

Ændringer i jordens pH og kalkbehov efter anvendelse af kalksalpeter, flydende vandfri ammoniak eller urea

The influence of nitrate of lime, anhydrous ammonia and urea on pH and lime requirement of the soil

Hans Th. Fogh

Resume

Ved Askov forsøgsstation er undersøgt virkningen på jordens pH og kalkbehov ved tilførsel af 100 og 200 kg N/ha årligt i kalksalpeter, flydende ammoniak og urea. Endvidere er det undersøgt, om et fald i jordens pH som følge af anvendelse af de to sidstnævnte gødninger kan undgås ved anvendelse af 3,6 kg CaCO_3 /kg N. Forsøgenes varighed var 5-10 år.

På sandjord fandtes det, at pH efter 10 års ammoniaktilførsel var 0,5 lavere end efter kalksalpetertilførsel. Forskellen var dog allerede etableret efter ca. 4 års forløb, hvorefter den var nogenlunde konstant. 3,6 kg CaCO_3 /kg N hin-

drede denne forskel i pH i at opstå. På lerjord fandtes også fald i pH efter ammoniakanvendelse. 3,6 kg CaCO_3 /kg N medførte i eet forsøg højere pH og i et andet forsøg næsten samme pH som efter kalksalpetertilførsel.

Virkingen af urea på jordens pH var mere usikker og mindre end virkningen af flydende ammoniak.

Andre forsøg ved Askov og Lundgaard forsøgsstationer viste tilsvarende, at pH efter 5 og 11 års anvendelse af flydende ammoniak var indtil 0,5 lavere end pH efter anvendelse af kalksalpeter.

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
Indledning	317
Tidligere undersøgelser og forsøg	317
Forsøgsplaner	
a) plan I	319
b) plan II	319
Resultater af forsøg efter plan I	319
pH	319
Kalkbehov	321
Ammoniaks og ureas kalkforbrug	324
Resultater af forsøg efter plan II	326
Konklusion	329
Litteraturliste	330

Indledning

Baggrunden for gennemførelsen af de i denne beretning omhandlede forsøg, der påbegyndtes i 1959, var, at anvendelse af flydende ammoniak begyndte at vinde indpas i dansk landbrug. Det var derfor ønskeligt gennem markforsøg at belyse, hvor meget denne gødningstype sammenlignet med kalksalpeter sænker jordens pH, og om tilførsel af 3,6 kg $\text{CaCO}_3/\text{kg N}$ til ammoniakgødet jord kan holde jordens pH på samme niveau som pH ved anvendelse af kalksalpeter.

Fra 1965 er urea medtaget i forsøgene, idet denne gødning af prismæssige grunde da også var blevet aktuell i landbruget.

Bestemmelsen af de i forsøget valgte 3,6 kg $\text{CaCO}_3/\text{kg N}$ er foretaget på grundlag af følgende skematisk opstilling af ammoniakens nitrifikation (Kofoed et al. 1967):

$$2 \text{NH}_3 + \text{CaCO}_3 + 4 \text{O}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$$

En fuldstændig omsætning efter dette skema ville netop medføre, at der ville medgå 3,6 kg $\text{CaCO}_3/\text{kg N}$.

Tidligere undersøgelser og forsøg

Tovborg Jensen (1929) opdelte kunstgødningers indvirkning på jordens pH på følgende måde:

1. Gødningens direkte syre- eller basevirkning, der skyldes pågældende gødningsreaktion i vandig opløsning.
2. Gødningens indirekte syre- eller basevirkning,
 - a) den, der skyldes planternes næringsstofoptagelse.
 - b) den, der skyldes gødningens kemiske og biologiske omsætning i jorden.

Tovborg Jensen beregnede endvidere, at anvendelse af svovlsur ammoniak teoretisk medfører, at der skal tilføres 7,2 kg $\text{CaCO}_3/\text{kg N}$ for at opretholde jordens pH. I jordprøver fra danske og hollandske markforsøg, hvori der i en årrække var anvendt forskellige N-gødninger, fandt han ved kalkbehovsbestemmelse, at der efter anvendelse af svovlsur ammoniak skulle tilføres 15-20 kg CaCO_3/kg tilført N for at bringe jordens pH op på samme værdi, som der var i jordgødet med salpeter. Tovborg Jensen forklarer forskellen mellem den teoretisk beregnede mængde og

den i forsøg fundne mængde som en følge af, at den tilførte CaCO_3 i længere tid havde ligget i jorden i mere eller mindre grove partikler, hvorfor en del af disse var forblevet uopløste og derfor ikke udøvede en øjeblikkelig reaktionshævende virkning.

Sørensen (1964) anfører, at der må skelnes mellem to forhold vedrørende kalkforbrug, nemlig

1. Hvor meget CaCO_3 der skal tilføres for at holde jordens pH på et givet niveau, og
2. hvor meget CaCO_3 der skal tilføres en jord, der i en årrække er gødet med svovlsur ammoniak, flydende ammoniak, urinstof eller anden kalkforbrugende gødning, for at jordens pH når op på den værdi, som den havde ved gødsningens begyndelse.

Samme forfatter har beregnet kalkforbruget ved anvendelse af urea ved forskellige pH-værdier og kommer til følgende (kg $\text{CaCO}_3/\text{kg N}$):

	pH			
	5	6	7	8
Urinstoffets C-del ...	0,11	1,07	4,63	6,85
— N-del ...	3,63	4,07	5,72	6,96
Ialt	3,74	5,14	10,35	13,81

Der skelnes mellem kalkforbruget af urinstoffets C-del og dets N-del. Den mængde CO_2 , der dannes ved urinstoffets hydrolyse, er imidlertid lille i forhold til den mængde, der i forvejen afgives fra planterødder og mikroorganismer i jordbunden, og det kan derfor antages, at langt den største part af den dannede CO_2 diffunderer op i atmosfæren (Nömmik 1966). Tilbage bliver N-delens kalkforbrug, og dette er ifølge Sørensen (1964) identisk med kalkforbruget ved anvendelse af flydende ammoniak.

Kalkforbruget, som her er anført, er det maksimalt mulige, og det vil være mindre, såfremt

1. NH_4^+ -ioner optages af planter eller mikroorganismer inden nitrificering.
2. NH_4^+ -ioner udvaskes.
3. NH_4^+ -ioner bindes til humus eller ler-kolloider.
4. Ammoniak fordamper fra jorden.

Talrige undersøgelser er gennemført for at undersøge ammoniakens fordeling og nitrificering i jorden (Nömmik og Nilsson, 1963, Kofoed et al. 1967, Némec og Vopěnka 1969). Foreløbig opgørelse i 1964 af nogle af de forsøg, hvorom der i det følgende vil blive afgivet beretning, viste, at der for opretholdelse af $\text{pH} = 7,0$ ved anvendelse af flydende ammoniak skulle anvendes ca. 3,6 kg CaCO_3 mere pr. kg tilført N, end når N tilførtes i kalksalpeter (Kofoed et al. 1967). Nömmik (1968) mener dog, at den nødvendige kalkmængde til neutralisation af den efter ammoniaktilførsel dannede syre kun er på 1 kg CaO/kg N (1,8 kg $\text{CaCO}_3/\text{kg N}$), og at de af Kofoed et al. fundne høje tal skyldes, at der ikke er taget hensyn til den ved nitrificeringen dannede nitrations fysiologiske alkalinitet, hvilket vil sige, at planterne ved optagelse af NO_3^- afgiver mere OH^- end H^+ . Endvidere, at kalkbehovet ved anvendelse af urea er det samme som ved ammoniakanvendelse, mens det ved anvendelse af svovlsur ammoniak er 2-3 gange så stort. Det angives, at vedligeholdelseskalkning vil beløbe sig til mellem 0 og 1,5 kg CaO/kg N (0-2,7 kg $\text{CaCO}_3/\text{kg N}$), bl.a. afhængig af jordens pH. Nömmik anfører, at i jord med lavt pH og derfor uden nitrificerende egenskaber (podsoliserede skovmarker) er der intet kalkforbrug.

Jansson (1966) angiver også et kalkforbrug på 1,8 kg $\text{CaCO}_3/\text{kg N}$ efter anvendelse af flydende ammoniak eller urea.

I forbindelse med forsøg med forskellige kvælstofgødninger (Iversen og Dorph-Petersen 1944) er disse gødningers indvirkning på jordens pH undersøgt. Resultaterne af disse forsøg var, at når der var anvendt samme kvælstofgødning i 10-12 år til samme areal, bevirkede chilesalpeter en stigning i pH på 0,1-0,2, svovlsur ammoniak et fald på 0,1-0,2 og kalksalpeter en stigning på ca. 0,1. Det må her tages i betragtning, at disse forsøg er gennemført med små årlige mængder kvælstofgødning i forhold til, hvad det er normalt at anvende nu.

Samme forfattere omtaler resultatet af en demonstration af anvendelse af meget store kvælstofmængder gennemført på Askov lermark 1929-43. I dette demonstrationsforsøg blev der

til rodfrugtafgrøder tilført 2800 kg chilesalpeter pr. ha (448 kg N pr ha) eller tilsvarende N-mængder i andre kvælstofgødninger årligt i årene 1929, 1930, 1931, 1933, 1935 og 1937 eller ialt 2700 kg N/ha. I de mellemliggende år dyrkedes byg. Uddrag af resultaterne af jordbundsanalyser vises i følgende sammenstilling.

	Reaktionstal			t CaCO_3/ha
	1929	1931	1938	til pH 7,0 1938
Ugødet.....	6,8	6,8	6,8	1,2
Chilesalpeter.....	6,8	7,3	7,0	0
Sv. ammoniak.....	6,8	5,2	5,0	26,7
Kalksalpeter.....	6,5	6,8	6,2	3,5
$\frac{1}{2}$ chilesalp. + $\frac{1}{2}$ sv.				
ammoniak.....	6,9	6,2	5,8	7,8
Kalkammonsalpeter	6,8	6,5	6,1	4,1

I foråret 1943 tilførtes de ved kalkbehovbestemmelsen fundne kalkmængder, hvorefter der i efteråret 1943 fandtes et reaktionstal på 6,7-6,8 uanset anvendt kvælstofgødning.

Slujsmans (1966 og 1970) angiver, at man under hollandske forhold kan beregne en gødnings indflydelse på jordens kalktilstand efter følgende formel:

$$E = 1,0 \text{ CaO} + 1,4 \text{ MgO} + 0,6 \text{ K}_2\text{O} + 0,9 \text{ Na}_2\text{O} - 0,4 \text{ P}_2\text{O}_5 - 0,7 \text{ SO}_3 - 0,8 \text{ Cl} - n \text{ N}$$

hvor E er kalkvirkningen (kg $\text{CaO}/100$ kg gødning). CaO , MgO osv. er gødningsindhold af disse bestanddele i %, og koefficienten n er 0,8, når afgrøden er græs og 1,0 for andre afgrøder. n afhænger af optagelsesprocenten for kvælstof, som under hollandske forhold ligger på ca. 70% i græs og ca. 50% i andre afgrøder. Hvis optagelsen er mindre end 50% angives n at skulle være mellem 1,0 og 2,0.

Beregnet efter denne formel udøver urinstof og flydende ammoniak samme virkning på jordens kalktilstand, nemlig den, at anvendelse af 1 kg N i en af disse gødninger kræver tilførsel af 1,4 og 1,8 kg $\text{CaCO}_3/\text{kg N}$ for henholdsvis græs og andre afgrøder for at opretholde jordens reaktionstilstand. For kalksalpeter fås ved anvendelse af formlen, at denne gødning har en kalkvirkning, der svarer til 1,8 og 1,4 kg $\text{CaCO}_3/$

kg N for henholdsvis græs og andre afgrøder. Forskellen i kalkvirkning mellem urinstof eller flydende ammoniak og kalksalpeter er derfor 3,2 kg CaCO₃/kg N uanset afgrøde. Dette svarer nogenlunde til de af *Kofoed* et al. (1967) fundne resultater, som viste, at der ved anvendelse af flydende ammoniak i stedet for kalksalpeter skulle tilføres ca. 3,6 kg CaCO₃/kg N for at der i jord gødet med disse to gødninger kunne holdes samme reaktionstal.

Forsøgsplaner

a) Plan I

I 1959 påbegyndtes markforsøg ved Askov forsøgsstation efter følgende plan:

1. Kalksalpeter
2. Flydende ammoniak
3. Flydende ammoniak + 3,6 kg CaCO₃/kg N
4. Urea
5. Urea + 3,6 kg CaCO₃/kg N

Forsøget blev anlagt på såvel sandjord (Askov sandmark) som lerjord (Dalhus), fra starten dog kun omfattende forsøgsleddene 1-3. Forsøget på Dalhus standsedes i 1964, hvorefter der i 1965 anlagdes et nyt forsøg på Askov lermark omfattende alle 5 forsøgsled. Forsøget på Askov sandmark udvidedes i 1965 med en afdeling omfattende forsøgsleddene 1, 4 og 5.

I 1969 afsluttedes forsøget på Askov sandmark.

Ved forsøgenes start blev der udtaget jordprøver (0-20 cm dybde) af samtlige parceller.

Forsøgene blev anlagt som rækkeforsøg og parcelstørrelsen varierede fra 77 til 85 m² (parcelbredde 4,5-7,5 m). Der var 3 fællesparceller i forsøgene.

Afgrøderne har i forsøgene skiftevis været bederoer og byg, der er gødede med henholdsvis 200 og 100 kg kg N pr. ha årligt. Der er ikke foretaget udbyttebestemmelser i forsøgene.

Udbringningen af ammoniak, urea, kalksalpeter og kalk er sket om foråret før afgrødens såning. Ammoniakken er nedfældet i jorden i 10-15 cm dybde, de øvrige gødninger og kalk er udstrøede med hånd. Kalk er tilført hvert år i led 3 og 5.

Af figurerne 1, 5, 7 og 9 ses i hvilke år, der er udtaget og analyseret jordprøver (pH). Det var ved forsøgets start planen at udtage prøver hvert 4. år, men der er dog i den seneste del af forsøgsperioden udtaget prøver hvert år. Jordprøverne er udtaget tidligt om foråret før gødskning, og de er udtaget i god afstand fra naboparcellerne for at undgå, at evt. overslæbning skulle påvirke resultaterne.

Af tabel 1 fremgår det, hvor store N-mængder der er tilført årligt og ialt. Endvidere hvor store mængder CaCO₃ der er tilført ialt til led 3 og 5.

b) Plan II

På Lundgaard forsøgsstation (sandjord) gennemførtes fra 1959-69 og på Askov forsøgsstation (lermuld) fra 1965-69 forsøg efter følgende plan:

1. Ingen N
2. 1 N i kalksalpeter
3. 1 N i flydende ammoniak
4. 2 N i kalksalpeter
5. 2 N i flydende ammoniak
6. 3 N i kalksalpeter
7. 3 N i flydende ammoniak

Forsøgene var fastliggende, og der var hvert år 4 forsøg på Lundgaard (2 med roer eller græs og 2 med korn eller hestebønner) og 6 forsøg ved Askov (3 med roer eller græs og 3 med korn eller hestebønner). 1 N var til korn og hestebønner 40 kg N/ha og til roer og græs 80 kg N/ha. Udbytteresultaterne skal ikke omtales her. Resultater fra perioden 1959-65 er omtalt af *Kofoed* et al. (1967).

I forsøgene på Lundgaard er der ialt i forsøgsperioden tilført ca. 660, 1320 og 1980 kg N/ha og ved Askov ca. 300, 600 og 900 kg N/ha i forsøgsleddene, der er tilført henholdsvis 1, 2 og 3 N.

I 1959 og 1964 er forsøgene på Lundgaard tilført kalk med lige store mængder pr. parcel, hvorimod der ikke er tilført kalk til forsøgene ved Askov.

Resultater af forsøg efter plan I

pH

I figurerne 1, 3, 5 og 7 ses pH(H₂O) og pH(KCl) på forskellige tidspunkter i forsøgsperioden. pH

Tabel 1. Tilført N-gødning og kalk
(Added amounts of N-fertilizer and CaCO₃)

	Tilført N (Added amounts of N)		Tilført CaCO ₃ ialt (t/ha) ¹ (Added amounts of CaCO ₃ total tons/ha) ¹	
	kg/ha/år (kg/ha/ annual)	ialt kg/ha ¹ (total kg/ha) ¹	led 3 fl.am. + kalk (anhyd.am. + lime)	led 5 urea + kalk (urea + lime)
<i>Askov sandmark</i> (sand field, Askov)				
1959	191	0	0	
60	93	191	0,69	
61	192	284	1,02	
62	102	476	1,71	
63	224	578	2,08	
64	132	802	2,89	
65	202	934	3,36	
66	102	1136	4,09	
67	200	1238	4,46	
68	101	1438	5,18	
69		1539	5,54	
1965	202	0		0
66	102	202		0,73
67	200	304		1,09
68	101	504		1,81
69		605		2,18
<i>Dalhus</i> (Dalhus, loam)				
1959	195	0	0	
60	95	195	0,70	
61	196	290	1,04	
62	92	486	1,75	
63	195	578	2,08	
64	101	773	2,78	
65		874	3,15	
<i>Askov lermark</i> (Loam field, Askov)				
1965	200	0	0	0
66	100	200	0,72	0,72
67	200	300	1,08	1,08
68	98	500	1,80	1,80
69	197	598	2,15	2,15
70	100	795	2,86	2,86
71		895	3,22	3,22

1. Ved tidspunkt for jordprøveudtagning, dvs. før tilførsel af N-gødning og kalk.
(At time of soil sampling, before application of nitrogen and lime).

ved forsøgenes start er gennemsnit af resultater fundet på forskellige analyseringstidspunkter for de prøver, der blev udtaget ved start. Det ses, at samtlige forsøgsled er startet på samme niveau, idet største afvigelse mellem pH(H₂O) i de forskellige led i samme forsøg var 0,1. Ses der på pH(KCl) var største afvigelse 0,2.

I figurerne 2, 4, 6 og 8 ses pH-forskellene (pH diff.) mellem det kalksalpetergødede forsøgsled og de andre forsøgsled.

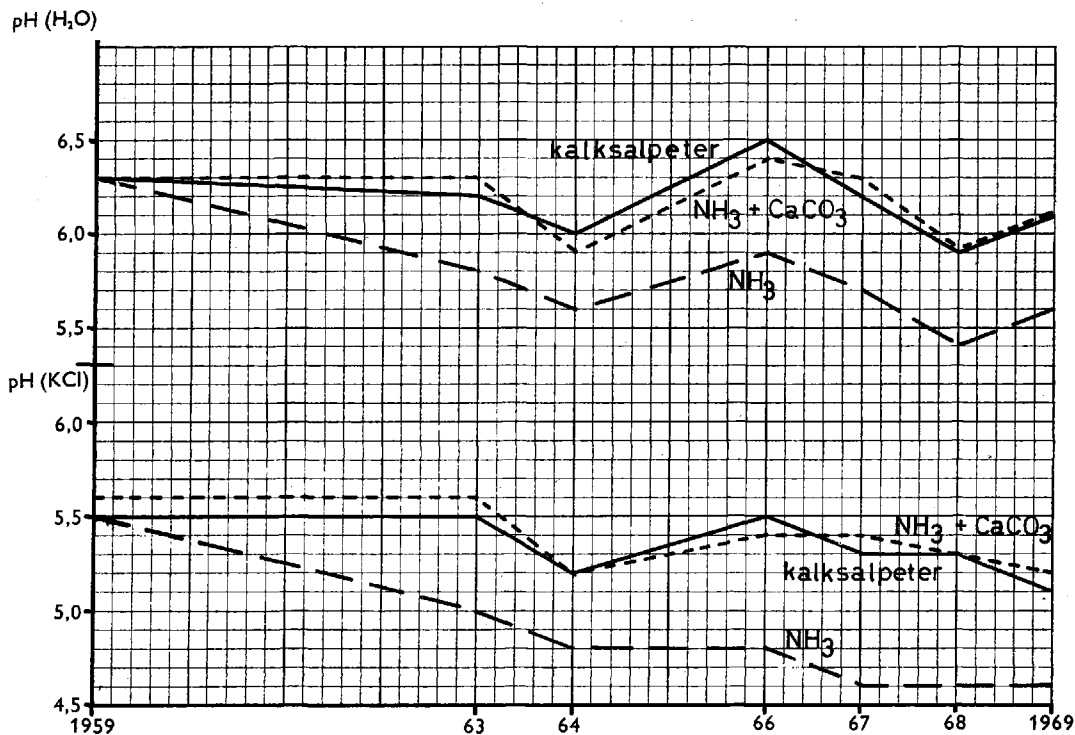
En eventuel forskel ved forsøgenes start er udignet ved, at forskelle i pH på ethvert senere tidspunkt i forsøgsperioden er korrigeret med forskellen ved forsøgets start.

Ved anvendelse af kalksalpeter på Askov sandmark var der faldende tendens i pH i perioden 1959-69 (fig. 1). Anvendelse af tilsvarende mængder N i flydende ammoniak resulterede i, at pH i 1969 var 0,5 lavere, end hvor der var anvendt kalksalpeter. Det ses også, at størstedelen af denne forskel er indtruffet allerede efter 4 år, hvorefter forskellen synes at være nogenlunde konstant indtil forsøgets ophør i 1969. Når der samtidig med udbringning af ammoniak er tilført 3,6 kg CaCO₃/kg N, ses det, at pH i hele forsøgsperioden har ligget på linie med pH i det kalksalpetergødede led.

Anvendelse af urea skulle teoretisk medføre samme fald i pH som anvendelse af ammoniak (Sørensen 1964). Urea har været anvendt i forsøget i årene 1965-68, men i disse år har pH efter anvendelse af denne gødning været på linie med pH, hvor der er anvendt kalksalpeter (fig. 5). Når der til de ureagødede parceller er tilført 3,6 kg CaCO₃/kg N, ses det, at pH tenderer til at være højere, end når der er anvendt kalksalpeter eller urea.

I Dalhus-forsøget ses det, at anvendelse af ammoniak har sænket pH mere end anvendelse af kalksalpeter. Ammoniak + 3,6 kg CaCO₃/kg N har derimod bevirket, at pH er steget i forhold til pH efter kalksalpeteranvendelse. Dette skyldes måske, at pH i dette forsøg generelt har været lavt (fig. 3).

På Askov lermark har ammoniak også bevirket fald i pH. Tilskud af kalk har i dette forsøg ikke helt kunnet holde pH på samme niveau



Figur 1. pH(H₂O) og pH(KCl) på forskellige tidspunkter i forsøgsperioden (Askov sandmark).
pH(H₂O) and pH(KCl) at different points of time in the experimental period (Askov Sand Field).

som ved kalksalpeteranvendelse. Urea har også bevirket, at pH er faldet. 3,6 kg CaCO₃/kg N har i dette forsøg givet uventede resultater, idet pH kun i de seneste forsøgsår synes at være højere end efter anvendelse af urea alene (fig. 7).

Kalkbehov

Tabel 2 viser resultater af kalkbehovsbestemmelser (vedr. kalkbehovsbestemmelse se Tovborg Jensen 1924 og 1925). Tallene angiver hvor megen kalk (CaCO₃/ha), der skal tilføres de enkelte forsøgsled på forskellige tidspunkter i forsøgsperioden for at opnå pH(H₂O) 6,5, 7,0 eller 7,5.

Af tabel 2 ses det, at forsøgsleddene er startet nogenlunde på linie på Askov sandmark. Anvendelse af ammoniak har bevirket, at kalkbehovet er øget sammenlignet med kalkbehovet, hvor der er gødet med kalksalpeter, mens kalkbehovet efter ammoniak + kalk svarer til kalkbehovet efter kalksalpeteranvendelse.

Med hensyn til urea ses det, at de 3 forsøgsled ikke er startet på linie i 1965. Når der korrigeres for forskellen i kalkbehov ved forsøgets begyndelse, findes det, at ureatilførsel kun har medført et lidt større kalkbehov for opnåelse af pH 7,0, end tilførsel af kalksalpeter har gjort. I overensstemmelse med dette findes det, at urea + kalk har sænket kalkbehovet i forhold til det, der er fundet efter tilførsel af kalksalpeter. For kalkbehovet for opnåelse af pH 7,5 gælder det samme for urea uden kalktilførsel, mens urea + kalk i dette tilfælde ikke synes at have sænket kalkbehovet i forhold til kalksalpeteranvendelse.

Dalhus-forsøget viser, at i forhold til kalksalpeteranvendelse er kalkbehovet steget ved anvendelse af ammoniak og faldet ved anvendelse af ammoniak + kalk.

På Askov lermark er forsøgsleddene ikke startet helt på linie. Ammoniak og urea har medført større kalkbehov end kalksalpeter. Når der

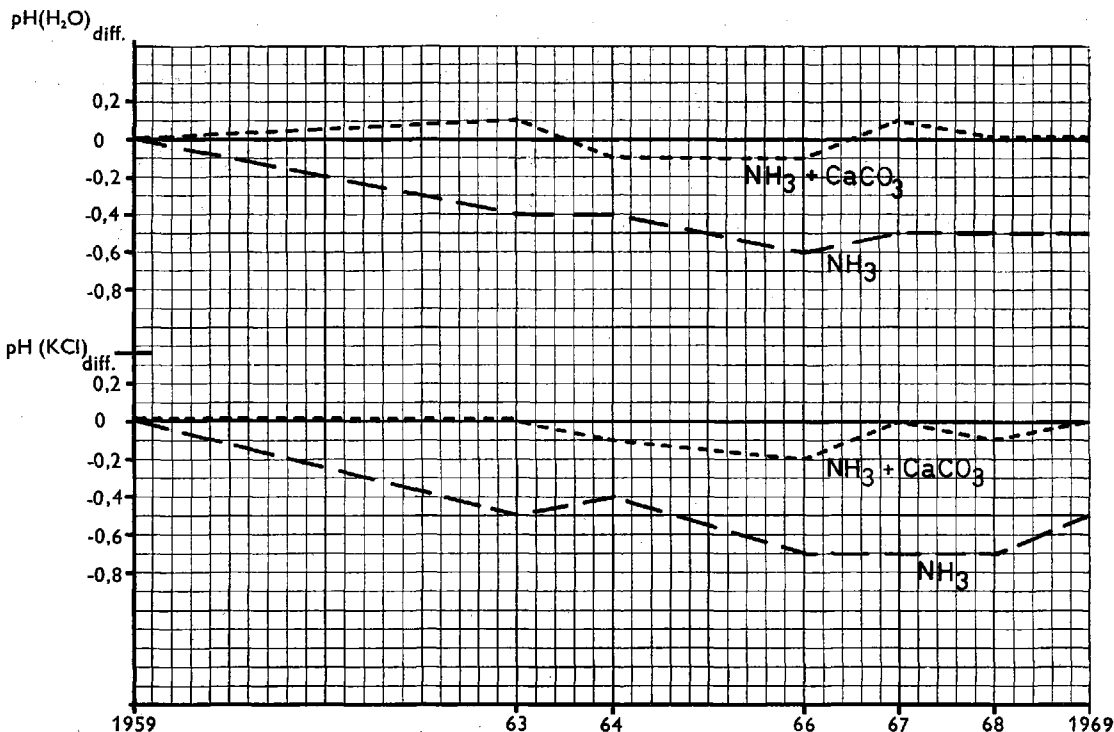
Tabel 2. Kalkbehov (t CaCO₃/ha) for opnåelse af forskellige pH-værdier i jorden
(Lime requirement: tons CaCO₃/ha to attain specified values of soil pH)

	pH(H ₂ O) 6,5					pH(H ₂ O) 7,0					pH(H ₂ O) 7,5				
	kalksalpeter	fl. am.	fl.am. + kalk	urea	urea + kalk	kalksalpeter	fl. am.	fl.am. + kalk	urea	urea + kalk	kalksalpeter	fl. am.	fl. am. + kalk	urea	urea + kalk
<i>Askov sandmark</i> (Sand field, Askov)															
1959	1,0	1,0	0,8			3,9	3,9	3,6			7,3	7,3	7,4		
60															
61															
62															
63	1,4	3,2	1,2			3,9	5,9	3,9			7,0	9,8	7,0		
64	2,3	4,3	2,3			4,9	7,5	5,0			8,4	11,8	8,6		
65															
66															
67	1,1	4,0	0,8			3,5	7,0	3,1			6,6	10,6	6,3		
68															
69	1,4	4,0	1,9			3,6	7,5	4,5			7,1	12,2	7,8		
1965	1,5			2,0	1,4	4,9			5,5	4,9	10,0			10,6	9,6
66															
67	—			0,3	—	2,2			2,7	1,9	5,2			5,8	4,9
68	1,4			1,9	—	3,5			4,4	2,8	6,3			8,1	5,8
<i>Dalhus</i> (Dalhus, loam)															
1959	1,3	1,3	1,3			4,4	4,4	4,4			8,7	8,7	8,7		
60															
61															
62															
63	2,1	3,4	1,4			5,6	7,3	4,7			10,2	12,2	8,8		
64	3,4	4,8	2,6			6,3	8,4	5,9			10,9	14,0	10,7		
<i>Askov lermark</i> (Loam field, Askov)															
1965	0,2	—	—	0,2	—	4,1	3,9	3,6	4,2	3,6	10,6	10,8	10,6	11,4	10,6
66															
67															
68															
69	—	0,4	—	0,7	—	2,3	3,6	2,7	3,5	2,4	5,8	7,3	6,3	7,2	5,7
70	—	0,5	—	—	—	2,3	3,8	2,1	3,6	2,1	6,0	7,9	5,8	7,6	6,3
71	0,2	—	—	0,4	—	3,5	4,7	2,7	4,6	1,9	9,0	10,3	8,3	10,1	7,9

kalksalpeter = nitrate of lime
 fl. am. = anhydrous ammonia
 fl.am. + kalk = anhydrous ammonia + lime
 urea = urea
 urea + kalk = urea + lime

Tabel 3. Beregnet mertilførsel af kalk (kg CaCO₃/kg N) efter anvendelse af ammoniak eller urea contra anvendelse af kalksalpeter for at opnå forskellige pH-værdier i jorden
(Calculated surplus application of lime (kg CaCO₃/kg N) after application of anhydrous ammonia or urea versus nitrate of lime, to attain specified values of soil pH)

	pH(H ₂ O) 6,5				pH (H ₂ O) 7,0				pH(H ₂ O) 7,5			
	fl. am.		urea +		fl. am.		urea +		fl. am.		urea +	
	fl. am.	+kalk	urea	kalk	fl. am.	+kalk	urea	kalk	fl. am.	+kalk	urea	kalk
<i>Askov sandmark (Sand field, Askov)</i>												
1959												
60												
61												
62												
63	3,1	3,6			3,5	4,1			4,8	3,4		
64	2,5	3,9			3,2	4,1			4,2	3,7		
65												
66												
67	2,3	3,5			2,8	3,5			3,2	3,3		
68												
69	1,7	4,1			2,5	4,4			3,3	4,0		
1965												
66												
67							0	2,6			0	3,9
68												
69							0,5	2,5			2,0	3,4
<i>Dalhus (Dalhus, loam)</i>												
1959												
60												
61												
62												
63	2,3	2,4			2,9	2,0			3,5	1,2		
64	1,8	2,6			2,7	3,1			4,0	3,3		
65												
<i>Askov lermark (Loam field, Askov)</i>												
1965												
66												
67												
68												
69	—	—	—	—	2,5	5,1	1,8	4,6	2,2	4,4	1,0	3,4
70	—	—	—	—	2,1	4,0	1,5	4,0	2,1	3,4	1,0	4,0
71	—	—	—	—	1,6	3,3	1,1	2,4	1,2	2,8	0,3	2,4
fl.am. = anhydrous ammonia fl.am. +kalk = anhydrous ammonia + lime urea = urea urea +kalk = urea +lime												



Figur 2. pH(H₂O)- og pH(KCl)-forskelle mellem ammoniak- og kalksalpetergødede forsøgsled (Askov sandmark).

pH(H₂O)- og pH(KCl)-deviations between experimental sections receiving ammonia (+ and ÷ lime) and sections receiving nitrate of lime (zero, heavy horizontal line). Askov Sand Field.

er tilført 3,6 kg CaCO₃/kg N i ammoniak eller urea, er kalkbehovet af nogenlunde samme størrelse som ved anvendelse af kalksalpeter.

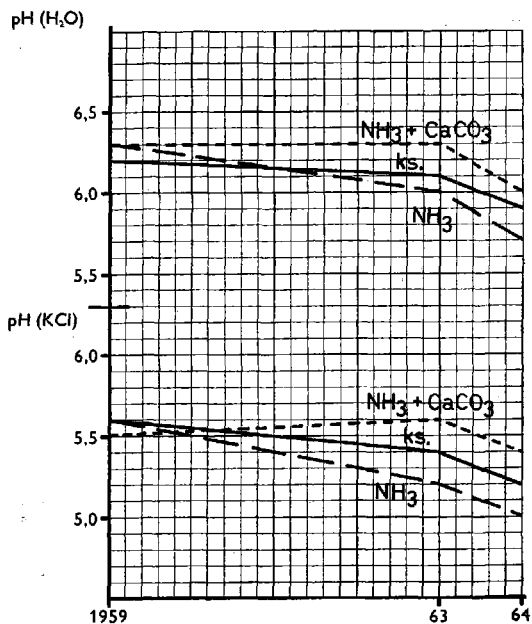
Ammoniaks og ureas kalkforbrug

Tabel 3 viser den beregnede nødvendige mertilførsel af kalk for genetablering af en given pH-værdi efter anvendelse af ammoniak, urea og ammoniak eller urea + 3,6 kg CaCO₃/kg N i stedet for kalksalpeter. Den nødvendige mertilførsel af kalk er beregnet på forskellige tidspunkter i forsøgsperioden ud fra den tilførte N-mængde i perioden fra forsøgets start og indtil det givne tidspunkt (se tabel 1) og ud fra resultaterne af kalkbehovsbestemmelserne (se tabel 2).

Eks.: I perioden 1959-67 er der i sandmarksforsøget tilført 1238 kg N. Kalkbehovet for opnåelse af pH 6,5 er for kalksalpetergødet 1,1 og

for ammoniakgødet 4,0 t CaCO₃/ha. Differens = 2,9 t/ha. I dette tilfælde var kalkbehovet ens ved forsøgets begyndelse i de to led, og der skal derfor ikke korrigeres. Nødvendig mertilførsel af kalk for genetablering af pH 6,5 efter gødskning med ammoniak kontra kalksalpeter er derfor 2900 : 1238 = 2,3 kg CaCO₃/kg N. For beregning af nødvendig mertilførsel af kalk i forsøgsleddet ammoniak + kalk er der til differensen i kalkbehov adderet den tilførte mængde CaCO₃ og derefter divideret med den tilførte N-mængde.

Det ses, at den nødvendige mertilførsel — eller kalkforbruget pr. kg N — stiger, jo højere pH der ønskes kalket til. Foråret 1963 skulle der således på Askov sandmark tilføres 3,1, 3,5 og 4,8 kg CaCO₃ pr. kg tilført N i ammoniak i perioden 1959 til og med 1962 for at opnå pH henholdsvis 6,5, 7,0 og 7,5. Hvis kalkforbruget i

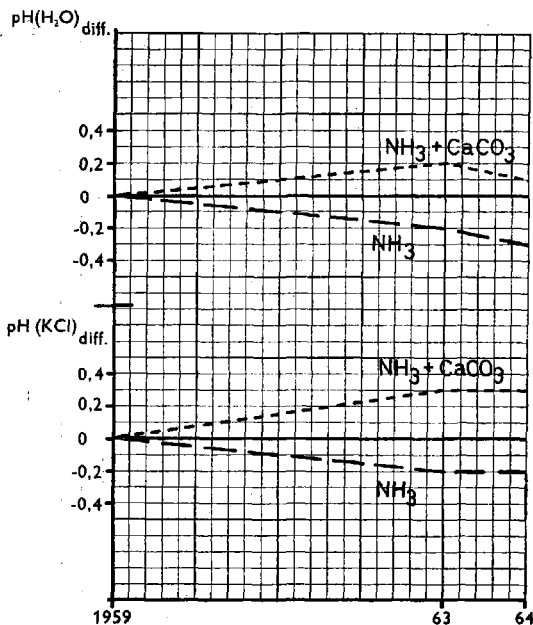


Figur 3. pH(H₂O) og pH(KCl) på forskellige tidspunkter i forsøgsperioden (Dalhus).
pH(H₂O) and pH(KCl) at different points of time in the experimental period. - Dalhus.

stedet beregnes på grundlag af forsøgsleddet med ammoniak + kalk, ses det, at det største kalkforbrug findes, hvis der ønskes pH på 7,0.

Kalkforbruget pr. kg tilført N i ammoniak falder, jo længere opkalkningen udsættes. For at opnå f.eks. pH 7,0 skulle der i 1963 tilføres 3,5, i 1964 3,2, i 1967 2,8 og i 1969 2,5 kg CaCO₃/kg N. Dette stemmer med bl.a. *Tovborg Jensens* (1929) teorier og kan forklares på den måde, at den af ammoniakken fremkaldte pH-sænkning efterhånden breder sig til også at omfatte jorden under pløjelaget, mens jordprøverne til kalkbehovsbestemmelse kun repræsenterer pløjelaget. Med andre ord, de på grund af ammoniaktilførselen dannede surt reagerende stoffer er delvis udvasket eller på anden måde ført bort fra pløjelaget, hvori kalkbehovsanalysen er gennemført.

Ser man i stedet på kalkforbruget, hvor der samtidig med ammoniaktilførselen er tilført 3,6 kg CaCO₃/kg N, ses det, at kalkforbruget her er nogenlunde konstant med årene, hvilket stemmer



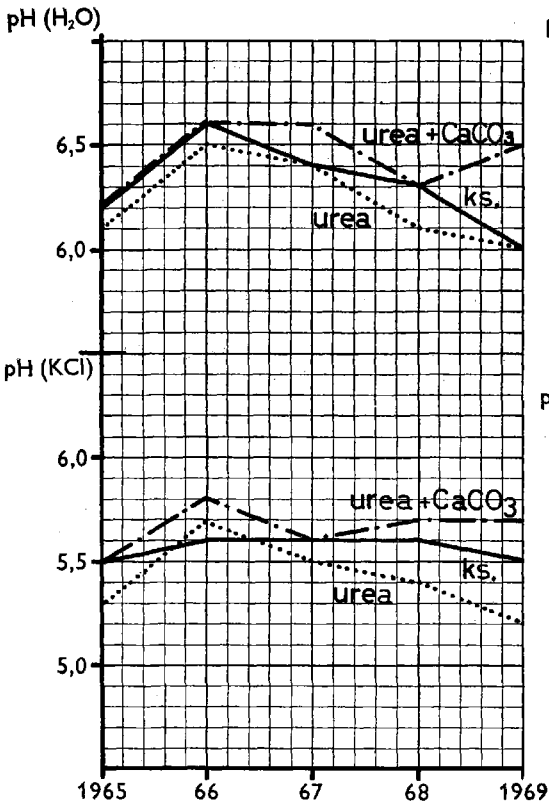
Figur 4. pH(H₂O)- og pH(KCl)-forskelle mellem ammoniak- og kalksalpetergødede forsøgsled (Dalhus).

pH(H₂O) and pH(KCl)-deviations between experimental sections receiving ammonia (+ and ÷ lime) and sections receiving nitrate of lime. - Dalhus.

med, at der i dette forsøgsled er målt stort set samme pH som efter anvendelse af kalksalpeter.

Med hensyn til kalkforbruget efter 4 års anvendelse af urea ses det, at det på Askov sandmark har været lille (i 1969 målt til 0,5 kg CaCO₃/kg N for at opnå pH 7,0). Kun ved tilvejebringelse af pH 7,5 synes der i dette forsøg at være et af ureaen fremkaldt kalkforbrug, nemlig 2,0 kg CaCO₃/kg N. Opkalkning til pH 7,5 har dog ikke praktisk, men kun teoretisk interesse på denne jordtype. Kalkforbruget synes at nærme sig den forventede størrelse, når der er tilført urea + kalk i forsøget (ca. 2,5 kg CaCO₃/kg N for opnåelse af pH 7,0).

I Dalhus-forsøget ses kalkforbruget pr. kg N i ammoniak at ligge lavere end i sandmarksforsøget. Beregnet ud fra det forsøgsled, der er tilført ammoniak + kalk, synes kalkforbruget at være lidt mindre end de teoretiske 3,6 kg CaCO₃/

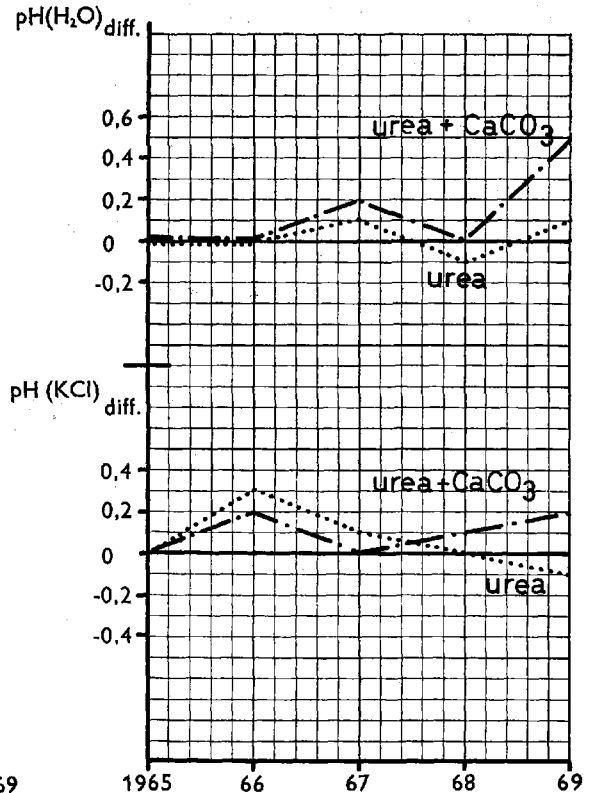


Figur 5. pH(H₂O) og pH(KCl) på forskellige tidspunkter i forsøgsperioden (Askov sandmark). pH(H₂O) and pH(KCl) at different points of time in the experimental period. - Askov Sand Field.

kg N (2,0-3,1 for opnåelse af pH 6,5 eller pH 7,0).

I forsøget på Askov lermark ses det, at der for opnåelse af en given pH-værdi skal tilføres 1,2-2,5 kg CaCO₃/kg N mere til det ammoniakgødede forsøgsled end til det kalksalpetergødede led (4-5 års tilførsel af gødning). Kalkforbruget er højere, når det beregnes på grundlag af forsøgsledet ammoniak + kalk. — Anvendelse af urea bevirker i dette forsøg, at der må tilføres 0,3-1,8 kg CaCO₃/kg N mere end til kalksalpetergødete led, men for urea + kalk nogenlunde de samme mængder som til forsøgsledet ammoniak + kalk for at opnå et givet pH.

I forsøget på Askov lermark er kg CaCO₃/kg N lavere, hvis man ønsker at opnå pH 7,5, end



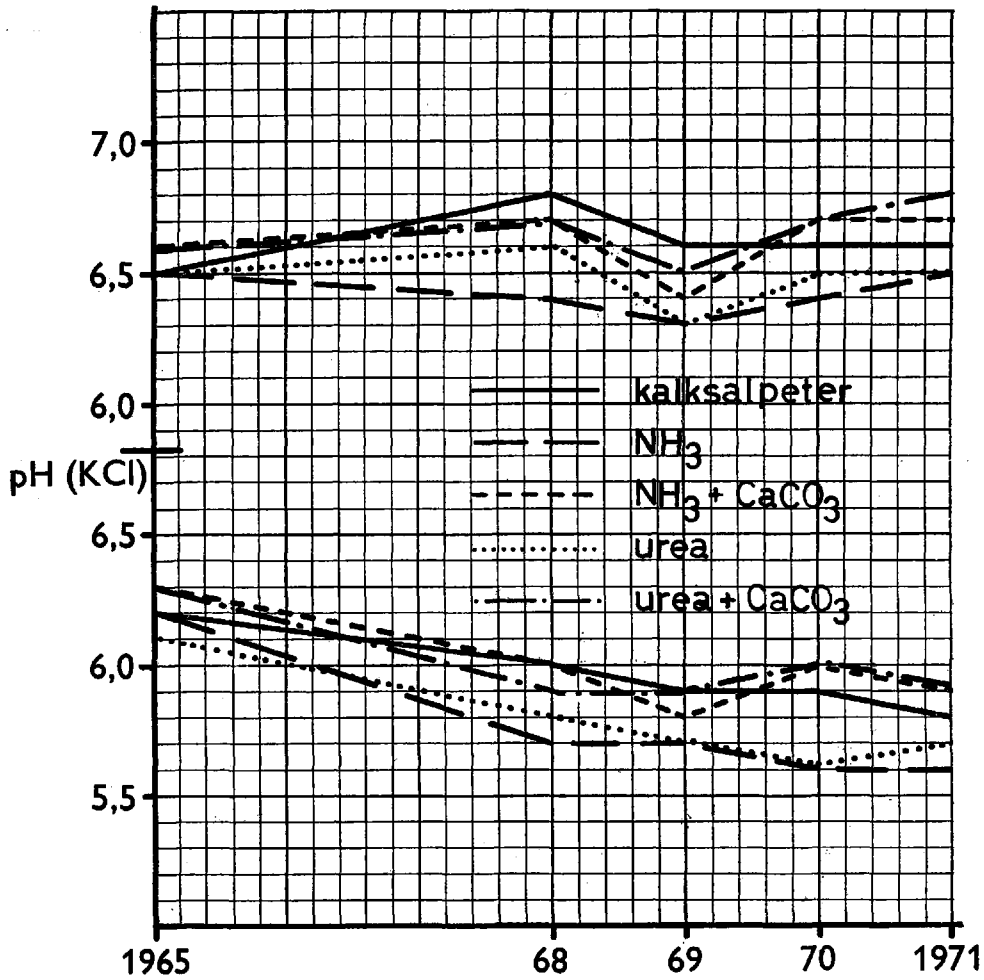
Figur 6. pH(H₂O)- og pH(KCl)-forskelle mellem urea- og kalksalpetergødede led (Askov sandmark). pH(H₂O)- og pH(KCl)-deviationer mellem eksperimentelle sektioner modtaget urea (+ og ÷ lime) og sektioner modtaget nitrat af lime. - Askov Sand Field.

hvis man ønsker pH 7,0. Dette gælder for både ammoniak og urea.

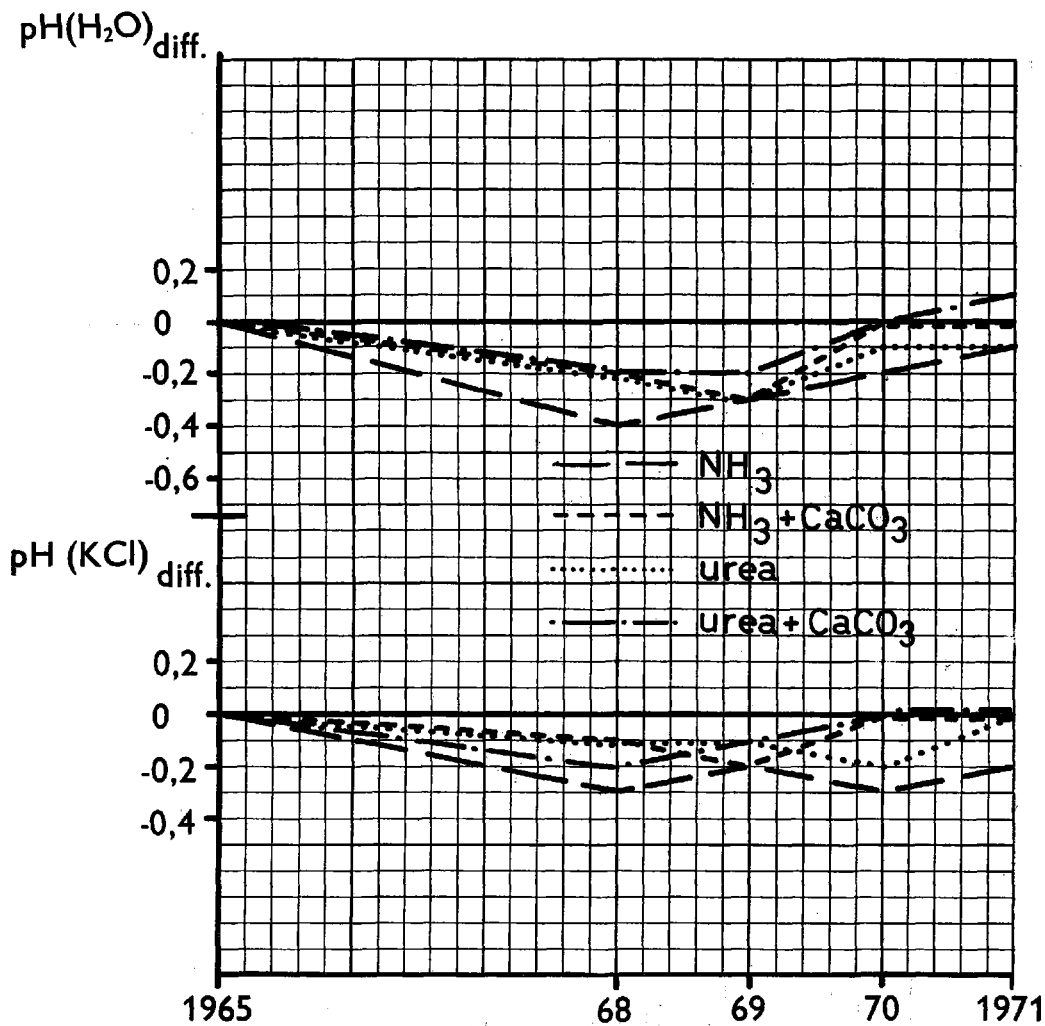
Resultater af forsøg efter plan II

Efter høst 1968 og 1969 blev der i samtlige parceller i de 10 enkeltforsøg udtaget jordprøver til pH-bestemmelse. Gennemsnitsresultaterne af disse (ialt 616) pH-bestemmelser fremgår af tabel 4. Der er ikke udført tilsvarende bestemmelser ved forsøgenes påbegyndelse, hvorfor pH-ændringerne med tiden som følge af N-tilførsel ikke kan vises. Resultaterne viser kun, hvordan pH er blevet i en jord, efter at der i en given årrække er tilført en given N-mængde årligt i henholdsvis

pH(H₂O)



Figur 7. pH(H₂O) og pH(KCl) på forskellige tidspunkter i forsøgsperioden (Askov lermark).
pH(H₂O) and pH(KCl) at different points of time in the experiment period. - Askov Loam Field.



Figur 8. pH(H₂O)- og pH(KCl)-forskelle mellem urea- eller ammoniakgødede og kalksalpetergødede forsøgsled (Askov lermark).

pH(H₂O) and pH(KCl)-deviations between experimental sections receiving ammonia or urea (both + and ÷ lime) and sections receiving nitrate of lime. - Askov Loam Field.

kalksalpeter og flydende ammoniak. De forskelle, der i 1968 og 1969 ses at være i pH, enten der er gødet med kalksalpeter eller flydende ammoniak, er dog med al sandsynlighed fremkaldt af disse gødningers forskellige virkning, idet det er helt utænkeligt, at der tilfældigvis skulle have forekommet sådanne systematiske variationer mellem parcellerne ved forsøgets begyndelse.

Tabel 4. pH(H₂O) i jord henholdsvis ugødet med N og gødet med N i kalksalpeter eller flydende ammoniak 10-11 år (Lundgaard) og 4-5 år (Askov)

(pH of soil in aqueous suspension, no N-fertilizer vs. soil receiving nitrate of lime or anhydrous ammonia (Lundgaard, 10-11 years) and Askov (4-5 years))

	Jordprøver udtaget efterår			
	Soil samples taken in autumn 1968		1969	
Lundgaard (2 fs./år i hver mark)	mark (field)			
	R-4	R-5	R-4	R-5
0 N.....	6,6	6,3	6,4	6,2
1 N i kalksalpeter...	6,6	6,4	6,5	6,2
1 N i fl. ammoniak..	6,5	6,3	6,3	6,0
2 N i kalksalpeter...	6,6	6,3	6,4	6,2
2 N i fl. ammoniak..	6,4	6,1	6,1	5,8
3 N i kalksalpeter...	6,6	6,3	6,4	6,1
3 N i fl. ammoniak..	6,3	6,0	6,0	5,6
Askov (3 fs./år i hver mark)	mark (field)			
	S-vest	S-øst	S-vest	S-øst
0 N.....	6,0	5,9	5,8	5,7
1 N i kalksalpeter...	6,0	5,9	5,8	5,7
1 N i fl. ammoniak..	5,9	5,8	5,7	5,7
2 N i kalksalpeter...	6,1	6,0	6,0	5,8
2 N i fl. ammoniak..	6,0	5,8	5,7	5,7
3 N i kalksalpeter...	6,1	6,0	5,8	5,8
3 N i fl. ammoniak..	5,9	5,7	5,5	5,6

Forskellene i pH ved Lundgaard ses at være 0,1-0,5 enheder efter anvendelse af kalksalpeter eller flydende ammoniak, og pH er i alle tilfælde lavest efter ammoniak anvendelse. Endvidere ses det, at den største forskel i pH er frembragt af de største N-mængder. I de her omtalte forsøg er der også et forsøgsled uden N-tilførsel. pH i dette led ses at være af samme størrelsesorden som pH i de kalksalpetergødede led.

For forsøgene ved Askov gælder der stort set det samme med hensyn til pH-forskelle efter anvendelse af kalksalpeter eller flydende ammoniak, som der gør for Lundgaard. Dog er forskellen i pH fra 0-0,3, altså mindre end ved Lundgaard, hvilket også synes naturligt, da forsøget kun har ligget i 5 år ved Askov mod 11 år ved Lundgaard. Med hensyn til det ikke N-gødede led kontra de kalksalpetergødede led er der en tendens til, at pH er hævet en smule som følge af kalksalpeter tilførsel.

Parcelbredden har i alle forsøg været 4,5 m. Da næsten alle jordbehandlinger er sket på tværs af parcellerne, kan det ikke udelukkes, at der er sket nogen overslæbning af jord fra en parcel til en anden. Endvidere har rækkefølgen været som vist i tabel 4, nemlig kalksalpetergødet, ammoniakgødet, kalsalpetergødet osv., hvorfor de i forsøget målte forskelle i pH mellem kalksalpetergødet og ammoniakgødet sandsynligvis ligger i underkanten af de sande forskelle i pH efter anvendelse af disse to gødninger.

Konklusion

Sammenlignet med anvendelse af kalksalpeter, der indtil 1965 udgjorde mere end 50% af landets totale N-forbrug, medfører anvendelse af flydende ammoniak, i mindre grad også urea, et fald i jordens pH.

For at undgå, at pH bliver lavere end optimalt, bør det, hvor disse gødninger anvendes, tilrådes at foretage ret hyppige (f.eks. hvert 4. år) pH-bestemmelser i jorden. Kalktilførselens størrelse bør herefter afpasses på grundlag af de i jorden fundne pH-værdier (eller på grundlag af kalkbehovsbestemmelse). Det må på grundlag af de i nærværende beretning omhandlede forsøg forventes, at det vil være nødvendigt at tilføre 2-5 kg CaCO₃/kg N mere, når der gødes med flydende ammoniak eller urea, end når der gødes med kalksalpeter.

Summary

The effect of nitrate of lime, anhydrous ammonia and urea (each in average doses of 150 kg per hectare annually) was investigated on sand and loam soil at the Askov Experimental Station. A secondary pur-

pose was to find information whether an addition of 3.6 kg calcium carbonate per kg N in anhydrous ammonia and in urea would counteract a decrease in soil pH due to these fertilizers. The experiments were conducted for 5 to 10 years.

Anhydrous ammonia on sand soil for 10 years resulted in a soil pH 0.5 units lower as compared with nitrate of lime; this difference was established after approx. 4 years and remained fairly constant after this time. The addition of 3.6 kg CaCO₃ per kg N prevented the decline in soil pH. In loam soil a decline in soil pH also took place after use of ammonia; in one experiment an addition of 3.6 kg CaCO₃ resulted in a rise in pH, but in another experiment there was a decrease to the same pH level as was found where nitrate of lime had been used.

The effect of urea on soil pH was more inconsistent and smaller than that of anhydrous ammonia.

Supplementary experiments at Askov and Lundgaard Experiment Stations (loam and light sandy soil, respectively) showed correspondingly that soil pH values after 5 and 11 years application of anhydrous ammonia had declined by as much as 0.5 unit in comparison with nitrate of lime.

(pH(H₂O) and pH(KCl): measurements in suspension of soil in dist. H₂O and in 1-N KCl solution, respectively.

»Kalksalpeter« (or »Ks«) = Nitrate of lime).

Litteraturliste

Iversen, Karsten og K. Dorph-Petersen 1944: Forsøg med forskellige kvælstofgødninger 1930-1942. Tidsskr. Planteavl 48, 418-515.

Jansson, Sven L. 1966: Aktuella synpunkter på flytande ammoniak som kvävegödselmedel. Växt-Närings- Nytt 22, 4, 1-8.

Kofoed, A. Dam, J. Lindhard og P. Søndergaard Klausen 1967: Forsøg med flydende vandfri ammoniak. Tidsskr. Planteavl 71, 145-225.

Némec, A. og L. Vopěnka 1970: The Dispersion of Crop Production of Anhydrous Ammonia in Soils and its Changes. I. Preparation and Checking of Methods. Rostlinna Vyroba 16, 1, 47-54.

Nömmik, Hans 1966: Ureans kemiska och mikrobiella omsättning i marken. Växt- Närings- Nytt 22, 1, 6-13.

Nömmik, Hans 1968: Flytande ammoniak som kvävegödselmedel. Ammoniakkens reaktioner i marken. Växt- Närings- Nytt 2, 21-27.

Nömmik, Hans og Karl-Olof Nilsson 1963: Nitrification and Movement of Anhydrous Ammonia in Soil. Acta Agr. Scand. 13, 205-219.

Sluijsmans, C. M. J. 1966: Effect of fertilizers on the lime requirement of the Soil. Agri Digest 8, 10-16.

Sluijsmans, C. M. J. 1970: Der Einfluss von Düngemitteln auf den Kalkzustand des Bodens. Zeitschr. Pflanzenernähr. Bodenkunde 126, 2, 97-103.

Sørensen, Chresten 1964: Urea. Ugeskr. Landmænd 109, 43, 687-694.

Tovborg Jensen, S. 1924: Om bestemmelse af jordens stødpudevirkning. Tidsskr. Planteavl 30, 565-585.

Tovborg Jensen, S. 1925: Undersøgelser over calciumkarbonatets reaktionsændrende virkning i jordbunden. Tidsskr. Planteavl 31, 744-778.

Tovborg Jensen, S. 1929: Om kunstgødningens indvirkning på jordens reaktion. Tidsskr. Planteavl 35, 390-419.

Manuskriptet modtaget d. 18. januar 1972.