegevens van MDM-bedrijven en bedrijven van Koeien & Kansen. In deze gegevens lijkt er een relatie te zijn tussen het ruw eiwit- en het K-gehalte. Deze relatie is echter zwak. Een regressie van ruw eiwit versus K gehalte levert geen significante relatie op. Als de data echter in ruw eiwit klassen worden verdeeld, blijken de hogere ruw eiwit klassen een hoger K-gehalte te hebben. Er is daarom door Den Boer & Vergeer gekozen om het gemiddelde K-gehalte te gebruiken bij een N-regime van 300 kg N ha⁻¹. Dat resulteerde in een K-gehalte van 33.1 g per kg ds bij weiden en 33.7 g per kg ds bij maaien.

Wanneer het effect van de N-bemesting op K-gehalte van het gras gekwantificeerd kan worden, kan geschat worden hoeveel lager de onttrekking is bij een afnemende N-bemesting en gelijkblijvende snedezwaarte.

Uit het literatuuronderzoek in Hoofdstuk 2 kan geen relatie tussen de N-bemesting en het K gehalte van het gras worden afgeleid. De gehalten waren meestal niet in de literatuur vermeld.

In het rapport "Interacties van nutriënten op grasland" (Den Boer et al., 2009) is de invloed van de N-bemesting op het K-gehalte in een NxP proef op zandgrasland in Friesland bestudeerd. De N-bemestingsniveaus waren 0, 150, 300 en 450 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹. In 1996, het eerste jaar dat er K-gehalten in gras bepaald werden, was de helling tussen N-bemesting en K-gehalte als volgt:

1^e snede: verhoging K-gehalte: 0.0584 g K per kg N,

2^e snede: verhoging K-gehalte: 0.2515 g K per kg N,

3^e en 4^e snede: verhoging K-gehalte: 0.10 g K per kg N,

5^e en 6^e snede: geen invloed van N-bemesting.

Dit is op dit moment de enige beschikbare bron om verandering van het K-gehalte door verandering van de N-bemesting te schatten.

Vanaf 2006 is er, als gevolg van de gebruiksnormen, een lager N-bemestingsregime, vooral op

zandgronden. (Het landbouwkundige advies is, afhankelijk van de stikstoflevering, 300 – 345 kg N per ha). De gebruiksnorm voor werkzame N op zandgrond was 260 kg N ha⁻¹ in 2009 en 250 kg N ha⁻¹ in 2010. Dit betekent een daling van de N-bemesting van circa 20 kg N in de eerste snede en van 10 kg N per snede in de overige sneden vergeleken met een regime van 300 kg N per ha.

Een verlaging van de N-bemesting per snede van 10 kg N ha⁻¹ in de overige sneden leidt volgens bovenstaande factoren dan tot een verlaging van het K-gehalte in het gras van 0 – 2,5 g K per kg drogestof. Dat is 0 – 7,5 % van 33 g K per kg, dus een verlaging van 0 – 7,5 % van de onttrekking bij gelijke snedezwaarte.

Wanneer alle sneden na de eerste snede even zwaar meetellen is dit gemiddeld een verlaging van het advies per snede met 2,7 % ((7,5% +3% +3% +0%+0%)/5sneden)). Dit zou overeenkomen met maximaal 2,7 kg K₂O per ha voor een maaisnede van meer dan 2.500 kg ds per ha. Wanneer er in totaal 4 maaisneden (waarvan dus 3 na de eerste) worden gerealiseerd komt dat voor alle sneden na de eerste snede samen op 2,7 * 3 = 8,1 kg K₂O per ha. In alle andere gebruiksvormen is het minder. Dit is mogelijk te gering om het bemestingsadvies hierop aan te passen. De fout in de schatting van de snedezwaarte op individuele bedrijven is waarschijnlijk veel groter. Het is echter wel een systematische afwijking naar beneden.

Een andere methode van schatten is de formule van Sluijsmans. Sluijsmans (1963) vond dat voor een optimale groei het gras bij 150 gram RE per kg ds 27,3 g K per kg ds moet bevatten en bij 200 gram RE 31,1 g K per kg ds. Dit komt overeen met een extra K-behoefte van 0,475 g K per opgenomen kg N. Wanneer er gerekend wordt met een 10 kg N per ha lagere bemesting per snede en een opname van 60% van de gegeven N, resulteert dit in een lagere onttrekking van 6 * 0.475 = 2.85 kg K = 3.4 kg K₂O. Bij 3 maaisneden (na de eerste snede) leidt dit tot een lagere onttrekking van 10,2 kg K₂O per ha. Ook dit is een geringe hoeveelheid.

5.3 *Verdeling mest over weide en stal bij beweiden*

Voor het advies van 2000 is uitgegaan van berekeningen met de mineralenstroom module in BBPR (Schreuder et al., 1995).

In 2000 werd in BBPR uitgegaan van een verdeling van de mest van 50% in de weide en 50% in de stal bij beperkt weiden en van 90% in de weide en 10% in de stal bij onbeperkt weiden. Tegenwoordig zijn er steeds meer verschillende beweidingssystemen in gebruik (zoals siëstabeweiding) met andere beweidingstijden per dag dan het traditionele beperkt en onbeperkt weiden. In BBPR is sinds enige jaren een wijziging doorgevoerd voor de verdeling van mest over stal en de weide. Voor de berekening van de hoeveelheid mest die in de weide komt, wordt er nu van uitgegaan dat het aandeel in de tijd die de koe in de weide is, overeenkomt met het aandeel van de mest die in de weide terecht komt. Dat is dus minder dan waar in de versie van 2000 van uit is gegaan. Dit zou betekenen dat de onttrekking hoger is dan in de berekeningen van 2000 en dat het advies dus hoger zou moeten zijn.

Om na te gaan hoe groot dit verschil ongeveer is, is uit de resultaten van de modelbedrijven uit Hoofdstuk 3 de hoeveelheid K die opgenomen is tijdens de beweiding en de hoeveelheid K die weer wordt uitgescheiden door het weidende vee berekend (Tabel 5.1).

Tabel 5.1. Aanvoer en afvoer van K bij beweiding op grasland door melkkoeien op de modelbedrijven uit Hoofdstuk 3.

Aan- en afvoer van K op grasland beweid door melkkoeien in kg K ha ⁻¹	Zand	Klei	Klei intensief	Veen	Veen
	beperkt	beperkt	beperkt	beperkt	onbeperkt
Faeces in de wei (K)	8,8	7,7	8,7	6,4	14,7
Urine in de wei (K)	71,5	65,5	74,6	54,8	132,4
Opname door beweiding (K)	218,4	174,7	198,6	148,9	177,6
Overschot door beweiding (K)	-138,1	-101,5	-115,3	-87,7	-30,5
Overschot in kg K ₂ O ha ⁻¹	-166,4	-122,3	-138,9	-105,7	-36,7
Aanvoer K in wei bij oude verdeling	107,1	97,6	111,1	81,6	158,9
Overschot K bij oude verdeling mest	-111,3	-77,1	-87,5	-67,3	-18,7
Overschot in K ₂ O bij oude verdeling mest	-134,1	-92,9	-105,5	-81,1	-22,6
Advies bij beperkt weiden in K ₂ O	85	85	85	85	15

Het verschil met de berekeningen van 2000 is vooral toe te schrijven aan de andere verdeling van mest over de weide en de stal. Waar vroeger 50% van de mest in de weide kwam en 50% in de stal, komt nu 9/24 deel in de weide en de rest in de stal.

Er komt dus meer mest in de stal. Het tekort (negatief overschot) is bij de huidige berekeningen groter. Voor onbeperkt weiden is in de nieuwe berekeningen gerekend met $4/24 = 1/6$ deel in de stal en in de oude situatie met $1/10$ deel in de stal. Ook hier wordt er dus meer onttrokken aan het grasland.

De "oude" verdeling van mest over stal en weide geeft, bij een gemiddelde veebezetting, een onttrekking die in de buurt van de 85 kg K₂O ha⁻¹ in de weideperiode komt. Bij de nieuwe verdeling van mest over de stal en de weide is de onttrekking 25 tot 30 kg K₂O ha⁻¹ hoger. De keuze om mest proportioneel aan de tijd over stal en weide te verdelen is echter niet onderbouwd door onderzoek.

De onttrekking bij een hogere veebezetting is hoger. Dit scheelt soms wel 50 kg K₂O ha⁻¹ in een weideperiode. Dit is het gevolg van een lager maaipercantage door de intensieve beweiding. Er wordt dus meer beweid.

Overwogen kan worden om het advies bij weiden, net als bij maaisneden, per gerealiseerde snede te geven. Hiermee kan ondervangen worden dat bedrijven met een intensieve beweiding systematisch meer onttrekken door de beweiding dan volgens advies gecompenseerd wordt.

5.4 Conclusies

- Een lagere N-bemesting, door daling van het N-regime met 50 kg N ha^{-1} ten opzichte van de berekeningen in 2000 als gevolg van de gebruiksnormen, leidt tot een lagere K-onttrekking. Deze lagere onttrekking is enerzijds het gevolg van een lagere grasopbrengst. Dit betekent dat er dan minder maaisneden zijn. Het K-bemestingsadvies is dan ook lager. Anderzijds leidt een lagere N-bemesting tot een lager K-gehalte in het gras. Hierdoor is de K-opname in het gras na de eerste snede per snede op zandgrond naar schatting met 2-3% gedaald. Dit is een geringe afwijking vergeleken bij de afwijking bij het schatten van de snedezwaarte. Het is echter wel een systematische afwijking: systematisch wordt 2-3% teveel kali aangevuld.
- Overwogen kan worden om bij berekening van de onttrekking bij beweiden uit te gaan van een hoeveelheid mest in de weide die overeenkomt met het aantal uren van een etmaal dat een koe in de weide verblijft. Dit geeft mogelijk een nauwkeuriger schatting van de onttrekking per weidesnede.
- De onttrekking van K_2O door beweiding kan beter gecompenseerd worden door het advies, evenals bij maaien, per weidesnede te geven.

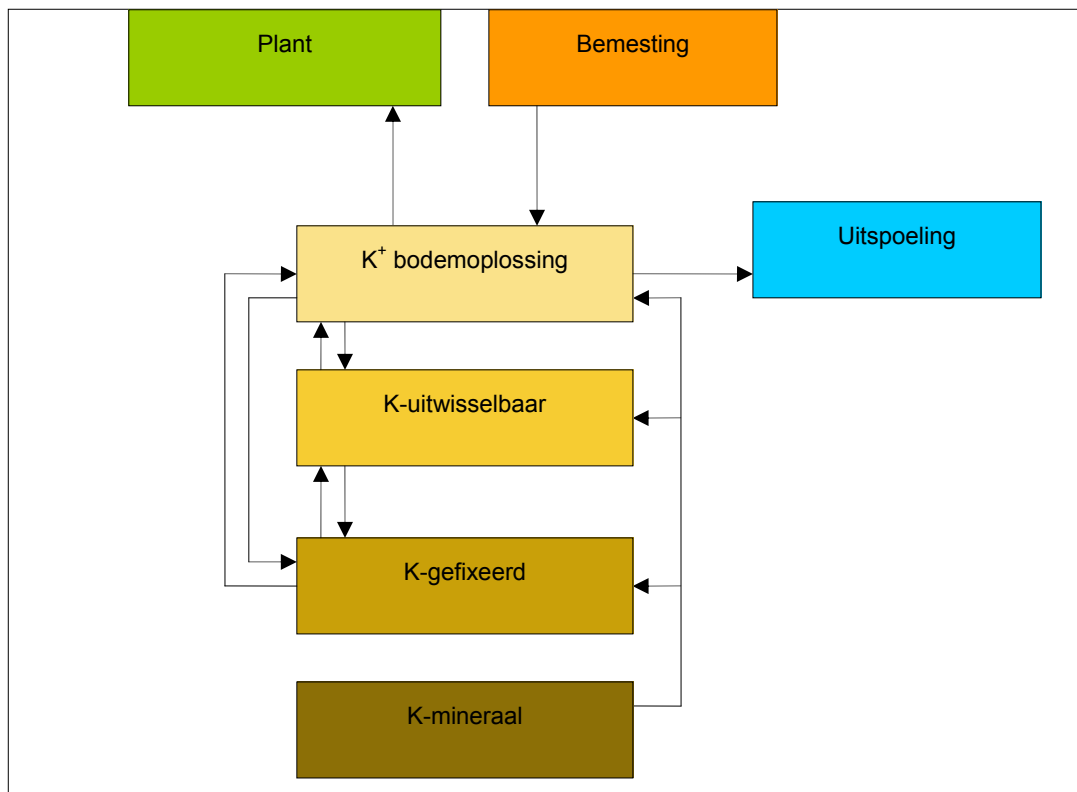
6 Kali in de bodem en extractiemethoden

6.1 Kalium in de bodem

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

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

Deze verdeling wordt schematisch weergegeven in Figuur 6.1. Daarbij is er een dynamische evenwichtssituatie voor de verdeling over de categorieën K-oplossing, K-uitwisselbaar en K-gefixeerd. Na onttrekking (door gewasopname of uitspoeling) of toevoeging (vanuit bemesting of plantenresten) van K stelt er zich een nieuw evenwicht in, waarbij er een herverdeling van K over de drie categorieën plaatsvindt. De hoeveelheid K in de bodemoplossing wordt zodoende gebufferd door K-uitwisselbaar en K-gefixeerd. Buffering wil zeggen dat er bij hoge concentraties K aan de bodemoplossing wordt onttrokken, en bij lage concentraties K wordt nageleverd.



Figuur 6.1 De verdeling van K in de bodem.

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

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

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

- De omvang van het CEC-complex: De CEC van de bodem wordt grotendeels bepaald door de negatieve lading van klei- en humusdeeltjes. Voor de CEC zijn daardoor het klei- ofwel lutumgehalte, het type klei en het gehalte aan organische stof van belang. Daarnaast beïnvloedt de pH de lading van vooral de humusdeeltjes. Bij daling van de pH neemt de negatieve lading van de humus en daarmee de CEC af.
- De relatieve bezetting van de CEC (het adsorptiecomplex) met K: Dit wordt beïnvloed door de concentraties en activiteit (lading) van zowel K als andere kationen (voornamelijk Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Na^+). Deze andere kationen kunnen K van het adsorptiecomplex verdringen. Daarbij worden Ca^{2+} en Mg^{2+} door hun grotere positieve lading sterker aangetrokken door het adsorptiecomplex, waardoor zij K al bij lage concentraties kunnen verdringen. Ook hier is sprake van een dynamisch evenwicht tussen K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , NH_4^+ in de bodemoplossing en aan het CEC-complex. Hoge Ca en Mg concentraties, bijvoorbeeld na bekalken of bemesten, verminderen daarmee de K-buffering aan het adsorptiecomplex.

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

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

6.2 *Extractiemethoden voor kalium*

Voor de bepaling van kalium zijn er verschillende extractiemethoden in gebruik. Afhankelijk van de sterkte van het extractiemiddel wordt daarbij aangenomen dat de hoeveelheid K, die in het extractiemiddel gemeten wordt, een indicatie is voor de hoeveelheid K in een bepaalde K-categorie in de bodem.

Meting van K in de bodemoplossing. De hoeveelheid kalium in de bodemoplossing kan direct worden gemeten in de bodemoplossing. Hiervoor wordt de bodemoplossing onttrokken door middel van centrifugeren of met behulp van rhizons. Voor routine bepalingen wordt dit nauwelijks toegepast; het onttrekken is bewerkelijk en de meting geeft weinig bruikbare informatie voor het bepalen van bemestingsadvies.

Extractie met zwakke zoutoplossing (bijvoorbeeld 0,01 M CaCl_2): Naast K in de bodemoplossing wordt hiermee ook een deel van de K die geadsorbeerd is gemeten (Houba et al., 2000). Dit zou een betere weergave geven van de directe beschikbaarheid van nutriënten voor het gewas. In de bodem stelt zich bij onttrekking van K door opname of uitspoeling een nieuwe evenwichtssituatie in. Daarbij komt ook een deel van de K die geadsorbeerd is aan het CEC-complex zeer snel (binnen enkele minuten) beschikbaar.

Extractie met overmaat aan kationen of zuur: De meest gebruikte extractie is die met 1 M NH_4OAc (ammoniumacetaat). Daarnaast vindt ook extractie plaats met 0.1 M HCl, met CAL (calcium ammonium lactaat), of met 0,1 M BaCl_2 die een vergelijkbare fractie extraheren (McLean & Watson, 1985; Gillman, 1979). Dit levert een karakterisering van de hoeveelheid geadsorbeerde K of K-uitwisselbaar. Deze methoden zijn gebaseerd op een verdringing van de kationen aan het CEC-complex door een overmaat aan H^+ ionen (zuur) of kationen (NH_4^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+}) in het extractiemiddel. De mate van verdringing is daarbij afhankelijk van de (zout)sterkte van het extractiemiddel en de sterkte van de binding van K aan het CEC. Aangenomen wordt dat zo'n 80-95% van de K-uitwisselbaar met de 1 M NH_4OAc geëxtraheerd wordt

Agressieve extracties: Dit is bijvoorbeeld koken met 1M HNO_3 of 3 M H_2SO_4 . Hiermee wordt naast de K-bodemoplossing en K-uitwisselbaar ook de hoeveelheid gefixeerd K gemeten.

Totaaldestructie van de grond: Voor de bepaling van de totale hoeveelheid K in de vaste fractie van de bodem wordt de grond geheel opgelost in een sterk zuur. Dit wordt nauwelijks toegepast. De methode is bewerkelijk en levert weinig bruikbare informatie voor de bepaling van het bemestingsadvies.

7 Huidig K-bemestingsadvies en K-getal

7.1 De opbouw van het advies

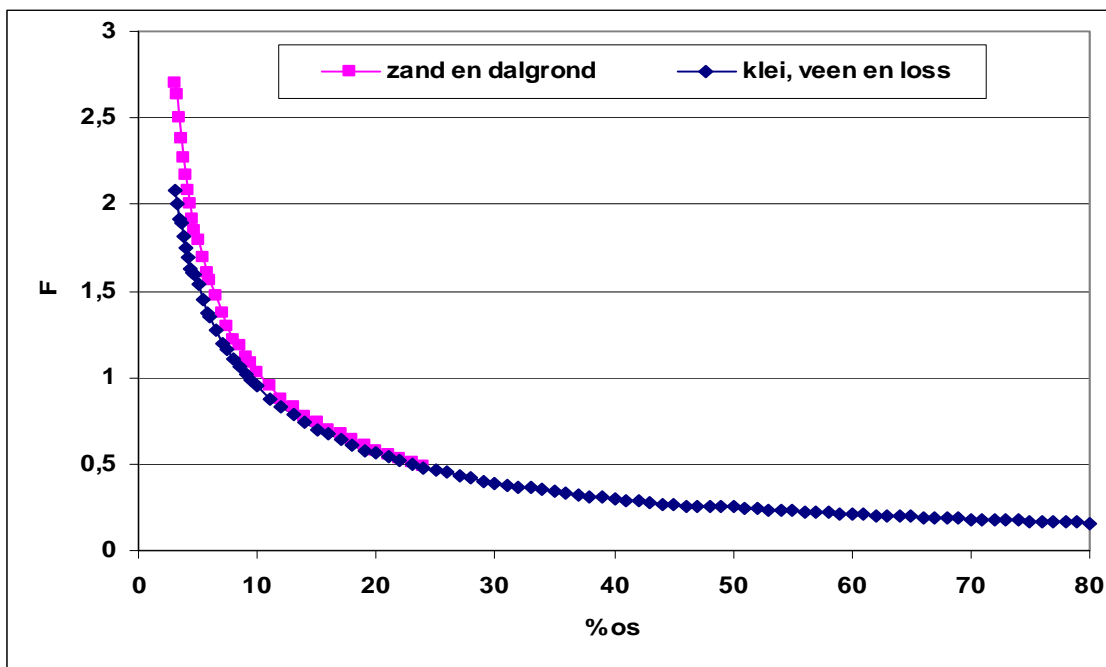
In Nederland is het bemestingsadvies voor kali op grasland gebaseerd op het K-getal.

Het K-getal wordt berekend vanuit het 'kaligehalte' van de grond, uitgedrukt in mg K₂O per 100 g droge grond, na extractie met 0,1 M HCl. Voor deze berekening wordt het kaligehalte vermenigvuldigd met een grondsoortafhankelijke correctiefactor F voor gehalte aan organische stof.

Voor grasland wordt het K-getal als volgt berekend:

$$\text{K-getal} = F \times \text{K-HCl}$$

De waarde van de factor F is afhankelijk van het organische stof gehalte in de bodem. Daarbij is er onderscheid gemaakt in twee groepen op basis van grondsoort. Voor zand en dalgrond (met os% <25) neemt F exponentieel af van 2,7 bij 3% organische stof tot 0,49 bij 24% os (Tabel 7.1). Voor zeeklei, rivierklei, veen en löss is er een exponentiële afname van 2,08 bij 3% organische stof tot 0,48 bij 24% organische stof (Tabel 7.2). Dit verloop is uitgezet in Figuur 7.1.



Figuur 7.1. Factor F voor de berekening van het K-getal op basis van het gehalte aan organische stof in afhankelijkheid van de grondsoort (gebaseerd op CBGV, Adviesbasis 2009).

Bij een organisch stof gehalte van 10 is de factor F voor alle grondsoorten vrijwel gelijk aan 1. Er is dan geen effect van organische stof op de beschikbaarheid van K. Bij een lager organisch stof gehalte wordt er een positief effect van organische stof op de beschikbaarheid van K verondersteld, terwijl een gehalte aan organische stof boven 10% een negatief effect heeft op de beschikbaarheid van K. Bij zand- en dalgronden is de factor vooral bij gehalten aan organische stof onder de 10% hoger dan bij klei en löss.

Tabel 7.1. Omrekeningsfactoren ter berekening van het kaligetal op zand en dalgrond (<25 %organische stof; os% = organische stofgehalte en F = herleidingsfactor (Bron CBGV, Adviesbasis 2009).

os%	F2	os%	F2	os%	F2
3	2,7	5,8	1,61	13	0,83
3,2	2,63	6	1,56	14	0,78
3,4	2,5	6,5	1,47	15	0,74
3,6	2,38	7	1,37	16	0,7
3,8	2,27	7,5	1,3	17	0,67
4	2,17	8	1,22	18	0,64
4,2	2,08	8,5	1,18	19	0,61
4,4	2	9	1,12	20	0,58
4,6	1,92	9,5	1,08	21	0,55
4,8	1,85	10	1,03	22	0,53
5	1,79	11	0,95	23	0,51
5,4	1,69	12	0,88	24	0,49

Tabel 7.2. Omrekeningsfactoren ter berekening van het kaligetal op zeeklei, rivierklei, veen (≥ 25 % organische stof) en löss; os% = organische stofgehalte en F = herleidingsfactor (Bron CBGV, Adviesbasis 2009).

os %	F	os %	F	os %	F
3	2,08	20	0,56	51	0,24
3,2	2	21	0,54	52	0,24
3,4	1,92	22	0,52	53	0,23
3,6	1,89	23	0,5	54	0,23
3,8	1,82	24	0,48	55	0,23
4	1,75	25	0,46	56	0,22
4,2	1,69	26	0,45	57	0,22
4,4	1,63	27	0,43	58	0,22
4,6	1,61	28	0,42	59	0,21
4,8	1,59	29	0,4	60	0,21
5	1,54	30	0,39	61	0,21
5,4	1,45	31	0,38	62	0,2
5,8	1,37	32	0,37	63	0,2
6	1,35	33	0,36	64	0,2
6,5	1,27	34	0,35	65	0,2
7	1,2	35	0,34	66	0,19
7,5	1,16	36	0,33	67	0,19
8	1,11	37	0,32	68	0,19
8,5	1,06	38	0,31	69	0,19
9	1,02	39	0,31	70	0,18
9,5	0,98	40	0,3	71	0,18
10	0,95	41	0,29	72	0,18
11	0,88	42	0,29	73	0,18
12	0,83	43	0,28	74	0,18
13	0,79	44	0,27	75	0,17
14	0,74	45	0,27	76	0,17
15	0,7	46	0,26	77	0,17
16	0,67	47	0,26	78	0,17
17	0,64	48	0,25	79	0,17
18	0,61	49	0,25	80	0,16
19	0,58	50	0,25		

Op basis van het K-getal zijn gronden ingedeeld in 5 waarderingsklassen. Ook hier is er een onderverdeling in twee groepen op basis van grondsoort. Het K-bemestingsadvies bij deze waarderingsklassen is voor de eerste snede op zand- en dalgrond hoger dan op klei en veen. Dit bemestingsadvies is opgesteld op basis van empirische relaties zoals gevonden in veldproeven in het midden van de vorige eeuw. Hierbij is de opbrengstrespons op K-bemesting onderzocht.

7.2 Ontstaan en achtergronden van het K-getal

Het K-getal is ingevoerd in 1928 (Adviesbasis 1962). Dit K-getal is ingevoerd op basis van de

waarneming dat een humusrijke grond meer K bevatte (gebonden had) dan een humusarme grond. De keuze voor het vaststellen van het K-getal op basis van humus is, voor die tijd met de ter beschikking staande reken- en analysemethoden, begrijpelijk en voor de hand liggend.

Na een aantal verbeteringen geschiedde de bepaling van het kaliget al in 1936 op de volgende wijze: een hoeveelheid grond, die blijkens de analyse 6,25 gram humus bevatte, werd geëxtraheerd met 300 ml 0,1 N HCl. Een eenheid kaliget al kwam dan overeen met 0,09 mg K₂O per gram humus (Van der Paauw, 1936).

Van der Paauw maakte hierbij de volgende opmerkingen:

- het kaliget al geeft dus een benaderende aanwijzing over de kalivoorziening door de grond;
- tevens is duidelijk dat het inzicht, dat het kaliget al geeft in de mate van werkelijke beschikbaarheid voor het gewas slechts een benadering is. In het eerste extract zal kali kunnen voorkomen dat wel door verdund zoutzuur maar niet door de planten ontsloten zal kunnen worden; en
- voorts is het onjuist te veronderstellen dat de kalibindende eigenschappen van verschillende humussoorten gelijk zouden zijn. De verschillen zijn echter niet van dien aard dat door herleiden op humus een ernstige fout zou worden ingevoerd.

Later is men overgestapt van het K-getal dat de beschikbare kali op humus uitdrukt op een constante verhouding grond : extractiemiddel. Dit gebeurde het eerst op zand- en dalgrond en later (1954) op klei en veen. Hiertoe heeft men het bepaalde K-getal (op basis van humus) vergeleken met het quotiënt $10 \times \frac{\text{K-HCl}}{\text{humus\%}}$ bij uiteenlopende humusgehalten. Het bleek dat dit quotiënt bij een laag humusgehalte groter en bij een hoog humusgehalte lager was dan het K-getal.

Dit leidde tot een formule: $\text{K-getal} = 10 \times \frac{\text{K-HCl}}{f \times \text{humus}}$.

De factor f was op klei en veen niet gelijk aan die op zand- en dalgrond.

Na verder omrekenen ontstaat dan de formule: $\text{K-getal} = F \times \text{K-HCl}$.

De factor F is gegeven in Tabel 7.1 en Tabel 7.2.

7.3 *Discussie en Conclusies*

In § 7.2 is al opgemerkt dat de keuze voor het vaststellen van het K-getal op basis van humus, voor die tijd met de ter beschikking staande reken- en analysemethoden, begrijpelijk en voor de hand liggend was. Van der Paauw is nooit gelukkig geweest met de keuze van humus als factor voor het vaststellen van het K-getal.

In 1936 schreef Van der Paauw al:

“Bij de bepaling van het kaliget al wordt geen vaste verhouding grond : oplosmiddel genomen, maar een vaste verhouding humus : oplosmiddel. De keuze van deze verhouding is gerechtvaardigd als men de met humus in uitwisseling staande kali in verschillende gronden vergelijken wil. Overweegt men echter dat er in de grond nog andere bestanddelen aanwezig kunnen zijn die kali afgeven of binden, bijvoorbeeld klei of leemachtige bestanddelen, een deel van de mineralen, dan geeft de gekozen verhouding voor dit kali niet het meest juiste beeld. Naast de kalitoestand van de humus moet men daarom rekening houden met de hoeveelheid beschikbaar kali, die in de grond als zodanig, dus per gewichtseenheid grond, aanwezig is. Deze kan door extractie van een bepaalde hoeveelheid grond bepaald worden, maar kan ook uit de verrichtte kaliget alanalyse (bij de gebruikte, naar gelang van het humusgehalte wisselende, verhouding grond : oplosmiddel) berekend worden”.

Van der Paauw heeft verschillende keren gewezen op de grote invloed van nevenfactoren voor de interpretatie van de P- en K-waarden en getracht deze te kwantificeren.

In 1943 schrijft hij over het kalionderzoek op zandgrasland: “De kennis van den invloed van nevenfactoren is van grote betekenis, nu gebleken is dat de interpretatie van de P- en K-waarden hiervan in sterke mate afhankelijk is. Door het inzicht, dat bepaalde nevenfactoren het resultaat mede bepalen, is het duidelijk geworden dat de reactie van het gewas veel nauwer door den P- of K- toestand van den grond bepaald wordt dan aanvankelijk werd gemeend. Zelfs is in een geval (zandgrasland) het verband tussen den P-toestand en het P_2O_5 -gehalte van het gras na uitschakeling van den neveninvloed van de pH zo nauw gebleken, dat hieruit afgeleid kon worden, dat er praktisch geen andere factoren meer in het spel konden zijn. Dit is een zeer opmerkelijk resultaat op grasland, waarvan de behandelingswijze en de botanische samenstelling op de verschillende percelen ongetwijfeld vrij sterk uiteenlopen. De jaarinvloed van deze factoren kan echter onmogelijk groot zijn geweest. De factoren, welke bij dit onderzoek de grootste betekenis hadden, waren wat het fosfaat betreft de pH en wat kali betreft de pH en het humusgehalte.

Alle overige onderzochte factoren – het slibgehalte, het humusgehalte (bij de fosfaatwerking) de rijkdom van den ondergrond en de botanische samenstelling – waren van ondergeschikte betekenis”.

In 1953 schrijft hij:

“Aanwijzingen dat de pH van invloed is zijn herhaaldelijk verkregen. Deze gaan meestal in de richting de opneembaarheid van kali bij pH-water van 5,5 – 6,0 het grootst blijkt te zijn. Een vervanging van humus door klei-humus bleek geen aantoonbare verbetering te geven en is om praktische redenen weinig aantrekkelijk.

Het is mogelijk om de invloed van het humusgehalte op het verband tussen K-HCl en het K_2O percentage (in die tijd werd het kaligehalte weergegeven in procenten K_2O) te elimineren en dan praktisch een gelijkwaardig resultaat te verkrijgen. Behalve het feit dat deze invloed van het humusgehalte bij hogere gehalten als gevolg van het vrij geringe aantal humusrijke proefvelden niet heel zeker kon worden vastgesteld, komt het de toepasbaarheid van grondonderzoek niet ten goede als correcties moeten worden ingevoerd, zodat het K-getal de voorkeur heeft”.

Hiermee was de discussie rond het K-getal bij de in die tijd ter beschikking staande analyse- (sterk zuur) en rekenmethoden (enkelvoudige correlaties en regressietechnieken) ten einde.

Conclusie

Van der Paauw was niet gelukkig met de keuze van humus als factor voor het vaststellen van het K-getal en heeft meerdere keren gewezen op andere factoren die van belang zijn voor het vaststellen van de beschikbaarheid van K voor het gewas.

8 Beperkingen extractiemethode en K-getal

Er zijn verschillende redenen waarom het K-bemestingsadvies op basis van de huidige extractiemethode en het K-getal om heroverweging vraagt:

- Het K-getal is gekoppeld aan het humusgehalte. Deze koppeling is niet vanzelfsprekend;
- Analyse van verschillende nutriënten wordt momenteel uitgevoerd in verschillende, deels agressieve, extractiemiddelen. Hierdoor en door de koppeling van het K-bemestingsadvies aan het K-getal is het niet goed mogelijk rekening te houden met de invloed van andere nutriënten op de beschikbaarheid van kalium (Van Erp, 2002);
- Er zijn nieuwe analysemethoden beschikbaar waardoor het mogelijk is om zowel de analyse op sporelementen als macro-nutriënten uit te voeren op basis van extractie met een zwak zout. Door gebruik te maken van een zwak zout wordt het wortelmilieu goed benaderd; en
- De analyse van meerdere nutriënten in het zelfde extractiemiddel is uiteindelijk goedkoper en daardoor economisch aantrekkelijk.

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

- Gewasbehoefte;
- Concentratie en activiteit van K in de bodemoplossing in relatie tot die van andere kationen zoals Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ en Na^+ ;
- Omvang en sterkte van het K-adsorptiecomplex (de CEC);
- Het fixatievermogen van de bodem bij K-bemesting; en
- Het vermogen van de bodem om gefixeerde K vrij te maken.

8.1 Kalibemestingsadvies op basis van het K-getal

Het K-getal is ingevoerd in 1928 (Hoofdstuk 7). Dit K-getal is ingevoerd op basis van de waarneming dat een humusrijke grond meer K bevatte (gebonden had) dan een humusarme grond. De keuze voor het vaststellen van het K-getal op basis van humus is, voor die tijd met de ter beschikking staande reken- en analysemethoden, begrijpelijk en voor de hand liggend.

De nutriënten N en S komen in de bodem in belangrijke mate voor in organische vorm. Het nutriënt P komt zowel in minerale als organische vorm voor. Kali is in de bodem vrijwel uitsluitend aanwezig in minerale vorm, maar wel geadsorbeerd aan het humus. De organische stof is echter nauwelijks van invloed op de verdeling van K over de verschillende categorieën of fracties in de bodem of op de beschikbaarheid van K.

Deze fracties zijn (Hoofdstuk 6):

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

De koppeling van K aan het humus maakt rekening houden met de verdeling van K over de verschillende categorieën en het aanpassen of verfijnen van het bemestingsadvies, middels het incorporeren van factoren die de beschikbaarheid K beïnvloeden, problematisch.

Van der Paauw heeft in het verleden (Hoofdstuk 7) al verschillende keren gewezen op andere factoren

die van invloed zijn op de beschikbaarheid van K.

8.2 *Andere nutriënten en factoren*

Andere nutriënten en factoren die van invloed zijn, zijn de omvang en de sterkte van het adsorptiecomplex (CEC), de pH en kationen als Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ en Na^+ .

Volgens het bemestingsadvies (2002) dient K te worden geëxtraheerd in zoutzuur (0,1 M HCl), de pH in kaliumchloride (KCl), magnesium in keuzenzout (NaCl) en natrium in een mengsel van zoutzuur en oxaalzuur. Het vaststellen van een causaal verband tussen de K-beschikbaarheid en het effect van andere factoren is daardoor niet mogelijk. In de bodemscheikunde zijn relaties ontwikkeld die het uitwisselgedrag van K, Mg en Na beschrijven. Voorbeelden zijn de Gapon vergelijking, de Gaines Thomas relatie, etc. (Bolt, 1983). Daarmee kan men beschrijven wat het effect van bijvoorbeeld een veranderd K-gehalte (bijvoorbeeld door bemesting) is op de concentratie Mg en of Na in oplossing en omgekeerd. De laatste twintig jaar zijn diverse geavanceerde modellen beschikbaar gekomen die het fysisch-chemisch adsorptiegedrag van diverse kationen en anionen beschrijven; van zowel spoorelementen en macro-elementen als zware metalen (www.bodems.nl/canon/venster-23.php). Per definitie betekent dit dat er gewerkt wordt met één extractiemiddel om het gedrag van de kat- en anionen te beschrijven. Veelal is dit een zwakke zoutoplossing (CaCl_2 , of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, omdat dit het wortelmilieu het beste benaderd.

Voor een goed K-advies, gericht op opbrengst en gehalte van het gewas, is het gewenst om rekening te houden met van belang zijnde factoren en nutriënten in de bodem. Enerzijds omdat veel Mg en Na de K-opname wat onderdrukt en anderzijds omdat veel K de Mg en Na opname sterk onderdrukt. Van Erp (2002) heeft in zijn proefschrift het principe van multi-nutriënt interacties laten zien en wat dat zou betekenen voor de bemestingsadviezen. Voor Na is recentelijk een nieuw advies opgesteld (Bussink & Bakker, 2009) dat rekening houdt met multi-nutriënt interacties.

8.3 *K-leverend vermogen van de grond en extractiemethode*

Voor het afstemmen van de K-bemesting op de K-behoefte van het gewas is het gewenst het K-leverend vermogen van de grond te kunnen karakteriseren. Voor bepaling van het K-leverend vermogen van de bodem wordt veelal gebruik gemaakt van de concepten intensiteit en capaciteit van de bodem (zie bijvoorbeeld Corey, 1973).

De intensiteit is de hoeveelheid K die in direct opneembare vorm beschikbaar is. Deze hoeveelheid is lager dan de behoefte van het gewas over het groeiseizoen. De intensiteit kan worden gekarakteriseerd door zwakke extractiemiddelen zoals CaCl_2 . Dit levert echter onvoldoende informatie op voor het vaststellen van een bemestingsadvies over het seizoen.

De capaciteit is de hoeveelheid die nageleverd kan worden vanuit de niet direct opneembare bronnen in de bodem. Daarbij is zowel de hoeveelheid als de snelheid van nalevering van belang. Op zandgronden wordt de capaciteit grotendeels bepaald door K-uitwisselbaar. Zandgronden bevatten weinig klei, zodat de hoeveelheid K-gefixeerd verwaarloosbaar is. Op kleigronden vindt gedurende het groeiseizoen ook nalevering vanuit K-gefixeerd plaats (Van Rotterdam, 2010).

De huidige extractie van K vindt plaats met 0,1 M HCl. Hierbij wordt de hoeveelheid K geëxtraheerd die in de bodemoplossing aanwezig is (K-oplossing) plus bij benadering de hoeveelheid uitwisselbaar K (K-uitwisselbaar). De op deze wijze vastgestelde hoeveelheid beschikbaar K geeft informatie over de capaciteit van de bodem, dat wil zeggen de hoeveelheid K die in de bodem gedurende het groeiseizoen

beschikbaar komt.

Bij analyse met een zwak zout (0,01 M CaCl_2) wordt als voordeel genoemd dat met de sterkte van deze oplossing het wortelmilieu wordt nagebootst (Van Erp, 2002). Bij benadering wordt dan de hoeveelheid direct voor de plant beschikbaar K geëxtraheerd. Dit komt overeen met de intensiteit. Hierbij wordt de hoeveelheid K in oplossing geëxtraheerd plus een deel van de het uitwisselbare K (Van Rotterdam, 2010).

8.4 Onderzoek Van Rotterdam-Los

Het onderzoek van Van Rotterdam-Los (2010) had als doel om inzicht te krijgen in de verandering van P en K in de bodemfracties en de beschikbaarheid voor gras. Op basis hiervan is ernaar gestreefd een combinatie van bodemtesten op te stellen die een goede beschrijving geven van het potentieel van de bodem om P en K te leveren.

De K-status van de bodem is gekarakteriseerd door analyse met 0,01 M CaCl_2 , 0,1 M BaCl_2 en 3 M H_2SO_4 . Hierbij is CaCl_2 een maat voor het direct beschikbare K. Dit is de hoeveelheid K in oplossing plus 50-80 % van het uitwisselbare K op zandgrond of 20 – 50 % van het uitwisselbare K op kleigronden.

De hoeveelheid geëxtraheerd K met 0,1 M BaCl_2 komt overeen met de hoeveelheid die geëxtraheerd wordt met 0,1 M HCl en is een maat voor de beschikbaarheid van K gedurende het groeiseizoen.

Met 3 M H_2SO_4 wordt de totale hoeveelheid K in de bodem geschat.

Het onderzoek is uitgevoerd met 15 verschillende zand-, zavel- en kleigronden. Er zijn geen veengronden meegenomen. Het onderzoek is onder andere uitgevoerd in een 6 weken durende potproef. Het gras is na 4 weken geoogst en geanalyseerd. Vervolgens is de K-opname in de hergroei gemeten.

Dit onderzoek leidde tot het volgende resultaat:

- De opname van K door het gewas is sterk gerelateerd aan het direct beschikbare K.
- Deze beschikbaarheid van K was op alle grondsoorten voor de eerste snede (4 weken) goed te voorspellen met 0,01 M CaCl_2 .
- Op de zandgronden scheen de nalevering na 4 weken opgehouden te zijn en ontstond een duidelijke groeivertraging. Op deze gronden kon de beschikbaarheid met alleen K- CaCl_2 worden voorspeld.
- Op de zavel- en kleigronden was er een duidelijke nalevering uit de fractie K-gefixeerd. Naarmate de concentratie aan K in oplossing lager werd, werd de nalevering uit K-gefixeerd groter. Voor deze gronden is het dus nodig om de K-levering vast te stellen op basis van intensiteit en van capaciteit.

8.5 Gewenste situatie

Het gemakkelijk beschikbare K uit de bodem wordt snel opgenomen. Het uitwisselingscomplex moet aangevuld worden door bemesting met K uit dierlijke mest of kunstmest om het gemakkelijk beschikbare K op een goed niveau te brengen of te houden. Een goede schatting van deze aanvulling is belangrijk om tekorten te voorkomen maar ook om te hoge giften en daarmee te hoge K-gehalten en een verlaging van het Mg- en Na-gehalte in het gewas te vermijden.

De daadwerkelijke beschikbaarheid en nalevering van K wordt beïnvloed door interacties met andere kationen in de bodemoplossing en aan het adsorptiecomplex. Vooral Ca^{2+} , Mg^{2+} en NH_4^+ kunnen sterke

invloed hebben. Een bekalking met Ca of een bemesting met Mg zal uiteindelijk van invloed zijn op de K-beschikbaarheid en nalevering, en daardoor op de gewenste K-bemesting. Om deze invloeden goed te kunnen beoordelen is het wenselijk de kationen in eenzelfde extractiemiddel te kunnen bepalen. Door een multi-nutriënt extractie, waarbij meerdere en bij voorkeur alle elementen in hetzelfde extractiemiddel worden bepaald zal het uiteindelijk mogelijk worden het bemestingsadvies integraal op te stellen (Van Erp, 2002).

Verfijnen van het bemestingsadvies is gewenst om beter rekening te kunnen houden met verschillen in K-nalevercapaciteit tussen bodems, en ook om bij het K-bemestingsadvies in te kunnen spelen op het bodemvruchtbaarheidsniveau van andere elementen. Een goede schatting van de K-beschikbaarheid is nodig om met de juiste hoeveelheid K te kunnen bemesten voor het verkrijgen van een goede opbrengst en een gewenst K-gehalte voor gezond vee. Daar komt nog bij dat door wet en regelgeving intensieve bedrijven mest moeten afvoeren, waardoor soms kunstmestkali aangekocht zou moeten worden op basis van het huidige advies. Zeker in deze situaties is het van belang vast te stellen of dit echt nodig is. Daarom verdient het aanbeveling te overwegen om te veranderen van analyse op basis van capaciteit naar analyse op basis van intensiteit en capaciteit. De klasse-indeling op basis van het K-getal komt dan te vervallen.

9 Conclusies en aanbevelingen

9.1 Conclusies

- Van der Paauw & Ris (1953) vonden een grote spreiding in het K-gehalte van gras bij de betreffende K-getallen van de bodem. Dit wijst erop dat andere factoren in de bodem een grote invloed hebben op de beschikbaarheid van K voor het gewas. Van der Paauw heeft hier meerdere keren op geattendeerd.
- Ook De Vries (1966) constateert dat de nalevering uit de bodem een belangrijke rol speelt voor de K-opname en K-beschikbaarheid door het gewas.
- Voor een optimale opbrengst (voldoende K beschikbaar) en voor een gewenst gehalte voor gezond vee (K-gehalten in gewas niet te hoog) is het van belang de K-beschikbaarheid uit de bodem goed te kunnen schatten.
- Analyse- en rekenmethoden zijn in de loop van de tijd aanzienlijk verbeterd. Er zijn nu analysemethoden beschikbaar, waarmee op basis van intensiteit en capaciteit de K-beschikbaarheid beter kan worden geschat, waarbij tevens rekening gehouden kan worden met andere factoren (pH) en nutriënten (Ca, Mg, NH₄ en Na) in de bodem.
- Het huidige advies voor de eerste snede is afgeleid van en gelijk aan het advies dat is opgesteld voor één snede maaien en verder weiden. Het onderzoek hiernaar is uitgevoerd bij een hooisnede van 5 – 7 ton drogestof per ha en een N-bemesting van 50 – 60 kg N per ha.
- Dit huidige advies is gericht op een ruime K-voorziening voor een optimale groei. Bij een maaisnede van 3.000 – 3.500 kg ds per ha komt dit overeen met een K-gehalte in het gras van 33 – 39 gram K per kg drogestof. Hieromheen zal een ruime spreiding voorkomen afhankelijk van de K-beschikbaarheid van de bodem.
- Het advies voor latere sneden kan verder worden verfijnd door rekening te houden met het aantal uren weidegang per dag van de dieren en door het opstellen van een advies per weidesnede.

9.2 Aanbevelingen

Om rekening te kunnen houden met het effect van andere bodemfactoren en andere nutriënten in de bodem op de beschikbaarheid van K en om de bemesting te kunnen richten op een gewenst K-gehalte voor een goede grasopbrengst en gezond vee verdient het aanbeveling om:

- Over te schakelen naar een analysemethode waarmee de intensiteit en de capaciteit worden bepaald.
- De verschillende nutriënten met een zelfde extractiemiddel te analyseren.
- De indeling van de bodemvruchtbaarheid in waarderingsklassen op basis van het K-getal te laten vervallen.
- Het advies voor de eerste en latere sneden af te stemmen op de K-beschikbaarheid in de bodem.
- Voor latere sneden een aantal correcties door te voeren (bij beweiden rekening houden met aantal uren weidegang per dag en advies per weidesnede).

Referenties

- Adams SN 1973 The response of pastures in Northern Ireland to N, P and K fertilizers and to animal slurries. I Effects on dry matter yield. *Journal of agricultural Sciences Camb.* 81, 4111-417.
- Adams SN 1974 The response of pastures in Northern Ireland to N, P and K fertilizers and to animal slurries. III Effects in experiments continued for either two or years. *Journal of agricultural Sciences Camb.* 82, pp. 29-137.
- Allen M, Schilling PE, Brupbacher RH & Harrell AT 1976. Nutrient removal by an oat ryegrass mixture and soil chemical changes as affected by applied nitrogen, phosphorus and potassium. Louisiana agricultural experimental station Bulletin No. 690.
- Archief CBGV Handgeschreven document: "Het kaligetal en het kaliadvies op grasland" en andere handgeschreven notities.
- Bakker Y 1959 De Kalibemesting van grasland. Syllabus no. 39 voor de cursus specialisten weide- en voederbouw 1958/1959.
- Barber SA 1995 Soil nutrient bioavailability, a mechanistic approach. John Wiley & Sons, inc.
- Bélanger G, Richard JE, Walton RB 1989 Effects of 25 years of N, P and K fertilization on yield, persistence and nutritive value of a timothy sward. *Canadian Journal of Plant Science* 69, pp. 501-512.
- Bolt GH 1983 *Soil Chemistry, Part B: Physico-Chemical Models (Developments in Soil Science)*. Elsevier Science Publishing Company, pp 502.
- Britto DT & Kronzucker HJ 2007 Mechanisms of potassium transport in plants. *Proceedings* 605. International fertiliser society. York, UK, 24 p.
- Bussink DW & Spätjens LEEM 2000 Naar een uniforme bemonsteringsdiepte van 0-10 cm op grasland. *Meststoffen* 2000, pp 12-19.
- Bussink DW & Bakker RB 2009 Naar een nieuwe Na-behoefte-norm voor melkvee en een verantwoorde Na-bemesting op grasland. Deel1: Ontwikkeling van een bemestingsadvies NMI-rapport 896.05
- Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen 2009 Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen. Lelystad. Internet: <http://www.bemestingsadvies.nl>
- Corey RB, 1973 Factors affecting the availability of nutrients to plants. In Walsh LM & Beaton JB (Eds) *Soil testing and plant analysis*. Soil Science Society of America. pp.23-34.
- CVB 2005 Handleiding Mineralenvoorziening Rundvee, Schapen, Geten. Commissie Onderzoek Minerale Voeding. Uitgave Centraal VevoederBureau, Lelystad.
- CVB 2008 Tabellenboek Veevoeding 2008, Centraal VeevoederBureau, Lelystad.
- De Haan MHA, Evers AG, Van Everdingen WH & Van den Pol-van Dasselaar A 2005. Invloed mestbeleid met gebruiksnormen op weidegang, *PraktijkRapport* 69, Animal Sciences Group Lelystad.
- Den Boer DJ & Vergeer WN 2000 Wijziging kalibemestingsadvies voor grasland. *Meststoffen* 2000, pp 7-11.
- Den Boer DJ, Van Schöll L & Van Middelkoop JC 2009 Interacties van nutriënten op grasland. Studie uitgevoerd in het kader van de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen. NMI rapport 1253.N.07, 24 pp.
- De Vries P 1966 De beheersing van het kaligetal op blijvend grasland. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 675, UDC nr. 633.2.03:631.426.4 Centrum voor landbouwpublicaties en landbouwdocumentatie Wageningen, 43 pp.
- Directie Akker- en Weidebouw 1962 Adviesbasis voor de bemesting van landbouwgronden. Ministerie van Landbouw en Visserij 1962.

- Doll EC & Lucas RE 1973 Testing soils for potassium, calcium and magnesium. In Walsh LM & Beaton JB (Eds) Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America. pp. 133-152.
- Gething 1986 Improving returns from nitrogen fertilizer. The potassium-nitrogen partnership. International potash institute. Bern, Switzerland. 49p.
- Gillman GP 1979 A proposed method for the measurement of exchangeable properties of highly weathered soils. Australian journal of soil research 17, 129 – 139.
- Hart ML 't & Van der Paauf F 1942 Kalibemesting op grasland. Directie van de Landbouw, Landbouwwoorlichtingsdienst, Med. No. 30.
- Hemingway G 2007 Potassium requirements of grass cut for silage – A review. IFS proceedings 618b.
- Houba VJG, Temminghoff EJM, Gaikhorst GA & Van Vark W 2000 Soil analysis procedures using 0,01 M calcium chloride as extraction reagent. Communications in Soil Science and Plant Analysis 31. 1299 – 1396.
- Keady TWJ & O'Kiely PO 1998 An evaluation of potassium and nitrogen fertilization of grassland, and date of harvest, on fermentation, effluent production, dry-matter recovery and predicted feeding value of silage. Grass and forage science 53(4), pp. 326-337.
- Marschner H 1998 Mineral nutrition of higher plants. Academic Press Ltd, London UK. 889 p.
- McLean EO & Watson 1985 Soil measurements of plant available potassium. In: Potassium in agriculture. RD Munson editors, pp 277 – 308.
- Mengel K & Kirkby EA 1987 Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Vern, Switzerland, 687 p.
- Milford GFJ & Johnston AE 2007 Potassium and nitrogen interactions in crop production. Proceedings 615. International fertiliser society, York, UK, 23 p.
- Novakowski TZ, Byers M 1972 Effect of nitrogen and potassium fertilisers on content of carbohydrates and free amino acids in Italian ryegrass. 2. Changes in the composition of the non-protein nitrogen fraction and the distribution of individual amino acids. Journal of the science of food and agriculture 23(11) pp. 1313-1333.
- Pettigrew WT 2007 Potassium: influence on crop yield and quality. International Fertiliser Society: Proceedings No. 614.
- Remmelink GJ, Ouweltjes W & Holshof G 2005. Invloed stikstofbemesting grasland op voorziening mineralen en spoorelementen rundvee. Praktijk Rapport Rundvee 67.
- Reith JWS, Inkson RHE, Stewart AB, Holmes W, Maclusky DS, Reid D, Clouston D & Copeman GJF 1961 The effects of fertilizers on herbage production. Part I. The effect of nitrogen, phosphate and potash on yield. Journal of Agricultural Sciences 56 (17), pp. 17-29.
- Schreuder R, Van Middelkoop JC, Aalenhuis J & Mandersloot F 1995 Mineralenstroom, milieumodule in BBPR. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, Lelystad. Publicatie nr 99, 33 pp.
- Sluijsmans CMJ 1963 Bemesting van grasland met magnesium op basis van grondonderzoek. Landbouwwoorlichting 20, pp 198 – 205.
- Sparks DL & Huang PM 1985 Physical chemistry of soil potassium. In: Potassium in agriculture. RD Munson editor.
- Sposito G 1989 The chemistry of soils. Oxford university press.
- Van Diest A. 1978 Factors affecting the availability of potassium in soils. In: International Potash Institute, 1978. Potassium research- Review and Trends. Proceedings of the 11th Congress of the International Potash Institute, 1978. pp. 75-98.
- Van Erp P J 2002 The potentials of multi-nutrient soil extraction with 0.01 M CaCl₂ in nutrient management. Wageningen University, Proefschrift juni 2002, pp 237.
- Van der Paauf F 1936 Het kalivraagstuk op de zand- en dalgronden. In: Verslagen van

- Landbouwkundige Onderzoekingen der Rijkslandbouwproefstations No. 42. pp A.213 – A.268. 's Gravenhage, Algemene Landsdrukkerij 1936.
- Van der Paauw F 1943 Grondonderzoek naar fosfaat- en kalitoestand op grasland. Algemene Landsdrukkerij. 's Gravenhage 1943. VLO 49 (17A), pp 958 – 1012.
- Van der Paauw F & Ris J 1953 Toetsing van grondonderzoek naar kalitoestand op Nederlands grasland. Staatsdrukkerij en Uitgeversbedrijf, 's Gravenhage 1953. VLO 59.2.
- Van Rotterdam-Los AMD 2010 The potential of soils to supply phosphorus and potassium. Processes and predictions. Wageningen, Proefschrift 26 februari 2010, pp 139.
- Widdowson FV, Penny A & Williams RJB 1966 An experiment measuring effects of N, P and K fertilizers on yield and N, P and K contents of grazed grass. Journal of Agricultural Science, Cambridge 67, pp 121 – 128.
- Wolton KM, Brockman JS, Brough DWT & Shaw PG 1968 The effect of nitrogen, phosphate and potash fertilizers on three grass species. Journal of Agricultural Science, Cambridge 70, pp 195 – 202.