

MEDEDELINGEN VAN DE LANDBOUWHOGESCHOOL TE
WAGENINGEN/NEDERLAND, DEEL 51 - VERH. 4 (p. 91-112), 1951

OVER DE ZUREN EN BASEN IN HOOI, IN NORMAAL GRAS EN IN GRAS, DAT AANLEI- DING GEEFT TOT HAEMOGLOBINURIE (BLOEDWATEREN) OF TOT GRASTETANIE (KOPZIEKTE) BIJ RUNDEREN

door

E. BROUWER

Laboratorium voor Physiologie der Dieren van de Landbouwhogeschool)

(Ontvangen 4.5.'51)

1. INLEIDING

In de voorafgaande verhandeling¹⁾ werd verslag uitgebracht over een onderzoek, ingesteld naar de minerale samenstelling van het gras der haemoglobinurie-weiden nabij Hooghalen (D). Dit geschiedde mede in verband met het feit, dat de urine van het aldaar grazende rundvee gedurende de zomer van 1950 veelal een zure reactie bleek te bezitten. De minerale samenstelling van het gras werd vergeleken met die van gras en hooi van andere herkomst.

Niettegenstaande de urine zuur was, bleek het haemoglobinuriegras een niet onaanzienlijk base-overschot te bezitten, zij het minder groot dan dat der andere gras- en hooimonsters. Hiermede kon het verschijnsel der zure urine dus niet worden verklaard. Daarentegen werd in de lage alkali-alkaliteit AA een aan- nemelijke verklaring gevonden; bij het haemoglobinuriegras was de AA nl. bijna zonder uitzondering aanmerkelijk lager dan bij de andere monsters.

Uit een en ander bleek, dat er bij het gras verschuivingen en wijzigingen in de onderlinge verhoudingen der mineralen voorkomen, welke wij thans aan een nader onderzoek willen onderwerpen, daarbij wederom gebruik makende van de analyses, die in de vorige verhandeling zijn vermeld.

Aangezien ons dus geen omvangrijk cijfermateriaal ter beschikking staat, zullen wij ook thans van uitvoerige berekeningen afzien, maar onze aandacht in de eerste plaats aan een aantal grafieken schenken, waaruit onze conclusies met weinig moeite kunnen worden afgelezen.

2. HET ZUUR-BASE-DIAGRAM

Een der eerste vragen welke rezen, betrof het base-overschot TA in de Drentse monsters, dat, bij de berekening met $P = 3 \text{ aeq.}$, rond 200 milliaequivalenten per

¹⁾ E. BROUWER, A. J. v. D. VLIERT, Mededelingen van de Landbouwhogeschool te Wageningen 51 (3) 73-90 (1951).

kg droge stof bedroeg tegen ± 400 bij het kunstmatig gedroogde gras, dat ongeveer hetzelfde eiwitgehalte bezat. Het geringere overschot bij de Drentse monsters zou kunnen berusten of op een tekort aan base of op een overmaat aan zuur.

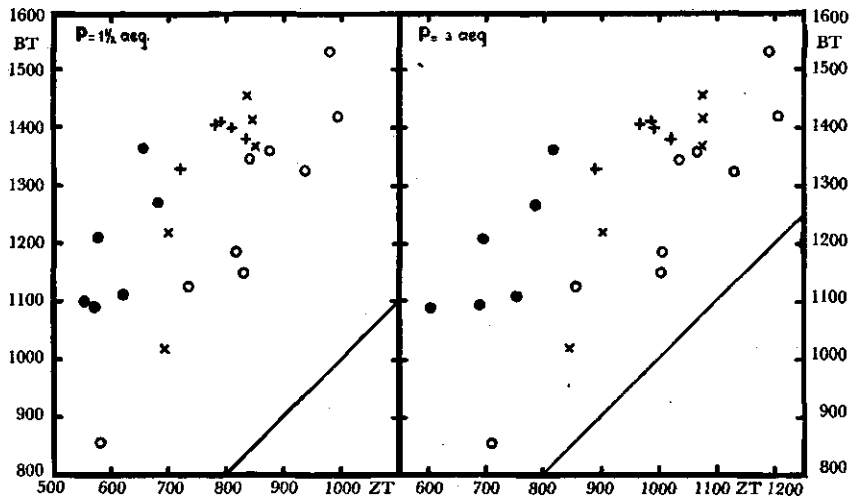


Fig. 1. Zuur-base-diagrammen ($P = 1\frac{1}{2}$ aequivalenten en $P = 3$ aequivalenten)

Horizontale as: ZT = zuur-totaal = Cl + P + S (milliaequivalenten per kg droge stof)

Verticale as: BT = base-totaal = K + Na + Ca + Mg (milliaequivalenten per kg droge stof)

punten: Serie 1; Fries hooi

cirkeltjes: Serie 2; Gras Drente

plus-teken: Serie 3; Kunstmatig gedroogd gras

maal-teken: Serie 4; Gras van kopziekteweidens

Voor de beantwoording van deze vraag verwijzen wij naar fig. 1. In deze figuur is voor elk monster op de abscis uitgezet het totaal aantal milliaequivalenten zuur (zuur-totaal = ZT) en op de ordinaat het totaal aantal milliaequivalenten base (base-totaal = BT), beide weer per kg droge stof berekend. Wij hebben dus:

$$\text{Abscis: } ZT = Cl + P + S,$$

$$\text{Ordinaat: } BT = Na + K + Ca + Mg.$$

Voorts kan de figuur inlichtingen geven omtrent de som TT en het verschil VT van base-totaal en zuur-totaal en wel op een wijze, analoog aan die, besproken bij het alkaliteitsdiagram in de voorafgaande verhandeling. TT en VT definiëren wij als volgt:

$$TT = BT + ZT = K + Na + Ca + Mg + Cl + P + S,$$

$$VT = BT - ZT = K + Na + Ca + Mg - Cl - P - S.$$

Zoals wij dus in het alkaliteitsdiagram beschouwden de vier waarden: AA, EA, TA en VA (dit is de A-reeks), zo beschouwen wij in het zuur-base-diagram de vier waarden BT, ZT, TT en VT (dit is de T-reeks). Het verbindingslid tussen deze twee viertallen vormen TA en VT, want $TA = VT$.

Evenals in de diagrammen der vorige verhandeling zijn de monsters van het Friese hooi aangeduid met punten, de monsters uit Drente met cirkeltjes, het kunstmatig gedroogde gras met plus-teken en de monsters der kopziekteweidens

Tabel 1. Milliaequivalenten der basen en zuren in vier series gras en hooi berekend per kg droge stof

	eiwit- achtige stof ¹⁾	K	Na	Ca	Mg	Cl	P (P = 1½ aeq.)	P (P = 3 aeq.)	S	BT ²⁾	ZT ³⁾ (P = 1½ aeq.)	TT ⁴⁾ (P = 1½ aeq.)	VT ⁵⁾ (P = 1½ aeq.)	ZT ³⁾ (P = 3 aeq.)	TT ⁴⁾ (P = 3 aeq.)	VT ⁵⁾ (P = 3 aeq.)
<i>Serie 1; Fries hooi</i>																
overgang veen-klei	13,2	649,2	139,6	302,9	270,6	321,1	160,1	320,1	172,3	1362	654	2016	709	814	2176	549
zware klei	11,7	422,0	223,1	363,3	201,5	276,8	121,4	242,7	174,2	1210	572	1782	638	694	1904	516
lichte klei	9,4	642,3	63,1	248,0	157,9	351,9	136,8	273,7	129,2	1111	618	1729	493	755	1866	356
knip	10,2	569,9	119,6	232,5	170,2	287,2	134,4	268,9	135,5	1092	557	1649	535	692	1784	401
veen (blauwgras)	10,2	241,3	167,5	408,2	270,6	345,7	40,6	81,2	179,2	1088	566	1653	522	606	1694	482
venige knip (niet ingepolderd)	11,1	512,3	164,4	295,9	295,2	426,6	104,9	209,9	147,3	1268	679	1947	589	784	2052	484
<i>Serie 2; Gras Drente</i>																
No 238 (1)	15,8	463,2	184,0	513,5	198,2	431,7	198,7	397,5	245,9	1359	876	2235	483	1075	2434	284
No 239 (2)	15,8	424,8	193,6	506,5	217,9	406,3	198,7	397,5	233,5	1343	838	2181	504	1037	2380	306
No 240 (3)	14,6	305,8	193,6	417,2	208,1	369,6	122,3	244,7	241,6	1125	734	1858	391	856	1981	269
No 241 (4)	19,8	535,3	219,2	438,6	227,8	513,5	211,3	422,6	270,9	1421	996	2417	425	1207	2628	214
No 242 (5)	19,4	700,9	187,0	445,6	198,2	541,8	211,3	422,6	224,7	1532	978	2510	554	1189	2721	343
No 243 (6)	14,6	522,5	109,6	356,8	158,7	462,8	179,4	358,8	185,4	1148	828	1975	320	1007	2155	141
No 244 (7)	14,4	514,1	116,1	392,2	163,7	462,8	190,0	380,1	162,3	1186	815	2001	371	1005	2191	181
No 245 (8)	17,4	562,9	174,4	392,2	193,3	505,1	194,4	388,8	237,2	1323	937	2260	386	1131	2454	192
No 246 (9)	13,4	484,4	45,2	206,6	119,2	282,2	131,0	262,1	166,7	855	580	1435	276	711	1566	144
<i>Serie 3; Kunstmatig ge- droogd gras</i>																
gemiddeld 1942	17,0	796,6	74,4	320,9	208,1	375,3	185,7	371,4	243,4	1400	804	2204	596	990	2390	410
zand 1942	17,1	847,5	64,4	310,4	188,3	375,3	194,4	388,8	221,0	1411	791	2201	620	985	2396	426
laagveen 1942	16,9	732,9	100,0	313,9	232,7	375,3	181,8	363,6	281,5	1380	839	2218	541	1020	2400	359
klei 1942	17,1	809,4	61,3	335,3	198,2	372,5	183,8	367,5	227,2	1404	784	2188	621	967	2371	437
voorjaarsgras 1942	17,3	771,0	70,9	310,4	178,5	349,9	171,2	342,4	197,9	1331	719	2050	612	890	2221	441
<i>Serie 4; Gras van kopziekte- weiden</i>																
voorjaar 1950	33,4	1060,6	41,3	221,6	131,6	250,8	239,4	478,7	345,2	1455	835	2290	620	1075	2530	380
voorjaar 1930	28,1	989,8	45,7	243,5	134,0	330,4	231,1	462,3	282,1	1413	844	2257	569	1075	2488	338
voorjaar 1930	23,9	934,2	50,0	241,0	143,1	370,8	222,4	444,9	258,4	1368	852	2220	517	1074	2442	294
voorjaar 1930	18,8	756,9	92,6	242,5	129,9	267,2	202,6	405,2	229,7	1222	700	1921	522	902	2124	320
voorjaar 1930	13,6	646,4	45,7	238,5	89,6	415,9	149,4	298,8	131,7	1020	697	1717	323	846	1867	174
herfst 1930	21,4	764,1	91,8	235,0	144,7	-	222,4	444,9	-	1236	-	-	-	-	-	-

¹⁾ eiwitachtige stof = ruw eiwit (percentage in de droge stof)²⁾ BT = base-totaal of basensom (milliaequivalenten per kg droge stof)³⁾ ZT = zuur-totaal of zurensom (milliaequivalenten per kg droge stof)⁴⁾ TT = totaal der totalen = BT + ZT (milliaequivalenten per kg droge stof)⁵⁾ VT = verschil der totalen = base-overschot = BT - ZT (milliaequivalenten per kg droge stof)

met maal-tekens. De gegevens, die voor de samenstelling van het diagram zijn gebruikt, bevinden zich in tabel 1.

Bezien wij nu de figuur, dan blijken de beeldpunten der monsters in een langwerpig veld gerangschikt te zijn, waarvan de lengterichting van links onder naar rechts boven loopt, ongeveer evenwijdig aan de rechte, die van het punt 800 op de abscis uitgaande, met een hoek van 45° naar rechts boven is getekend. Dit wil zeggen, dat er een positieve correlatie bestaat tussen ZT en BT. Neemt ZT toe, dan neemt BT dooreengenomen eveneens toe. Dit maakt, dat $ZT + BT = TT$ zeer grote verschillen vertoont. Bepalen wij ons b.v. tot de rechter helft van de figuur, dan ziet men onmiddellijk, dat het cirkeltje links onder, dat het *Deschampsia*-gras uit Drente voorstelt, het monster met de laagste TT aangeeft; de juiste waarde bedraagt 1566. Hoe verder men naar rechts boven gaat, hoe groter TT wordt, totdat bijna het dubbele, nl. 2721, wordt bereikt door het cirkeltje, dat het verst naar rechts boven ligt. Dit is het monster No 242 (5), eveneens uit Drente.

Omtrent het base-overschot $VT = BT - ZT$ krijgt men een indruk door uit te gaan van de zoëven genoemde rechte door het punt 800 van de abscis. Zou men deze rechte naar links onder verlengen, dan zou zij door het punt $P(0, 0)$ blijken te gaan. In alle punten van deze rechte is VT dus gelijk aan nul. Alle monsters liggen links boven deze rechte. Dit wil dus zeggen, dat er bij alle monsters een positieve VT was, zoals ook bij de bestudering van het alkaliteitsdiagram was gevonden; immers $VT = TA$. Hoe verder de punten van de rechte verwijderd liggen, des te groter is hun VT. Naar links boven gaande vormt de reeks der beeldpunten weer een front. Dit front komt overeen met het TA-front in het alkaliteitsdiagram der vorige verhandeling. Langs het gehele front is VT ongeveer gelijk, TT daarentegen zeer verschillend, zoals reeds werd opgemerkt.

Beschouwen wij nu de verdeling der punten, die der plus-tekens en die der maal-tekens langs dit front, dan blijkt deze verdeling een geheel andere te zijn dan die langs het overeenkomstige TA-front in het alkaliteitsdiagram. Over het algemeen liggen de beeldpunten der hooimonsters links onder. Dit betekent, dat de TT in de droge stof van het hooi kleiner is dan in die van het gras. Wij dienen dit zó op te vatten, dat bij het uitgroeien en stengelig worden van het gras het totale gehalte aan anorganische zuren en basen, d.w.z. dat aan minerale bestanddelen (afgezien van het kiezelzuur), relatief kleiner wordt door het toenemen der organische substantie.

Zeër verrassend is echter de ligging van de plus-tekens (kunstmatig gedroogd gras) en maal-tekens (gras kopziekteweiden) ten opzichte van elkaar. Lagen deze in het alkaliteitsdiagram vrij ver van elkaar af, hier liggen zij vlak bij elkaar. Dit wil zeggen, dat het zuur-totaal ZT en base-totaal BT ongeveer gelijk zijn en dus ook hun som en verschil: TT en VT. Daarentegen hebben wij vroeger gezien, dat hun AA, EA en VA zeer verschillend waren. Men ziet hieruit, dat belangrijke alkaliteitsverschillen onopgemerkt kunnen blijven, wanneer men zijn beschouwingen enkel maar tot het base-overschot VT en zijn componenten BT en ZT beperkt.

Zien wij tenslotte naar de cirkeltjes (gras Drente), dan blijken deze, behoudens één uitzondering, aanmerkelijk dichter bij de scheef lopende rechte te liggen dan de beeldpunten der overige monsters. Het VT (base-overschot) is dan ook kleiner, zoals wij vroeger reeds hadden gevonden. Vergelijken wij de ligging der cirkeltjes met die van de plus-tekens (kunstmatig gedroogd gras), dan blijkt, dat zich verschillende gevallen voordoen.

Het *Deschampsia*-monster, links onder, is zeer base-arm en tevens zuur-arm.

Vervolgens naar rechts boven gaande komen er drie cirkeltjes, die vrijwel loodrecht onder de plus-tekenen liggen. Deze monsters bevatten dus voldoende anorganisch zuur, maar zijn beslist base-arm.

Daarna komen er vier cirkeltjes, die vrijwel rechts van de plus-tekenen liggen. De desbetreffende monsters zijn blijkbaar nauwelijks base-arm, daarentegen zuur-rijk.

Ten slotte is er nog een cirkeltje rechts boven, dat vrijwel in het front ligt. Blijkbaar vertegenwoordigt het een monster, dat zowel rijk aan zuur als rijk aan base is.

Zien wij af van uitzonderingsgevallen, dan blijkt, dat het geringe base-overschot in het gras der haemoglobinurieweiden vooral op een tekort aan basen berust. Een overschot aan zuur kan er eveneens een rol bij spelen.

3. ZURENDIAGRAMMEN

Zoëven hebben wij gezien, dat belangrijke alkaliteitsverschillen onopgemerkt blijven, wanneer men zijn beschouwingen enkel maar tot het base-overschot VT en zijn componenten BT en ZT beperkt. In het bijzonder bleek dit bij de vergelijking van het kunstmatig gedroogde gras met het gras der kopziekteweiden, waarbij het base-totaal BT en het zuur-totaal ZT en dus ook hun verschil VT ongeveer gelijk waren, terwijl er in de vroegere verhandeling toch belangrijke verschillen in AA, EA en VA aan de dag waren getreden. Dit laatste kan derhalve alleen maar worden veroorzaakt door onderlinge verschuivingen in de groep der basen of in die der zuren, of in allebei.

Er is dus alle reden de basen afzonderlijk in studie te nemen en eveneens de zuren. Wij vangen aan met de zuren, omdat het aantal daarvan slechts drie bedraagt, terwijl er niet minder dan vier basen zijn.

Wij denken ons nu de drie zuren in een ruimtelijk Cartesisch coördinatenstelsel met drie loodrecht op elkaar staande assen uitgezet en bepalen hiervan de horizontale en de verticale projectie (fig. 2). In deze figuur 2 zijn de assen zodanig geplaatst, dat twee ervan in het horizontale projectievlak liggen, nl. die voor Cl en die voor S. Cl en S zijn weer uitgedrukt in milliaequivalenten per kg droge stof. Op de verticale as is P uitgezet. Wij konden hier volstaan met het geval: $P = 1\frac{1}{2}$ milliaequivalent, omdat het geval $P = 3$ milliaequivalenten geen andere wijziging in de figuur zou teweegbrengen dan een verlenging van de verticale coördinaten tot het dubbele.

Voor de verticale projectie zijn twee vlakken gebruikt. Het ene is om de as m naar rechts boven omgeslagen, het tweede om de as n naar rechts onder.

Wat nu de horizontale projectie betreft, maken wij er nog opmerkzaam op, dat m zodanig is gekozen, dat alle horizontale projecties der beeldpunten vallen in de driehoek, welke begrensd wordt door de Cl-as, de S-as en de rechte m . Op m en op elke rechte evenwijdig aan m is de som $Cl + S$ gelijk. Men ziet dadelijk, dat deze som voor de hooimonsters dooreengenomen aanzienlijk kleiner is dan voor de overige monsters. Op de verticale projectie (rechts boven) ziet men, dat hetzelfde het geval is met de P-gehalten.

Voorts ziet men in de horizontale projectie, dat de monsters der kopziekteweiden rijker zijn aan S, doch armer aan Cl dan de overige. Bij de Drentse monsters is het juist andersom. Het schijnt of S en Cl tegen elkaar worden uitge-

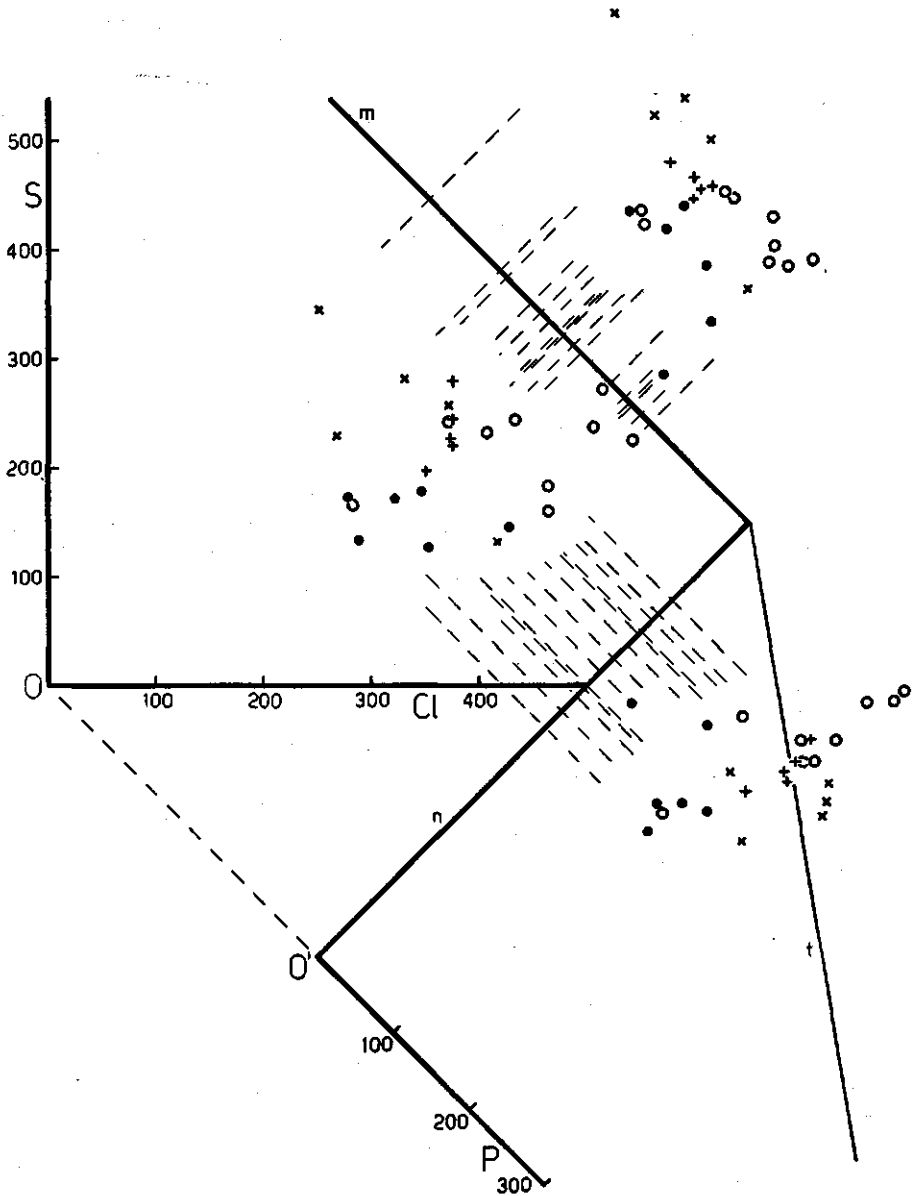


Fig. 2. Zuren-diagram ($P = 1\frac{1}{2}$ aequivalenten)

Cl, S en P (milliequivalenten per kg droge stof) op drie onderling loodrechte assen uitgezet

gedacht

Horizontale projectie (boven) en twee verticale projecties (rechts boven en rechts onder)

punten: Serie 1; Fries hooi

cirkeltjes: Serie 2; Gras Drente

plus-teken: Serie 3; Kunstmatig gedroogd gras

maal-teken: Serie 4; Gras van kopziekteweiden

wisseld. Welke de reden daarvan kan zijn is mij niet duidelijk. Ten slotte zal de lezer, na hetgeen bij de vorige diagrammen is gezegd, gemakkelijk uit de horizontale projectie kunnen aflezen, dat het verschil $S - Cl$ vrij aanzienlijk kan schommelen, evenals de verhouding S/Cl .

Zeer leerzaam is de verticale projectie rechts onder. Hierin is de rechte t zeer instructief, omdat op deze rechte het zuur-totaal $ZT = Cl + P + S$ constant is, nl. 800. Op de rechten, evenwijdig aan t en gelegen aan de kant van de oorsprong O' , is ZT eveneens gelijk, maar kleiner; op de rechten, evenwijdig aan t maar gelegen aan de tegenovergestelde kant is ZT groter. In de oorsprong O' is ZT uiteraard gelijk aan nul. Uit de figuur blijkt, dat ZT aanzienlijk kan schommelen en dat de beeldpunten in hoofdzaak gelegen zijn in een sector, die met de top in O' is gelegen en naar rechts boven uitstraalt. Twee hooimonsters en één der Drentse monsters liggen er buiten; deze hebben blijkbaar een tekort aan P . Dit is begrijpelijk, omdat de beide hooisoorten afkomstig waren van niet ingepolderd land, terwijl bij het Drentse monster was opgemerkt, dat in 1950 niet met P was bemest. Bij de overige monsters neemt het P -gehalte ongeveer recht evenredig met ZT toe.

Dit alles, gevoegd bij hetgeen over de horizontale projectie is opgemerkt, is voldoende om ons te doen inzien, dat de beeldpunten *in de ruimte* gerangschikt zijn in een platte kegel met de top gericht naar O ; men zou ook kunnen zeggen, dat zij ter weerszijden van een plat vlak liggen, dat door O gaat en dat zowel in de Cl -richting als in de S -richting naar boven oploopt, in de S -richting echter iets méér dan in de Cl -richting.

Het is daarom duidelijk, dat wij het merendeel der beeldpunten in een klein bestek opeengehoopt zullen vinden, wanneer wij ze van O uit projecteren op een vlak V , dat gelijke stukken van de drie assen afsnijdt. Om het beeld overzichtelijker te houden werden hiervoor twee afzonderlijke figuren (fig. 3 en 4) getekend, nl. één voor $P = 1\frac{1}{2}$ equivalent en één voor $P = 3$ equivalenten. De snijpunten van V met de coördinaatassen zijn weergegeven door de punten Cl , S en P . De verbindingslijnen tussen deze punten stellen de snijlijnen met de coördinaatvlakken voor. Aldus ontstaat een gelijkzijdige driehoek en hierin zijn de van O uit geprojecteerde beeldpunten getekend. Voor elk dezer projecties zijn de loodrechte afstanden tot de drie driehoeks zijden evenredig met de oorspronkelijke coördinaten, dus met de gehalten aan Cl , S en P . Opgemerkt dient nog te worden, dat de som dezer drie afstanden voor alle beeldpunten dezelfde is. Het diagram leert dus niets omtrent de absolute waarden der oorspronkelijke coördinaten, maar alléén omtrent hun onderlinge verhouding bij elk monster. Zou men de driehoek zó tekenen, dat de hoogtelijn gelijk aan 100 is, dan zouden de zoëven bedoelde loodlijnen op de drie zijden voor elk monster de procenten Cl , S en P voorstellen, betrokken op hun som ZT . Inderdaad hebben wij voor de constructie van het diagram van deze eigenschap gebruik gemaakt. Omgekeerd kan men de percentages Cl , S en P , betrokken op hun som ZT , uit de diagrammen aflezen met behulp van een liniaal en gebruik makende van de schaalverdelingen op de driehoeks zijden.

Zoals was verwacht, vinden wij de aldus geprojecteerde beeldpunten in een langwerpig, doch weinig omvangrijk bestek bijeen, afgezien van twee hooimonsters en van één der Drentse grasmonsters. Op grond van hetgeen zoëven over het P -gehalte dezer monsters is opgemerkt, mocht dit ook worden verwacht.

Wij kunnen uit de figuren 3 en 4 besluiten, dat de onderlinge verhouding van Cl , P en S zo goed mogelijk constant wordt gehouden, ook al is hun som ZT aan

grote schommelingen onderhevig. Niettemin kan er een zekere onderlinge uitwisseling van Cl, P en S plaats vinden. Bij de monsters der kopziekteweiden b.v. is de verhouding veranderd ten gunste van S en ook ietwat ten gunste van P, maar ten nadele van Cl. Diametraal daartegenover staan de monsters uit Drente, waarbij een verschuiving wordt geconstateerd ten gunste van Cl en ten nadele van S en bovendien ook ten nadele van P. De drie beeldpunten, die buiten het bestek liggen, tonen echter aan, dat ook verdere verschuivingen mogelijk zijn.

Van veel invloed op de alkaliteitsverhoudingen zijn deze uitwisselingen echter niet, omdat het vooral gaat om de vervanging van Cl door S, waardoor AA, EA en VA niet veranderen. Daarentegen heeft de uitwisseling van Cl plus S tegen P bij het kopziektewas, in vergelijking met het kunstmatig gedroogde gras, inderdaad enige stijging van AA en daling van EA en dus een verhoging van VA ten

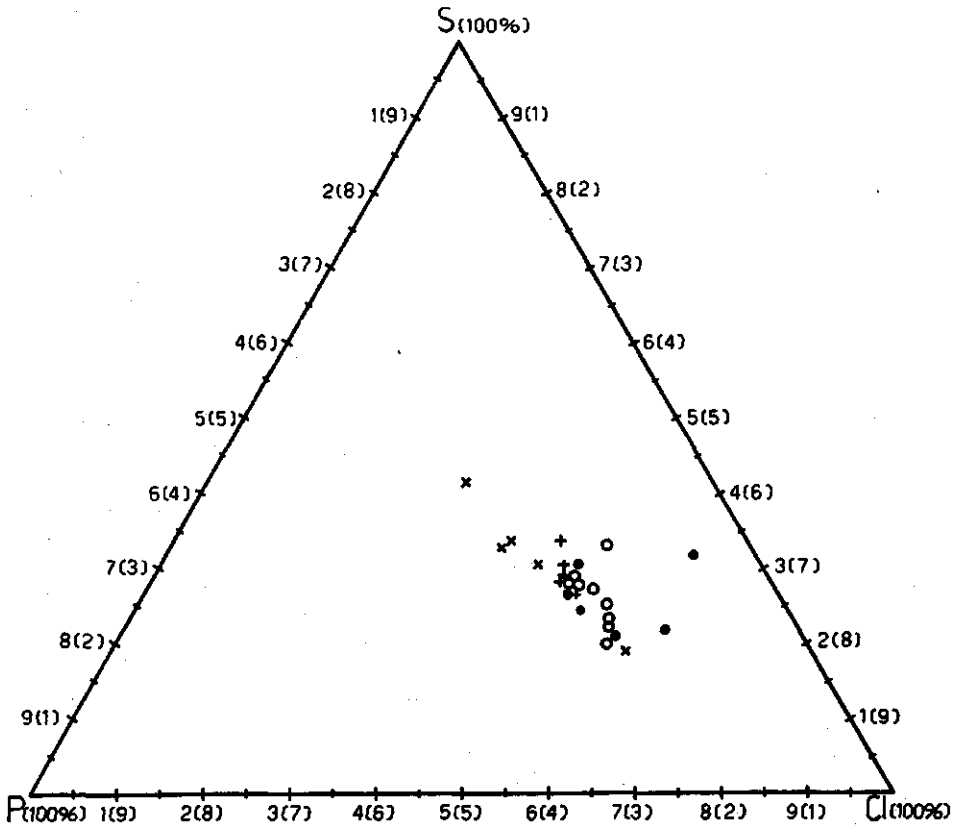


Fig. 3. Driehoeksdiaagram der zuren ($P = 1\frac{1}{2}$ equivalenten)

De loodlijnen op de driehoekszijden stellen de percentages der milliequivalenten Cl, P en S voor, bij elk monster betrokken op hun som Cl + P + S. Deze percentages kunnen uit de figuur worden afgelezen met behulp van de schaalverdelingen, die zich op de driehoekszijden bevinden.

punten: Serie 1; Fries hooi
 cirkeltjes: Serie 2; Gras Drente
 plus-tekens: Serie 3; Kunstmatig gedroogd gras
 maal-tekens: Serie 4; Gras van kopziekteweiden

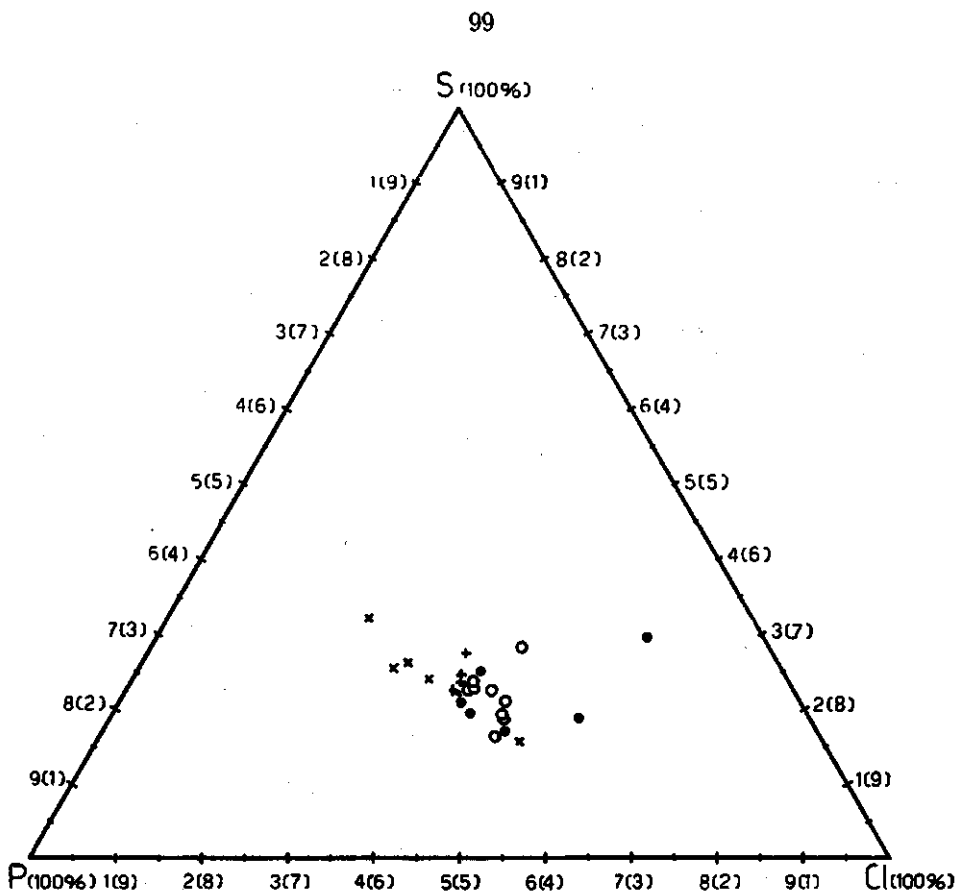


Fig. 4. Driehoeksdiaqram der zuren ($P = 3$ aequivallenten)

De loodlijnen op de driehoekszijden stellen de percentages der milliaequivalenten Cl, P en S voor, bij elk monster betrokken op hun som $Cl + P + S$. Deze percentages kunnen uit de figuur worden afgelezen met behulp van de schaalverdelingen, die zich op de driehoekszijden bevinden.

punten: Serie 1; Fries hooi

cirkeltjes: Serie 2; Gras Drente

plus-tekens: Serie 3; Kunstmatig gedroogd gras

maal-tekens: Serie 4; Gras van kopziekteweid

gevolge; maar ook dit is van ondergeschikt belang. Iets verder, doch in tegengestelde richting, gaan de uitwisselingen bij het Drentse gras; ook hier zijn zij echter betrekkelijk klein. De grote verschillen in AA, EA en VA moeten dus niet in hoofdzaak aan de onderlinge verschuivingen der zuren, maar aan die der basen ten opzichte van elkaar worden toegeschreven, althans voor zover BT en ZT daarbij niet veranderen.

Niettemin zouden wij de studie der zurendiagrammen geenszins willen verwaarlozen. Wij hebben immers gezien, dat soms aanzienlijke verschuivingen voorkomen door P-tekorten, die de volle aandacht der landbouwkundigen verdienen.

4. HET BASENDIAGRAM

Thans zullen wij de vier basen beschouwen. Het aantal milliequivalenten dezer basen per kg droge stof zullen wij voor een willekeurig monster aanduiden met x_1, x_2, x_3 en x_4 . Het is duidelijk, dat wij hier met een driedimensionaal schema niet uitkomen, maar dat wij een vierdimensionaal stelsel met vier loodrecht op elkaar staande assen zouden moeten gebruiken om de gehaltcijfers daarin uit te zetten.

Om niettemin met een driedimensionale voorstelling uit te komen bedenken wij, dat de som der basen in het gras der kopziektewelden en die in het kunstmatig gedroogde gras gemiddeld vrijwel gelijk waren en dat deze sommen ook bij de afzonderlijke monsters van elke groep niet veel verschilden. Wij hoeven op de getallen x_1, x_2, x_3 en x_4 van elk monster dan ook slechts een correctie van geringe grootte toe te passen om de sommen gelijk te krijgen. Is deze som bij een bepaald monster BT en het gemiddelde over alle monsters gelijk aan B, dan vermenigvuldigen wij de vier basegehaltenes van dit monster met $\frac{B}{BT}$. Een correctie van deze vorm heeft het voordeel, dat de onderlinge verhouding der cijfers daarbij gelijk blijft.

Men kan de zaak nog overzichtelijker maken door de eenheden zodanig te kiezen, dat $B = 100$. Dit kan worden bereikt door vermenigvuldiging met $\frac{100}{BT}$, waardoor de uitkomst wordt: $x_1' = \frac{100}{BT} x_1, x_2' = \frac{100}{BT} x_2$ enz., waarbij x_1', x_2', x_3', x_4' percentages van hun som voorstellen, omdat voor elk monster geldt: $\sum x' = 100$. Men kan óók zeggen, dat x_1, x_2, x_3 en x_4 voor elk monster in procenten van hun som BT zijn uitgedrukt.

Uiteraard kan men dit laatste eveneens doen voor de monsters, waarvan BT aanmerkelijk van die der zoëven genoemde verschilt. Aldus kan men waardevolle vergelijkingen maken omtrent de onderlinge verhouding der vier percentages bij de monsters met grote BT en bij die met kleine BT, b.v. voor het beantwoorden van de vraag of deze verhouding verandert bij het kleiner worden van BT tijdens het vorderen van het groeistadium. De absolute waarde van de x_1' van het ene monster mag echter niet zonder meer met de x_1' van een ander monster met aanmerkelijk verschillende BT vergeleken worden, omdat de factoren $\frac{100}{BT}$, waarmede x_1 moet worden vermenigvuldigd om x_1' te krijgen, nu sterk verschillen. Hetzelfde geldt voor x_2', x_3', x_4' .

Wij maken thans gebruik van de eigenschap van een regelmatig viervlak of tetraëder, dat de som der vier loodlijnen, die men uit een punt kan neerlaten op de zijvlakken, voor alle punten in het tetraëder gelijk is. Door aan de ribbe de lengte $50\sqrt{6}$ te geven zou men bereiken, dat deze som gelijk aan 100 wordt, zodat aan elk monster een zodanig beeldpunt P in het tetraëder kan worden toegevoegd, dat de vier loodlijnen gelijk zijn aan de percentages x_1', x_2', x_3' en x_4' .

Het is gemakkelijk in te zien, dat geen der beeldpunten buiten het tetraëder kan liggen, omdat in dat geval ten minste één der waarden x' negatief zou zijn, hetgeen onmogelijk is; het gehalte van het gras aan een bepaald bestanddeel kan nl. niet beneden nul dalen. Mocht het gehalte aan een der basen precies gelijk aan

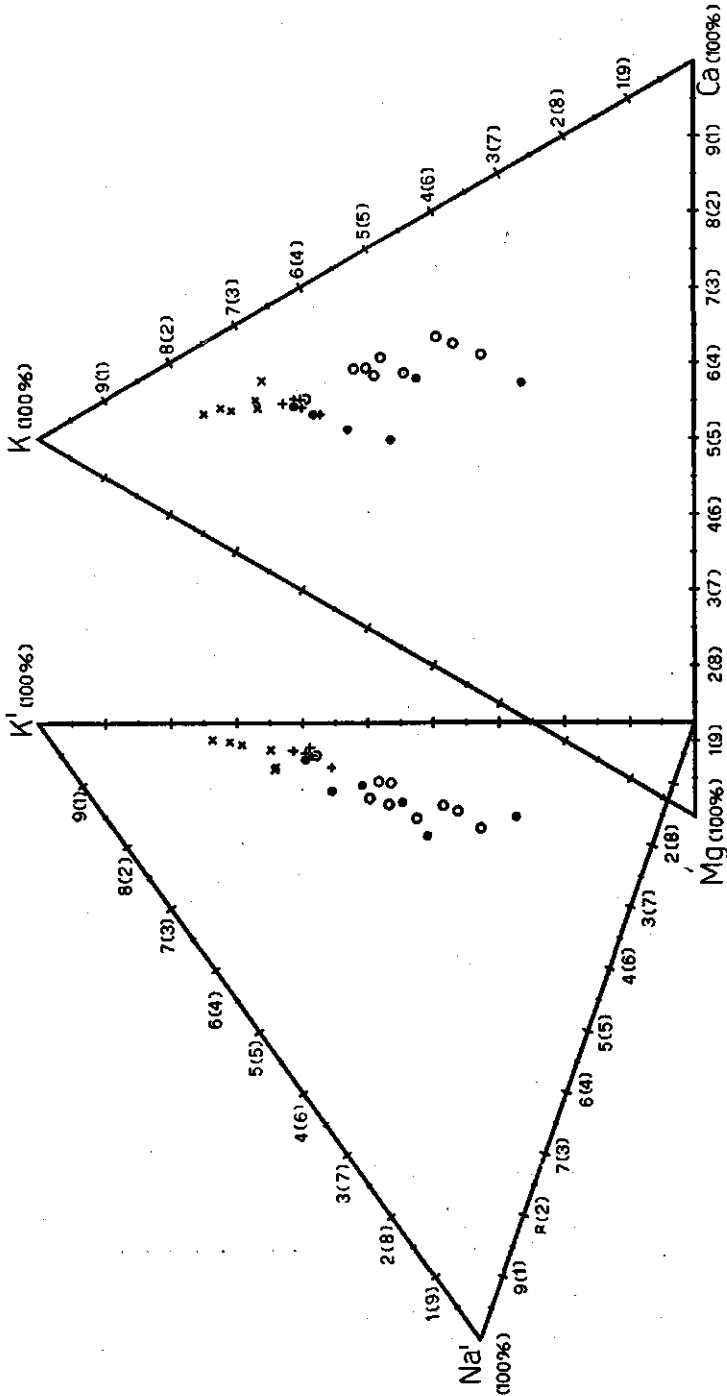


Fig. 5. Tetraëderdiagram der basen of basendiagram

De beeldpunten der monsters zijn uitgezet gedacht in een regelmatig viervlak of tetraëder. De loodlijnen op de vier zijvlakken stellen voor elk monster de percentages der milliequivalenten K, Na, Ca en Mg voor, betrokken op hun som $K + Na + Ca + Mg$. In de verticale projectie (links) kunnen deze percentages voor de elementen K en Na direct worden afgelezen door gebruik te maken van de schaalverdelingen op de driehoekszijden.

De driehoek rechts met de daarin gelegen beeldpunten is verkregen door centrale projectie uit de niet getekende top Na van het tetraëder als centrum. Hierin kunnen K, Ca en Mg worden afgelezen als percentages, betrokken op hun som $K + Ca + Mg$ en wel door gebruik te maken van de schaalverdelingen op de driehoekszijden. Om ze te leren kennen als percentages van de som $K + Na + Ca + Mg$, zou men de afgelezen

percentages K, Ca en Mg moeten vermenigvuldigen met $\frac{100}{100 - Na}$.

punten: Serie 1; Fries hooi
cirkeltjes: Serie 2; Gras Drente
plus-tekens: Serie 3; Kunstmatig gedroogd gras
maal-tekens: Serie 4; Gras van kopziektewelden

nul worden, dan komt het beeldpunt in één der zijvlakken te liggen. Licht het punt in het hoekpunt tegenover dit zijvlak, dan is de x' voor dezelfde base gelijk aan 100; de gehalten aan de drie andere basen zijn dan gelijk aan nul. Licht het punt ten slotte op een ribbe, dan zijn twee basen afwezig; de twee andere maken samen 100 procent uit.

De moeilijkheid is nu deze ruimtelijke figuur op papier af te beelden¹⁾. Hierbij zijn wij niet volgens een vooraf vastgesteld systeem te werk gegaan, maar wij hebben de bijzondere groepering der beeldpunten in het tetraëder in aanmerking genomen.

In de rechter helft van de figuur 5 stelt de driehoek $KCaMg$ het grondvlak van het tetraëder voor. De top Na , welke in deze helft van de figuur niet is getekend, bevindt zich loodrecht boven het hoogtepunt van de driehoek. De letters der hoekpunten van het tetraëder zijn zodanig gekozen, dat zij de bestanddelen aangeven, wier percentages x' moeten worden voorgesteld door de loodlijnen uit de beeldpunten P op de overstaande zijvlakken. Zo wordt het percentage natrium bij een bepaald monster weergegeven door de loodlijn uit P op het grondvlak neergelaten. Zoals gezegd is $x_1' + x_2' + x_3' + x_4' = 100$.

Eerst zullen wij nu de *verticale projectie* beschouwen. Deze wordt voorgesteld door de driehoek links. Om ruimte te sparen is het verticale projectievlak zodanig gekozen, dat het linkse uiteinde van het tetraëder wordt afgesneden. De hoekpunten K' en Na' stellen achtereenvolgens de verticale projecties van het hoekpunt K en van de top Na van het tetraëder voor.

De zoëven bedoelde loodlijn uit een punt P op het grondvlak neergelaten, die het percentage natrium aangeeft, wordt in haar volle lengte op het verticale projectievlak afgebeeld en hetzelfde geldt voor de loodlijn op het zijvlak tegenover het hoekpunt K . Deze percentages kan men dus voor elk beeldpunt direct in de verticale projectie aflezen met behulp van een liniaal of van een tussen rechter en linker hand gespannen draad, daarbij gebruik makende van de schaalverdelingen op de driehoekszijden. Daarentegen zegt de verticale projectie ons slechts weinig omtrent de afzonderlijke percentages Ca en Mg ; zoals men echter gemakkelijk zal inzien is hun som evenredig met de loodlijn op $K'Na'$.

Meer moeilijkheden leverde de *horizontale projectie* op. Ten slotte werden de punten P , van het hoekpunt Na als centrum uit, op het grondvlak geprojecteerd. De aldus verkregen punten Q liggen op een geringe afstand verwijderd van die, welke men bij een gewone orthogonale projectie zou vinden.

Duiden wij weer bij een bepaald monster met x_1', x_2', x_3' achtereenvolgens de als boven gedefinieerde percentages K , Ca en Mg aan en met x_4' het percentage Na , en noemt men de loodlijnen uit een punt Q op de driehoekszijden van het grondvlak achtereenvolgens h_1, h_2 en h_3 , dan kan men aantonen, dat

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= \frac{3}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{100}{100 - x_4'} \cdot x_1', \\ h_2 &= \frac{3}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{100}{100 - x_4'} \cdot x_2', \\ h_3 &= \frac{3}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{100}{100 - x_4'} \cdot x_3' \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

¹⁾ E. BROUWER, Maandblad v. d. Voorlichtingsdienst 8 (1951) 208.

Hieruit blijkt, dat de loodlijnen, uit de beeldpunten Q in het grondvlak op de driehoekszijden neergelaten, voor elk monster evenredig zijn met de percentages x_1' , x_2' , x_3' . Dit heeft het voordeel, dat het grondvlak ook als driehoeksdiagram voor het trio K , Ca , Mg kan worden gebruikt. Bij een gewone, orthogonale projectie zou dit niet mogelijk zijn geweest.

Duiden wij het percentage, dat h_1 van de som $h_1 + h_2 + h_3$ omvat, met p_1 aan, dan heeft men dus, mede wegens (1):

$$p_1 = \frac{100 h_1}{h_1 + h_2 + h_3} = \frac{100 x_1'}{x_1' + x_2' + x_3'}$$

Nu kan p_1 direct uit het driehoeksdiagram K - Ca - Mg worden afgelezen, op dezelfde wijze als bij de zuurdiagrammen werd vermeld. Wenst men x_1' enz. zelf te kennen, dan heeft men p_1 te vermenigvuldigen met

$$\frac{x_1' + x_2' + x_3'}{100} = \frac{100 - x_4'}{100},$$

zodat men krijgt:

$$x_1' = \frac{100 - x_4'}{100} p_1, \quad x_2' = \frac{100 - x_4'}{100} p_2, \quad x_3' = \frac{100 - x_4'}{100} p_3.$$

Aangezien de factor, waarmee p vermenigvuldigd moet worden, afhankelijk is van x_4' , heeft hij van monster tot monster een verschillende waarde. In ons geval is door een doelmatige keuze van de letters bij de hoekpunten van het tetraëder verkregen, dat hij zo weinig mogelijk schommelt, nl. van rond 0,97 tot 0,82, hetgeen voor de vorming van een ruimtelijke voorstelling van het diagram bevorderlijk is.

Bezien wij de figuur nader, dan blijkt, dat de ruimtelijke ligging der beeldpunten inderdaad grote verschillen vertoont, veel groter dan die der zuren. In het algemeen liggen zij gerangschikt in de vorm van een kegel, waarvan de punt naar het hoekpunt K wijst, of ook: in de vorm van een komeet, met de kop naar K gericht terwijl de staart in de richting van het overstaande zijvlak uitstraalt.

In de kop van de komeet liggen de beeldpunten der monsters van het kopzielteland. Deze zijn dus zeer rijk aan K , vergeleken met de andere drie elementen. Dan volgen de monsters kunstmatig gedroogd gras en enige monsters goed hooi. De onderlinge verhouding der basen verschilt in dit hooi en gras dus niet belangrijk, ondanks het verschil in base-totaal BT . Bij het voortschrijden van het groeistadium schijnen de baseverhoudingen dus geen ingrijpende wijzigingen te ondergaan. Ten slotte wordt de staart van de komeet ingenomen door de monsters uit Drente en de slechte hooisoorten No 5 en No 6. Merkwaardigerwijze vinden wij het hooimonster No 2 (zwarte klei) eveneens in deze groep van kalium-arm materiaal verzeild geraakt. De rangschikking der monsters in de staart is overigens zodanig, dat de hooimonsters meer naar links liggen, de grasmonsters meer naar rechts; de eerste bevatten dus relatief iets méér Mg en iets minder Ca dan de laatste. De verschuivingen zijn echter klein vergeleken met die in de richting van het hoekpunt K .

Men mag wel aannemen, dat het de kaliumvoorziening is, welke de plaats der monsters in het diagram voor een groot deel bepaalt. Immers wanneer het kalium-percentages toeneemt, worden de percentages Ca , Mg en Na blijkens het diagram vrijwel gelijkelijk teruggedrongen. Neemt omgekeerd het kaliumpercentage af, dan wordt het vrijgekomen terrein vrijwel eerlijk tussen de andere drie

basevormende elementen verdeeld. Dit alles is dan ook de reden, dat de komeet met de kop naar *K* wijst.

In de leer der veevoeding hecht men veel waarde aan de onderlinge verhouding der basen. Zo is er veel aandacht geschonken aan de *K/Na*-verhouding en aan de *K/Ca*-verhouding. Het komt ons voor, dat ook de *K/Mg*-verhouding van belang is. Bij kopziekte vindt men nl. dikwijls naast een laag *Ca*-gehalte een zeer laag *Mg*-gehalte in het bloed.

Uit het diagram ziet men, dat alle drie verhoudingen bij het kopziektewas zeer hoog zijn. In ons land heeft *SJOLLEMA* op het ongewenste van dergelijke hoge verhoudingen gewezen. Bij het kunstmatig gedroogde gras en bij drie der hooisoorten zijn de genoemde verhoudingen duidelijk lager. Op deze monsters rust geen verdenking. Hier zijn de baseverhoudingen dus blijkbaar gunstig of althans niet ongunstig. Nog lager zijn zij voor de beeldpunten in de staart van de komeet. Aangezien, behalve met het gras der kopziektewelden, ook met het gras en hooi uit deze laatste groep ongunstige ervaringen zijn opgedaan, moeten wij ook materiaal met lage *K/Ca*-, *K/Mg*- en *K/Na*-verhouding als verdacht beschouwen. Hoe sterk deze verdenking moet zijn, kan nog geenszins worden overzien.

Het is thans ook duidelijk, dat het kalium de belangrijkste rol moet spelen bij het ontstaan van de schommelingen der alkaliteitsverhoudingen, zoals zij in de voorafgaande verhandeling werden beschreven. Immers verhoging van het kaliumgehalte gaat gepaard met verlaging van de *Ca*- en *Mg*-gehalten, hetgeen een toeneming van de alkali-alkaliteit *AA* en een afnemng van de aardalkali-alkaliteit *EA* betekent. De verschuiving van het *Na*-percentage werkt weliswaar in tegengestelde richting; maar deze verschuiving is gering vergeleken met die van het *K*.

Ten slotte willen wij nog de vraag stellen of het bij de stijging van het kaliumgehalte blijft bij de verdringing van de elementen *Ca*, *Mg* en *Na* of dat dit laatste ook nog voor andere elementen geldt. Zowel op grond van theoretische overwegingen als van waarnemingen bij het vee in de praktijk lijkt het ons niet onwaarschijnlijk, dat het element koper en wellicht nog andere het lot van het *Ca*, *Mg* en *Na* delen. De proef op de som kan hier alleen maar door het experiment worden geleverd. Intussen zij men in gevallen van overmatige *K*-bemesting op zijn hoede voor relatieve deficienties, niet alleen van *K*, *Mg* en *Na*, maar ook van *Cu* en andere metalen.

Wij willen dit hoofdstuk niet besluiten zonder er aan te herinneren, dat onze uitkomsten een bevestiging en generalisering vormen van de bevindingen van *MASCHHAUPT*¹⁾, die reeds vele jaren geleden een onderzoek naar de onderlinge uitwisseling der basen bij allerlei landbouwgewassen instelde. Daarbij bleek, dat de schommelingen, welke onder invloed van de grond en van de bemesting in het kaligehalte der gewassen optreden, bij meerdere gewassen gepaard gaan met schommelingen in het gehalte aan de andere basen in tegenovergestelde richting en wel in die mate, dat het totale basengehalte, uitgedrukt in milliequivalenten per kg gewichtseenheid droge stof, bij normale ontwikkeling van het gewas, ondanks verschillen in grondsoort en bemesting, bij een bepaald gewas zich tussen vrij enge grenzen beweegt, althans zo lang de voorraad aan de verschillende basen in de grond voldoende is.

¹⁾ J. G. MASCHHAUPT, Versl. Landbk. Onderz. 40A (1934) 1025.

5. BASEN IN EEN VIERDIMENSIONALE RUIMTE

Terwijl wij ons bij de grafische voorstellingen in de eerste hoofdstukken van dit opstel in eerste instantie steeds van een Cartesisch coördinatenstelsel met twee of drie loodrecht op elkaar staande assen hebben bediend, zijn wij in het vorige hoofdstuk overgegaan tot het gebruik van een tetraëder. Ofschoon wij deze keuze met enkele woorden hebben toegelicht, kan het schijnen, dat hier toch wel een zeer koene sprong is gemaakt, waardoor aan de logische opbouw van het geheel afbreuk schijnt te zijn gedaan. Het ligt daarom in de bedoeling in dit vijfde hoofdstuk de keuze van het tetraëder nader te rechtvaardigen. Daarbij zal blijken, dat deze keuze ten nauwste bij onze vorige beschouwingen aansluit, omdat de wijze, waarop wij tot het tetraëder zullen komen, geheel analoog is aan de manier, waarop wij in hoofdstuk 3 van het drieassige Cartesische coördinatenstelsel tot het platte driehoeksdiagram zijn overgegaan, nl. door centrale projectie uit O als centrum. Hoewel in hetgeen thans volgt enige perspectieven zullen worden geopend, gaat het in hoofdzaak om een verdieping van het inzicht in de techniek, waarbij geen belangrijke nieuwe uitkomsten omtrent ons eigenlijk onderwerp, d.w.z. omtrent de zuren en basen in het gras, zullen worden verkregen. Wie alleen maar in dit laatste belang stelt, kan het thans volgende hoofdstuk dan ook ongelezen laten. Dit zelfde geldt trouwens voor het hoofdstuk 6.

Zoals gezegd, komen wij bij de basen niet met een driedimensionaal schema uit. Wij kunnen ons echter in een vierdimensionale ruimte een stelsel van vier loodrecht op elkaar staande assen denken, die elkaar in een bepaald punt O , de oorsprong, snijden. Op deze vier assen denken wij ons de vier variabelen x_1 , x_2 , x_3 en x_4 uitgezet, d.w.z. de gehaltes aan K, Ca, Mg en Na, in milliaequivalenten per kg droge stof uitgedrukt. Evenals vroeger bij de zuren in de driedimensionale ruimte krijgen wij nu in het vierdimensionale schema even veel beeldpunten als er monsters zijn. Thans echter heeft elk punt niet drie, maar vier coördinaten, die de vier gehaltecijfers aangeven. Uiteraard kan men dit alles niet of althans niet gemakkelijk in een tekening vastleggen. Zelfs een voorstelling kan men zich er niet van maken. Wij hebben dan ook gezegd, dat wij het ons alleen maar *denken*; onze gedachten toch zijn ook hier tolvrij.

Zoals gezegd was bij de monsters kunstmatig gedroogd gras en het gras der kopziektewelden het base-totaal $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = BT$ ongeveer gelijk, stel gemiddeld gelijk aan B . Past men nu op elk der vier coördinaatassen de afstand B af, dan bepalen de vier eindpunten B_1 , B_2 , B_3 en B_4 een driedimensionale ruimte R_3 . Een bekende eigenschap is nu, dat de som van de vier coördinaten x_1 , x_2 , x_3 en x_4 voor alle punten van deze R_3 gelijk is. M.a.w. voor elk monster, waarvan het beeldpunt in R_3 mocht vallen, geldt: $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = B$.

Aangezien het base-totaal BT der afzonderlijke monsters echter slechts bij hoge uitzondering precies gelijk aan B zal zijn, vallen de beeldpunten, die wij met de letter T zullen aangeven, in het algemeen buiten R_3 . Is een der sommen BT kleiner dan B , dan ligt het beeldpunt T naar de kant van de oorsprong O ; is BT groter, dan ligt het aan de tegenovergestelde zijde van R_3 . Verschilt BT slechts weinig van B , dan ligt het beeldpunt T ook slechts weinig buiten R_3 . Een waarnemer echter, welke alleen maar de ruimte R_3 kan overzien, bemerkt van dit beeldpunt niets, ook al is het slechts een fractie van een millimeter van R_3 verwijderd.

Niettemin kan men voor elk beeldpunt T , dat slechts weinig buiten R_3 ligt, wel een punt P in R_3 aanwijzen, in welks onmiddellijke nabijheid T moet liggen. Aldus

kan een waarnemer in de driedimensionale ruimte R_3 toch een indruk krijgen van de verdeling der beeldpunten. Eigenlijk komt het er op neer, dat men voor de punten, die nabij R_3 liggen, de geringe afstand in de vierde dimensie verwaarloost.

Voor de bepaling der zoëven bedoelde punten P zou men de loodlijnen uit de punten T op R_3 kunnen neerlaten (orthogonale projectie). Om echter de onderlinge verhouding der vier coördinaten onveranderd te laten, geven wij er de voorkeur aan voor elk punt T het snijpunt te bepalen, waarin R_3 wordt gesneden door de rechte, die O met T verbindt (centrale projectie uit O). Elke rechte door O toch, snijdt R_3 slechts in één enkel punt, omdat R_3 in de richting van O geen afmeting bezit, maar volkomen plat is. Elke straal uit O gaat om zo te zeggen gladder door R_3 dan een breinaald door een blad papier. Ook de aldus bepaalde snijpunten P moeten zeer nabij de beeldpunten T zijn gelegen. Duiden wij de coördinaten van P aan met u'_1, u'_2, u'_3 en u'_4 , dan geldt:

$$x_1 : x_2 : x_3 : x_4 = u'_1 : u'_2 : u'_3 : u'_4 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Aangezien voorts de punten P in R_3 zijn gelegen, geldt blijkens het hierboven opgemerkte bovendien:

$$u'_1 + u'_2 + u'_3 + u'_4 = B.$$

Evenals de stralen, die van O uit door de punten T gaan, slechts één punt met R_3 gemeen hebben, zo is dit ook het geval met de vier coördinaatassen; zij snijden R_3 in de reeds vroeger genoemde punten B_1, B_2, B_3 en B_4 . Zoals nu de ligging der stralen uit O bepaald wordt door hun stand t.o.v. de coördinaatassen, zo wordt de ligging der punten P bepaald door hun plaats t.o.v. de punten B_1, B_2, B_3 en B_4 . Zoals gezegd liggen deze punten B in R_3 . Hun onderlinge afstand is gelijk en wel is

$$B_1B_2 = B_1B_3 = B_1B_4 = B_2B_3 = B_2B_4 = B_3B_4 = B\sqrt{2}.$$

De punten B_1, B_2, B_3 en B_4 moeten derhalve de hoekpunten vormen van een tetraëder en deze figuur kan dus alvast worden getekend.

Thans rest ons in dit tetraëder nog de punten P te tekenen. Noemen wij van een der punten P de loodlijnen op de zijvlakken van het tetraëder x'_1, x'_2, x'_3 en x'_4 , dan is gemakkelijk te bewijzen, dat

$$x'_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} u'_1, \quad x'_2 = \frac{2}{\sqrt{3}} u'_2, \quad x'_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} u'_3, \quad x'_4 = \frac{2}{\sqrt{3}} u'_4.$$

Wij hebben dus, mede wegens (2):

$$x'_1 : x'_2 : x'_3 : x'_4 = u'_1 : u'_2 : u'_3 : u'_4 = x_1 : x_2 : x_3 : x_4$$

en voorts

$$x'_1 + x'_2 + x'_3 + x'_4 = \frac{2}{\sqrt{3}} (u'_1 + u'_2 + u'_3 + u'_4) = \frac{2}{\sqrt{3}} B.$$

Nemen wij de eenheden zodanig, dat $\frac{2}{\sqrt{3}} B = 100$, dan stellen x'_1, x'_2, x'_3 en x'_4

percentages van hun som voor, omdat in dat geval voor elk monster geldt: $\sum x' = 100$. Men kan ook zeggen, dat x_1, x_2, x_3 en x_4 in procenten van hun som BT zijn uitgedrukt. Deze percentages kunnen worden berekend met behulp van de formules:

$$x'_1 = \frac{100}{BT} x_1, \quad x'_2 = \frac{100}{BT} x_2 \quad \text{enz.}$$

Aldus zijn wij gekomen tot dezelfde formules als in het vorige hoofdstuk. Ook het tetraëder is hetzelfde; alleen werden de hoekpunten B_1 , B_2 , B_3 en B_4 daar aangeduid met de letters K , Ca , Mg en Na . De overgang van het Cartesische coördinatenstelsel op het tetraëder achten wij hiermede voldoende toegelicht.

Wij wensen hier nog enige opmerkingen aan toe te voegen. Zoals gezegd, hebben wij in eerste instantie gezocht naar punten P , die in de nabijheid van de punten T der monsters kunstmatig gedroogd gras en gras van kopziektewiden zijn gelegen. Niettemin zijn in het diagram ook de beeldpunten der hooimonsters getekend, ofschoon hun base-totaal BT aanzienlijk lager is. Wij hadden ook een nieuw diagram kunnen tekenen met een B , gelijk aan de gemiddelde BT der hooimonsters. Omdat wij de gehaltcijfers van elk monster tenslotte in procenten van BT hebben uitgedrukt, is er tegen het opnemen van alle monsters in één enkel diagram geen groot bezwaar. Het feit, dat de beeldpunten P van het goede hooi in het gebied der monsters kunstmatig gedroogd gras liggen, bracht ons zelfs tot de slotsom, dat de onderlinge verhouding der basen in dit hooi niet belangrijk verschilt van die in het gras, ondanks het verschil in het base-totaal BT . Ook bij het kali-arme materiaal lagen de beeldpunten van het gras en van het hooi niet ver uit elkaar. Dit alles meetkundig interpreterende kunnen wij thans zeggen, dat de beeldpunten T van het gras en hooi verspreid liggen in een vierdimensionale kegel met top in O . De analogie met de driedimensionale kegel met top in O uit hoofdstuk 3 is duidelijk.

Ten slotte zij nog gezegd, dat het verruimde inzicht ook hier nieuwe mogelijkheden opent. Waarom toch zou men de punten B_1 , B_2 , B_3 en B_4 steeds zodanig moeten kiezen, dat $OB_1 = OB_2 = OB_3 = OB_4$. Zoals gezegd zijn wij gekomen tot het tetraëder bij ons zoeken naar een R_3 , waarin wij punten zouden kunnen aanwijzen, die dicht bij de weliswaar zeer nabije, maar niettemin onbereikbare punten T zijn gelegen. Het is echter geenszins uitgesloten, dat een andere R_3 , laten wij zeggen R_3' , zich nog beter voor dit doel zou lenen.

Inderdaad is het niet moeilijk een dergelijke R_3' te vinden met behulp van het diagram van fig. 5. Denkt men zich in de verticale projectie een rechte getrokken, waarbij de beeldpunten zo goed mogelijk aansluiten, dan blijkt deze bij verlenging de overstaande zijde van het hoekpunt Na' te snijden in een punt, dat 2 gehele (vier halve) deelstrepen van het hoekpunt K' verwijderd is, en de overstaande zijde van het hoekpunt K' in het punt $2\frac{1}{2}$ ($7\frac{1}{2}$). De horizontale projectie tevens in aanmerking nemend komt men tot de conclusie, dat al de beeldpunten P in de tetraëder ruimte R_3 ter weerszijden van een plat vlak V liggen, dat de ribbe KCa snijdt in het punt 8 (2), de ribbe $NaCa$ in het punt $2\frac{1}{2}$ ($7\frac{1}{2}$) en de ribbe $NaMg$ eveneens in het punt $2\frac{1}{2}$ ($7\frac{1}{2}$).

Dit vlak V en de oorsprong O bepalen samen een R_3' . Alle rechten, die een punt van V met O verbinden, liggen in deze R_3' . De rechten echter, die een ander punt van het tetraëder met O verbinden, liggen er buiten. Tot deze andere punten behoren als regel de beeldpunten P . Aangezien deze beeldpunten P slechts weinig buiten het vlak V liggen, liggen de rechten OP slechts weinig buiten R_3' . De punten T zijn op deze rechten gelegen en daarom liggen zij eveneens slechts weinig buiten R_3' . Deze R_3' voldoet dus niet alleen voor al de grasmonsters aan de gestelde voorwaarde, maar ook voor de hooimonsters.

De vergelijking van deze R_3' kan gemakkelijk worden opgesteld, omdat vier

van haar punten bekend zijn, nl. de oorsprong *O* en de snijpunten met drie der tetraëderribben. Aldus werd gevonden:

$$K - 4Ca - 4Mg + 12Na = 0.$$

Deze formule kan ook geschreven worden als een regressievergelijking, b.v.

$$Na = 1/3Ca + 1/3Mg - 1/12K.$$

Tenslotte kunnen de termen ook als volgt worden gerangschikt:

$$K + 12Na = 4Ca + 4Mg,$$

m.a.w.: de alkaliën en aardalkaliën houden elkaar in evenwicht, maar volgens een betrekking, waarvan de physiologische betekenis geenszins zonder meer duidelijk is. De uitkomst kan ook *onverwacht* schijnen, omdat wij hiervóór gezien hebben, dat het calcium en het magnesium door het kalium worden teruggedrongen wat hun onderlinge verhoudingen betreft, terwijl zij in de bovenstaande formule *positief* gecorreleerd schijnen. Hoe verlokkelijk het ook moge zijn hierop dieper in te gaan, voorlopig heeft dit weinig zin, omdat ons cijfermateriaal lang niet uitgebreid genoeg is om deze formules als definitief te kunnen beschouwen.

6. GENERALISERING

In het voorgaande hebben wij vooral van de onderstaande formules gebruik gemaakt:

$$\begin{aligned} AA &= K + Na - Cl - S, \dots \dots \dots (3) \\ EA &= Ca + Mg - P, \\ VA &= K + Na - Ca - Mg - Cl + P - S, \\ TA &= VT = K + Na + Ca + Mg - Cl - P - S, \\ BT &= K + Na + Ca + Mg, \\ ZT &= Cl + P + S, \\ TT &= K + Na + Ca + Mg + Cl + P + S. \end{aligned}$$

Blijkbaar kunnen al deze betrekkingen ontstaan uit de formule:

$$X = aK + bNa + cCa + dMg + eCl + fP + gS, \dots \dots \dots (4)$$

wanneer men aan de coëfficiënten *a*, *b* enz. bepaalde waarden geeft. Om de formule voor *AA* te krijgen stelt men nl. *a* = *b* = 1, *e* = *g* = -1 en *c* = *d* = *f* = 0.

Ook de vier, vroeger gebruikte verhoudingen *Ca/P*, *K/Ca*, *K/Mg* en *K/Na* kunnen tot een lineaire vorm worden herleid.

Stelt men b.v. *Ca/P* = *m*, dan volgt daaruit:

$$0 = Ca - mP \dots \dots \dots (5)$$

Deze formule kan eveneens uit (4) worden gevormd en wel door daarin te stellen: *X* = *a* = *b* = *d* = *e* = *g* = 0, *c* = 1 en alleen de coëfficiënt van *P* onbepaald te laten.

Er is in de literatuur een aantal studies te vinden, waarin nog andere formules voorkomen, die eveneens tot een lineaire vorm kunnen worden herleid. Zo is er geschreven over de *Ca/Mg*-verhouding, de *K/Fe*-verhouding, de *Ca/Si*-verhouding enz. ¹⁾

Bij al de genoemde voorbeelden ging men uit van meer of minder duidelijk geformuleerde physiologische gezichtspunten en nam op grond daarvan bepaalde waarden voor de coëfficiënten en eventueel voor *X* aan, met dien verstande

¹⁾ F. HONCAMP, Handb. d. Pflanzenernährung und Düngerlehre I (1931) 212.
A. WALLACE, S. J. TOTH, F. E. BEAR, Agronomy Journ. 41 (1949) 66.

echter, dat één waarde onbepaald bleef, nl. of de waarde van X of die van een der coëfficiënten. Deze onbepaalde waarde werd dan uit elk stel waarnemingen berekend. In de formule (5) b.v. kan m worden becijferd uit elk stel waarnemingen Ca en P ; in de formule (3) kan $X = AA$ worden berekend uit elk stel waarnemingen K , Na , Cl en S .

Men kan echter ook méér dan één coëfficiënt of zelfs alle coëfficiënten en bovendien nog X voorlopig onbepaald laten en daarna hun meest plausibele waarde aan de hand van het cijfermateriaal bepalen om vervolgens te overwegen of de gevonden waarden op grond van physiologische gezichtspunten kunnen worden verklaard. Stelt men b.v. in (4) $e = f = g = 0$, dan krijgt men

$$X = aK + bNa + cCa + dMg.$$

Aan het slot van het vorige hoofdstuk hebben wij de waarden van X en van de coëfficiënten in deze formule met behulp van een grafische methode en een daarop volgende eenvoudige becijfering trachten te benaderen en met enige moeite gelukte dit inderdaad. Heeft men echter méér dan vier variabelen, dan zijn de betrekkingen in het algemeen te ingewikkeld om langs grafische weg tot een eindresultaat te kunnen komen. Er blijft dan nauwelijks een ander middel over dan de meest plausibele waarden van de coëfficiënten en van X met behulp van de machtige, maar tijdrovende hulpmiddelen der algebra te benaderen. Het is trouwens algemeen bekend, dat deze hulpmiddelen ook bij twee, drie of vier veranderlijken van grote betekenis zijn. Men kan de formules daarbij in de bovenstaande vorm laten dan wel haar brengen in de vorm van een regressie-vergelijking. Voor de berekeningen, die nodig zijn, verwijzen wij naar een vroegere verhandeling¹⁾ en, voor zover het de regressieformules betreft, naar de leerboeken der statistische methodiek.

Zoals gezegd zijn wij dus tot één algemene formule (4) gekomen, waarvan de formules in de aanhef van dit hoofdstuk genoemd, bijzondere gevallen zijn. De algemene formule nu laat zien, dat het aantal bijzondere gevallen en dus ook de studie er van nog voor sterke uitbreiding vatbaar zijn. Gaat men b.v. uit van 7 minerale bestanddelen, dan kan men beginnen met het bestuderen van de relaties tussen de twee bestanddelen van elke combinatie twee aan twee. Het aantal

dezer combinaties twee aan twee bedraagt $\frac{7 \cdot 6}{1 \cdot 2} = 21$. Vervolgens krijgt men

de relaties tussen de drie bestanddelen van elke combinatie drie aan drie. Daarvan zijn er $\frac{7 \cdot 6 \cdot 5}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 35$. Zo doorgaande komt men tot een totaal aantal van

$$\frac{7 \cdot 6}{1 \cdot 2} + \frac{7 \cdot 6 \cdot 5}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \frac{7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} + \dots = 120.$$

Dit aantal is dus zeer groot en kan nog zeer veel worden uitgebreid door ook andere factoren, zoals het eiwitgehalte, het kiezelzuurgehalte, het ijzergehalte e.a. in rekening te brengen. Het wil ons voorkomen, dat het domweg uitrekenen van al deze betrekkingen weinig zin heeft. Wie de geheimen van de harmonie der minerale bestanddelen in het gras wil ontsluiëren, zal zich uiteindelijk door plantenphysiologische overwegingen moeten laten leiden.

¹⁾ E. BROUWER, Archives Néerland. de Physiologie 28 (1944) 73.

7. SAMENVATTING

In het gras van bepaalde weiden, dat blijkens de verhandeling welke aan de onderhavige voorafgaat tot haemoglobinurie en tevens tot zure urine bij het grazende vee aanleiding geeft, werd niettegenstaande de zure urinereactie een baseoverschot gevonden, dat echter kleiner was dan dat in gras en in hooi van andere herkomst (Fries hooi, kunstmatig gedroogd gras en gras van kopziekteweiden). Een en ander is in het onderhavige opstel aanschouwelijk voorgesteld in een diagram, dat wij met de naam zuur-base-diagram bestempelen. Hierin is op de abscis het aantal milliaequivalenten der zuurvormende elementen (zuur-totaal = $Cl + P + S$) en op de ordinaat het aantal milliaequivalenten der basevormende elementen (base-totaal = $K + Na + Ca + Mg$) per kg droge stof uitgezet. Daarbij bleek, dat het geringere base-overschot vooral op een tekort aan basen berust. Een overmaat aan zuren kan er eveneens een rol bij spelen.

Het base-totaal ($K + Na + Ca + Mg$) en het zuur-totaal ($Cl + P + S$) waren in het gras der kopziekteweiden en in normaal kunstmatig gedroogd gras ongeveer gelijk, niettegenstaande bij ons vroegere onderzoek duidelijke verschillen in alkali-alkaliteit en aardalkali-alkaliteit aan de dag waren getreden. Deze verschillen moeten daarom worden toegeschreven aan onderlinge verschuivingen in de groep der basen of in die der zuren, of in allebei.

Bij het hooi waren het zuur-totaal en het base-totaal meestal aanzienlijk lager dan in het gras.

Wat de zuren betreft, bleek bij de studie van twee driehoeksdigrammen, dat de onderlinge verhouding van de zuurvormende elementen Cl , P en S slechts geringe verschillen vertoont, hoewel hun som aan grote schommelingen onderhevig is. Niettemin kan er een zekere onderlinge uitwisseling van Cl , P en S plaats vinden. Bij de monsters der kopziekteweiden b.v. was de verhouding veranderd ten gunste van S en ook ietwat ten gunste van P , maar ten nadele van Cl . Diametraal daartegenover stonden de monsters der haemoglobinurieweiden. Ook bij phosphorarmoede van de bodem treden er in het gras mineraalverschuivingen in en wel ten nadele van de P .

Veel groter dan de onderlinge verschuivingen bij de zuren zijn die bij de vier basevormende elementen K , Na , Ca en Mg . Deze werden bestudeerd met behulp van een diagram, waarin de *relatieve* hoeveelheden van alle vier basen, voor elk monster uitgedrukt in procenten van hun som, kunnen worden uitgezet gedacht en dat wij bestempelden met de naam tetraëderdiagram of basendiagram.

De oorzaak van de verschuivingen der basen moet grotendeels gezocht worden in het kalium. Het bleek nl., dat de percentages Ca , Mg en Na vrijwel gelijkelijk worden teruggedrongen, wanneer het kaliumpercentage toeneemt. Neemt omgekeerd het kaliumpercentage af, dan wordt het vrijgekomen terrein vrijwel eerlijk tussen de andere drie verdeeld. Blijkbaar is overmaat aan K de oorzaak, dat de verhoudingen K/Ca , K/Mg en K/Na bij het gras van kopziekteweiden zeer hoog werden gevonden. Het ligt voor de hand, dat het uitbreken der ziekte daardoor wordt bevorderd¹⁾. Bij het kunstmatig gedroogde gras en bij drie der hooisoorten waren de genoemde verhoudingen lager. Op deze monsters rust geen verdenking. Hier waren de baseverhoudingen dus blijkbaar gunstig of althans niet *ongunstig*. Nog lager waren zij bij het gras der haemoglobinurieweiden en bij enige slechte hooisoorten. Aangezien met het gras en hooi uit deze groep

¹⁾ Onze latere waarnemingen wijzen er op, dat er ook hoge K/Mg -verhoudingen in gras kunnen voorkomen zonder hoge K -waarden, maar door primair lage Mg -waarden.

ongunstige ervaringen bij de veevoeding zijn opgedaan, moeten wij ook het materiaal met lage K/Ca-, K/Mg- en K/Na-verhouding als verdacht beschouwen. Hoe sterk deze verdenking moet zijn, kan nog geenszins worden overzien. Toch kan reeds thans worden gezegd, dat men zich ook uit een oogpunt van veevoeding dient te hoeden zowel voor een overmatige als voor een te karige bemesting met kalium. Voorts bepale men bij bemestingsproeven op grasland meer dan tot dusverre, naast de organische bestanddelen, ook de minerale samenstelling van het gewas.

Na het voorgaande kon gemakkelijk duidelijk worden gemaakt, dat het kalium eveneens de belangrijkste rol speelt bij het ontstaan van schommelingen in de alkali-alkaliciteit en de aardalkali-alkaliciteit, zoals deze in de voorafgaande verhandeling zijn beschreven.

In de laatste hoofdstukken is de keuze van het tetraëderdiagram nader gerechtvaardigd. Voorts wordt hier een algemene formule opgesteld, waarvan de betrekkingen tussen de mineralen die in de onderhavige verhandeling werden bestudeerd, speciale gevallen zijn en die bovendien als basis voor verdere studie kan worden gebruikt.

8. SUMMARY

ON THE ACIDS AND BASES IN HAY, IN NORMAL GRASS AND IN GRASS GIVING RISE TO HEMOGLOBINURIA OR TO GRASS TETANY IN DAIRY CATTLE

In continuing the investigation of the preceding article, the mineral composition of pasture grass giving rise to hemoglobinuria and to acid reaction of the urine in grazing cattle has been examined more closely. Notwithstanding the acid reaction of the urine, the grass contained a considerable excess of base, though smaller than in hay and grass from other pastures (Friesian hay, artificially dried grass and grass from grass tetany pastures). This fact has been visualized in a graph that we call the acid-base diagram. In this graph the number of milli-equivalents of the acid forming elements (total acid = $Cl + P + S$) per kg of dry matter has been plotted out against the number of milli-equivalents of base-forming elements (total base = $K + Na + Ca + Mg$). In this way it is shown that the reduction of the base excess was mainly due to a shortage of base. An excess of acid may, however, also be of some consequence.

Despite the fact that the preceding investigation has shown considerable differences in both alkali alkalinity and alkaline earth alkalinity, the total base ($K + Na + Ca + Mg$) and the total acid ($Cl + P + S$) were about the same in normal artificially dried grass and in grass from pastures where grass tetany had occurred. These differences can therefore only be caused by shifts within the group of bases or within the group of acids or in both.

In the hay both total acid and total base proved as a rule to be considerably lower than in the grass.

It is shown by two triangular diagrams that the ratios between the three acid forming elements Cl , P and S do not fluctuate a great deal, though their totals may show considerable variations. Nevertheless a moderate mutual exchange may occur. For instance, in the grass from the grass tetany pastures the ratios had altered, implying a moderate increase of S and also some increase of P , in either case at the expense of Cl . The opposite was noticeable in the grass, inducing

acid urine. Phosphate deficiency of the soil results in increase of Cl plus S at the expense of P.

Within the group of the base forming elements (K, Na, Ca and Mg) the exchanges are much more important than with the acids. The rates of these bases, in each sample expressed in percentages of their total, were studied by means of a diagram in which all four of them can be imagined to be plotted out. We are calling it a tetraeder diagram or base-diagram.

The cause of these exchanges must mainly be attributed to potassium. It is namely shown that the rates of Ca, Mg and Na decrease in about the same proportion as the K content increases. The reverse is observed when the K content declines. Obviously a surplus of K is the reason why the K/Ca ratio, the K/Mg ratio as well as the K/Na ratio proved to be very high in the grass from the tetany pastures. It is clear that this is conducive to the outbreak of the disease. In the artificially dried grass and in three of the hay samples, being considered as normal, the three ratios just referred to, were much lower. Apparently these lower ratios are favourable or at least not unfavourable. Still lower were these three ratios in the grass causing acid urine and in some samples of poor hay. As the experience of feeding cattle with grass and hay belonging to this group has been unfavourable we must also suspect the material with very low K/Ca-, K/Mg- and K/Na-ratios, but to what extent is not quite clear. Yet, it can now already be stated that, also with regard to animal nutrition, excessive as well as scanty dressing with potash should be obviated. Furthermore, with manurial experiments on grassland, besides studying the organic constituents, more attention than hitherto should be paid to the mineral composition of the grass.

From the foregoing it accrues clearly that potash is also mainly responsible for the fluctuations of the alkali alkalinity and the alkaline earth alkalinity that have been described in the preceding article.

In the last chapters the choice of the tetraeder diagram is further explained and justified. Moreover, a general mathematical formula is developed, the relations between the minerals as described in this treatise representing special cases. The general formula can be used as a basis for further investigations.