

Ammoniaktab fra kvælstofholdige Handelsgødninger udbragt paa Agerjord.

I. Svovlsur Ammoniak.

Af F. Steenbjerg.

Efter at Brugen af Svovlsur Ammoniak fremstillet af Gasvand omkring Aarhundredskiftet begyndte at faa stigende økonomisk Betydning, blev man interesseret i at undersøge, hvorledes denne Kvælstofgødning kunde anvendes med størst Fordel. Herunder blev der fra forskellig Side gjort opmærksom paa, at der særlig ved en Udstrøning paa Overfladen af kalkholdig Jord kunde ske et ret betydeligt Kvælstoftab ved Ammoniakfordampning.

Naar man gennemgaar den daværende ret sparsomme Litteratur om Spørgsmaalet fremgaar det imidlertid, at Anskuelserne om dette Kvælstoftabs økonomiske Betydning var delte. *Warrington* (1) i England og *Wagner* (2) og *Schneidewind* (6) i Tyskland mente, at Tabet kunde være føleligt, medens man fra anden Side enten slet ikke var opmærksom paa Spørgsmaalet eller kun tillagde det ringe Betydning.

I den mellemliggende Tid indtil vore Dage er Problemet praktisk taget ikke blevet behandlet, hvilket er ret uforstaaeligt, naar det betænkes, at Svovlsur Ammoniak, især efter at den syntetiske Fremstilling begyndte i 1914, er blevet en saa vigtig Kvælstofgødning, at Verdensproduktionen af Kvælstof i denne Gødning udgør ca. 40 pCt. af den totale Kvælstofproduktion.

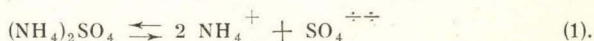
I Danmark er der i de sidste femten Aar aarlig brugt ca. 40 000 Tons Svovlsur Ammoniak, hvilket svarer til ca. 25 pCt. af Landets samlede Import af Kvælstof i Handelsgødninger. Der var saaledes alene i Henhold til dette store Forbrug god Grund til at undersøge denne Ammoniakfordampnings Betydning under danske Jordbundsforhold, saa meget mere som en saadan Undersøgelse antagelig ogsaa vilde kunne bidrage til

Vurdering af de Resultater, som gennem Aarene er opnaaet ved Markforsøg, hvor Svovlsur Ammoniak er blevet sammenlignet med f. Eks. Chilesalpeter og Kalksalpeter. Det var netop paa Grund af Forsøgsresultater af denne Art (3) og efter Opfordring af Forstander *Karsten Iversen*, at Undersøgelserne med Svovlsur Ammoniak blev sat i Gang.

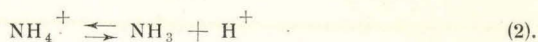
Undersøgelserne, som blev udført i Laboratoriet, beskæftiger sig med den Ammoniakfordampning, der foregaar, naar Svovlsur Ammoniak udbringes under forskellige Jordbundsforhold og paa forskellig Maade. Der indledes med en kortfattet Fremstilling af forskellige teoretiske Forhold, som paa Forhaand maatte antages at være af særlig Betydning for dette Ammoniaktab. Nogen udtømmende Behandling af Problemerne i fysisk-kemisk Henseende m. m. er ikke tilstræbt i dette Afsnit, hvis Formaal blot er at klarlægge enkelte Hovedtræk. Paa dette Grundlag følger dernæst i en eksperimentel Del en Undersøgelse af hvilke Omstændigheder, der i den første Tid efter Udbringningen er af væsentlig Betydning for Tabet, ligesom der gives Anvisning paa, hvorledes Tab kan undgaas. Endelig gives i et sidste kortere Afsnit en Vurdering af Mulighederne for under forskellige Forhold i Marken at bestemme Ammoniaktabets Størrelse ved Hjælp af en eventuel Nedgang i Høstudbyttet.

1. Teoretiske Forhold af særlig Betydning for Ammoniakfordampningen.

Svovlsur Ammoniak, hvis kemiske Betegnelse er Ammoniumsulfat, er letopløselig i Vand, een Del af Saltet opløses saaledes i to Dele Vand. Ved Opløsningen spaltes det efter Skemaet



Ammoniumionen kan opfattes som en Kationsyre (meget svag), d. v. s. en Forbindelse, der fraspalter Brintioner efter Skemaet



Nu kan man, naar man kender en Syres eller en Bases Styrke, beregne deres Tilstand i vandig Opløsning ved enhver p_{H} -Værdi. Forholdet mellem de molære Koncentrationer af Syreformen (NH_4^+) og Baseformen (NH_3) er nemlig bestemt ved Syre-Base Systemets Ligevægtsligning:

$$\frac{c \text{ NH}_4^+}{c \text{ NH}_3} = \frac{c \text{ H}^+}{K} \quad (3).$$

hvor c betyder de molære Koncentrationer, og K er Syrens Dissociationskonstant. Logaritmeres Ligning (3) faas:

$$\log \frac{c \text{ NH}_4^+}{c \text{ NH}_3} = p_K \div p_H \quad (4).$$

hvor p_K er Dissociationskonstantens negative Logaritme, som ved 20° C har Værdien 9.48 (*Egnér* (8)). Med Kendskab til denne Værdi er det muligt at beregne Ammoniakkoncentrationen ved forskellige p_H -Værdier.

Ammoniakkens Partialtryk over en Opløsning af Ammoniak i en lukket Beholder er i Ligevægtøjeblikket ligefremt proportionalt med Opløsningens Ammoniakkoncentration (Henry's Lov). I fri Luft vil der imidlertid aldrig opnaas Ligevægt, dels fordi den Ammoniak, der afgives til Luften fra Opløsningen (Jordvædsken) føres bort af Luftstrømninger, dels fordi Ammoniakkens Vægtfylde er mindre end den atmosfæriske Lufts Vægtfylde. Under saadanne Forhold vil den Ammoniadmængde, der pr. Tidsenhed afgives til Atmosfæren, stige med stigende Ammoniakkoncentration.

Den Hastighed, hvormed Ammoniakken damper bort efter Udstrømning af Svovlsur Ammoniak paa Jordens Overflade, maa saaledes i høj Grad være afhængig af Jordens (Jordvædsken) p_H -Værdi, der i Henhold til Ligning (4) regulerer Ammoniakkoncentrationen.

Man maa desuden gøre sig klart, at da Ammoniakkoncentrationen stadig aftager med Ammoniakkens Bortdampning, aftager ogsaa Ammoniakfordampningens Hastighed¹⁾, og i særlig Grad hvis der ikke i Jorden findes stærkt syremættende Forbindelser som f. Eks. Kalciumkarbonat, der effektivt kan neutralisere de Brintioner, som dannes, naar Ammoniakken undviger, se Ligning (2). Hvis der nemlig ikke er Kalciumkarbonat til Stede, kan Jordens Reaktionstal lokalt — omkring de enkelte (opløste) Krystaller af Svovlsur Ammoniak — sænkes saa meget, at Ammoniakkoncentrationen ogsaa af den Grund formindskes meget betydeligt (se desuden Side 523).

¹⁾ Ved Udbringning ovenpaa Jorden vil Ammoniakfordampningen desuden aftage med Tiden, fordi Ammoniumionerne efterhaanden difunderer nedad og derved fordeles paa større Jordmængder.

Af Ligning (4) ses det saaledes, at ved et Reaktionstal i Jorden paa 6.⁴⁸ er Ammoniakkoncentrationen ca. 1000 Gange mindre end Ammoniumionkoncentration, medens den ved et Reaktionstal paa 5.⁴⁸ er ca. 10 000 Gange mindre end Ammoniumionkoncentrationen. Først ved et Reaktionstal paa 7.⁴⁸ er Ammoniakkoncentrationen steget saa meget, at den kun er ca. 100 Gange mindre end Ammoniumionkoncentrationen. Ved dette Reaktionstal har Ammoniaktrykket en saadan Værdi, at der foregaar et let maaleligt Ammoniaktab. Hvis Jordens Reaktions-
stal stiger helt op til 8.3 faas:

$$\frac{c \text{ NH}_4^+}{c \text{ NH}_3} = 10^{9.48 \div 8.3} = 15.1$$

d. v. s. ca. $\frac{1}{16}$ af Kvælstoffet er til Stede som Ammoniak, saaledes at der for en Jord med dette Reaktionstal vil være Mulighed for et betydeligt Ammoniaktab fra Svovlsur Ammoniak. Indeholder Jorden samtidig større Mængder Kalciumkarbonat, vil Tabet, som anført, blive særlig stort.

Spørgsmaalet om Temperaturen's Indflydelse paa Ammoniakopløsningers Partialtryk og dermed paa Ammoniaktabet er undersøgt saa ofte, at der ikke vil være Grund til at gaa nærmere ind paa Spørgsmaalet ved denne Lejlighed. Alle Forfattere finder, at Ammoniaktrykket og Ammoniaktabet stiger meget stærkt med stigende Temperatur. *Egnér* (8) har foretaget indgaaende Undersøgelser. Ved at arbejde med 0.33 normale Opløsninger af Ammoniumklorid fandt han, at »Flygtighedstallet« (Fordelingskoefficienten), der er bestemmende for Ammoniaktrykket, havde følgende Værdier ved de anførte Temperaturer:

Temperatur C°	Flygtighedstal $\times 10^4$
0	2.17
5	2.81
10	3.60
15	4.58
20	5.78
25	7.22
30	9.00
35	11.10

Temperaturen har altsaa overordentlig stor Indflydelse paa Ammoniaktrykket og dermed ogsaa paa Ammoniaktabet. Ved

konstant Ammoniakkoncentration stiger Ammoniaktrykket ca. 60 pCt., hver Gang Temperaturen bliver 10 Grader højere.

Af det foregaaende fremgaar det, at følgende Forhold er af afgørende Betydning for Ammoniaktabets Størrelse: Jordens Reaktionstal, dens Indhold af Kalciumkarbonat og Temperaturen, samt den udbragte Mængde af Svovlsur Ammoniak. Jo højere Reaktionstal og Temperatur og jo mere Svovlsur Ammoniak der udbringes, desto større bliver Ammoniaktabet. Se ogsaa *Kappen* m. fl. (10). Tabet foregaar særlig hurtigt, hvis Jorden indeholder Kalciumkarbonat i større Mængder; det er størst i Begyndelsen, naar Ammoniakkoncentrationen er størst.

Det maa endvidere paa Forhaand antages, at Ammoniaktabet nedsættes ved Tildækning af den udstroede Gødning med Jord. En effektiv Tildækning maa nemlig bevirke, at Ammoniaktrykket i Jordens Hulrum stiger til en Værdi, som svarer til det under de givne Forhold mulige Partialtryk, hvorpaa Ammoniakfordampningen standser. Det er ganske vist givet, at der samtidig sker en Adsorption af Ammoniumionen og af den luftformige Ammoniak (9), ligesom ogsaa Jordluftens Kulsyreindhold kan blive af Betydning (7) og (8). Disse forskellige Forhold betyder dog blot, at Betingelserne for Ligevægt under disse Omstændigheder bliver noget mere komplicerede. Slutresultatet — et med stigende Jorrdækning aftagende Ammoniaktab — paavirkes ikke.

De hidtil nævnte kemiske Forhold maa antages at være af særlig stor Betydning for Ammoniaktabets Forløb i de første Dage efter Gødningens Udstrøning. Imidlertid maa ogsaa forskellige bakteriologiske Processer have Indflydelse paa Tabets Størrelse. Der er især Grund til at have Opmærksomheden henvendt paa den bakteriologiske Nitrifikations Omfang og Hastighed under forskellige Jordbundsforhold. Hvis Nitrifikationsprocessen forløber med betydelig Hastighed, vil den selvfølgelig i høj Grad været medvirkende til at give Ammoniakfordampningen et mindre Omfang; ja, Nitrifikationen vil efter Forløbet af længere Tidsrum endog kunne bevirke, at Bortdampningen af Ammoniak helt standser. *Christensen* (4) har undersøgt Nitrifikationshastigheden i Jordprøver fra danske Gødningsforsøg. Ved Tilsætning af 200 mg Svovlsur Ammoniak til 100 g lufttør Jord fandtes det, at rundt regnet $\frac{1}{4}$ af det tilsatte Ammoniumkvælstof var nitrificeret indenfor et Tidsrum af omkring 2 til 4 Uger. Ved disse Undersøgelser blev der ikke tilsat Kalcium-

karbonat til Jorden, ligesom det ogsaa fortjener at bemærkes, at de benyttede Jordprøver antagelig havde staaet i længere Tid i Laboratoriet i lufttør Tilstand. Andre Undersøgelser tyder paa, at Nitrifikationshastigheden ved Stuetemperatur er betydelig større, naar der arbejdes med Jorder, som ikke har været lufttørrede. Undersøgelserne viser imidlertid som Helhed, at Nitrifikationsprocessen i den første Uge eller i de 2 første Uger efter Indblanding af Svovlsur Ammoniak i Jorden ikke er i Stand til at nedsætte Ammoniumionkoncentrationen saa meget, at de rent kemiske Aarsagers Indflydelse paa Ammoniaktabets Forløb vil kunne tilsløres.

I sjældnere Tilfælde vil en bakteriologisk Ammoniakassimilation kunne formindske Ammoniaktabet, ligesom selvfølgelig ogsaa Planternes Optagelse af Ammoniumion i givet Fald vil bevirke, at Ammoniaktabet nedsættes.

Den bakteriologiske Ammoniakassimilation og Planternes Optagelse af Ammoniumion har dog været ganske uden Betydning for de i Laboratoriet opnaaede Resultater. Derimod maa Nitrifikationsprocesserne formentlig i særlig Grad have præget de Resultater, der opnaaedes ved Undersøgelser, som strakte sig over Tidsrum af 3 til 4 Uger.

2. Ammoniaktabet under forskellige Jordbundsforhold m. m.

Metodik.

Ved Undersøgelserne benyttedes følgende Metodik: Jorden, som enten anvendtes i lufttør Tilstand eller blev fugtet til Krummestruktur, anbragtes i et jævnt, ca. 1 cm tykt Lag i Bunden af en Erlenmeyerkolbe paa 300 ml; under disse Omstændigheder var Jordoverfladen ca. 50 cm² (ca. 60 g lufttør Jord). Der tilførtes 75 eller 225 mg Svovlsur Ammoniak — svarende til henholdsvis 150 og 450 kg Svovlsur Ammoniak pr. ha — som enten blev udstrøet jævnt paa Overfladen af Jorden, eller paa Bunden af Kolben før end Jorden tilførtes. Det maa dog erindres, at disse Tilførsler bliver betydelig større, hvis de omregnes saaledes, at der ikke blot tages Hensyn til Overfladens Størrelse, men ogsaa til Jordens Vægt. I nogle Tilfælde blev Gødningen dækket med Jordlag af varierende Tykkelse.

Erlenmeyerkolben lukkedes med en tætsluttende Gummi-prop, hvori der anbragtes to vinkelbøjede Glasrør. Det ene af

disse Rør udmundede med den ene Ende i Niveau med Gummipropsens nederste vandrette Flade, medens den anden Ende sættes i Forbindelse med det ene Indsugningsrør paa en dobbeltvirkende Stempelluftpumpe, hvor det tilsvarende Udblæsningsrør stod i Forbindelse med en Vaskeflaske, som indeholdt titreret Syre. Pumpens Kapacitet pr. Stempel var 20.5 Liter Luft i Timen.

Den ene Ende af det andet vinkelbøjede Glasrør, som var anbragt i Gummipropen, førtes omtrent ned til Jordoverfladen i Erlenmeyerkolben, og den anden Ende blev sat i Forbindelse med to Vaskeflasker, hvoraf den ene indeholdt destilleret Vand, medens den anden indeholdt ca. 1 n Svovlsyre. Den Luft, der af Pumpen blev indsuget i Systemet, blev altsaa først befriet for ethvert Spor af Ammoniak i Vaskeflasken med 1 n Svovlsyre, for efter at have passeret Vaskeflasken med Vand at blive suget ned til Jordoverfladen i Erlenmeyerkolben. Derefter passerede Luften Pumpen og blev saa presset igennem et ca. 10 cm højt Vædskeleg af titreret Syre, hvori den frigjorte Ammoniak blev optaget; Ammoniakmængden bestemtes derpaa ved Tilbagetitrering. Gentagne Blindbestemmelser, hvoraf mange udførtes med Jord i Erlenmeyerkolben, viste, at denne Forsøgsanordning rensede den indsugede Luft fuldstændig for Ammoniak.

Der var ingen Grund til at tørre den Luft, som indsugedes i den beskrevne Forsøgsopstilling; tværtimod var det af Betydning, at den var fugtig, dels fordi det gjaldt om at bevare Jordens Fugtighed saa nogenlunde, medens Forsøget varede, dels fordi Luften altid er fugtig under Markforhold.

Undersøgelserne udførtes ved Stuetemperatur, der om Dagen paa de forskellige Aarstider svingede mellem 18° C og 25° C, sjældnere til 30° C. Om Vinteren var Nattertemperaturen i Laboratoriet ofte betydelig lavere end 18° C. Da Temperaturen har stor Indflydelse paa Ammoniakfordampningen, kan disse svingende Temperaturer vanskeliggøre en Sammenligning af Resultaterne fra forskellige Forsøgsserier, som blev udført med de samme Jorder, men ofte til meget forskellig Tid. Ogsaa indenfor den samme Forsøgsserie, udført over et længere Tidsrum, kan Temperatursvingninger besværliggøre en Sammenligning af Resultaterne (se især Tabel 8).

For i en Del Tilfælde at kunne kontrollere Jordens Reaktionsstal lige før og efter Forsøgets Begyndelse og Afslutning

var det nødvendigt, at der for hver Forsøgstid, Jordbehandling o. s. v. afvejedes en ny Portion Jord. I saadanne Tilfælde var det umuligt at udstrø Svovlsur Ammoniak paa helt samme Maade fra Gang til Gang o. s. v. Dette Usikkerhedsmoment har dog næppe været af særlig stor Betydning.

Naar Forsøgene gennemførtes over længere Tidsrum, dækkedes Jordoverfladen efterhaanden mere eller mindre med Skimmelsvamp. Dette Forhold har dog antagelig heller ikke paavirket Resultaterne i særlig Grad.

De forholdsvis lave Reaktionstal, som ofte maalttes i Jorden ved Forsøgenes Afslutning, se f. Eks. Tabellerne 2 og 5, skyldes formentlig delvis en Kulsyreproduktion; alene ved Tilsætning af Ammoniumsulfat til Jorden sænkes Reaktionstallet dog ret betydeligt (se desuden Side 518).

Ammoniaktabet fra Jord uden nævneværdigt Indhold af Kalciumkarbonat.

Til Undersøgelse af Spørgsmaalet om Ammoniaktabets Størrelse i Jord med forskelligt Reaktionstal benyttedes indledningsvis forskellige Jorder, hovedsagelig Lerjorder, med Reaktionstal som varierede fra 6 til 8, og som enten slet ikke indeholdt Kalciumkarbonat eller dog kun yderst smaa Mængder. I Tabel 1 er Indholdet af Kalciumkarbonat i de anvendte Jorder anført. Indholdet, som bestemtes efter Scheiblers Metode, er gennemgaaende ringe, kun fire Jorder indeholder over 0.4 Procent.

Ammoniaktabet blev bestemt i noget forskellige Tidsrum —

fra 4 til 12 Døgn. Førend Jorden overførtes til Erlenmeyerkolben fugtedes den, saaledes at Strukturen blev bekvem (Krummestruktur). Der blev udstrøet 75 eller 225 mg Ammoniumsulfat paa Jordoverfladen. I Tabel 2 er Resultaterne af denne Undersøgelse anført. Tabene er dels angivet som mg Ammoniumsulfat, dels omregnet til Procent. Sidstnævnte Om-

Tabel 1.
Indholdet af Kalciumkarbonat.

Løbe Nr. ell. Betegnelse	pCt. CaCO ₃	Løbe Nr. ell. Betegnelse	pCt. CaCO ₃
9164	0.1	9159	0.3
9170	0.1	9321	0.9
9174	0.5	2503	0.1
9180	0.2	7115	0.1
9176	1.1	4345	0.1
9166	0.1	9160	2.8
9168	0.0	Havejord	0.2
9214	0.3	Stokkemærke	0.4
9178	0.1	—	—

Tabel 2. Ammoniaktabet og Jordens Reaktionstal.

Løbe Nr.	Rt. i Jorden		Forsøgets Varighed, Døgn	mg (NH ₄) ₂ SO ₄ tilført	Tab af (NH ₄) ₂ SO ₄	
	Før	Efter			mg	pCt. NH ₃
9164.....	7.3	—	9	75	4.1	5.5
9170.....	7.7	—	9	75	4.6	6.1
9174.....	8.0	7.6	9	75	10.1	13.5
9180.....	7.9	7.2	9	75	7.1	9.5
9176.....	8.0	7.8	4 ^{1/2}	75	6.5	8.7
9166.....	7.2	7.0	4 ^{1/2}	75	2.1	2.8
9168.....	6.3	5.9	9	75	1.1	1.5
9214.....	7.7	7.4	8	75	6.1	8.1
9178.....	8.2	7.4	12	75	9.1	12.1
9159.....	8.3	7.8	8	75	7.5	10.0
9321.....	8.2	8.0	4	75	8.1	10.8
2503.....	7.6	7.5	4	75	3.0	4.0
7115.....	7.7	7.3	4	225	23.4	10.4
4345.....	7.4	—	5	225	13.9	6.2
Havejord...	6.7	—	4	225	6.7	3.0

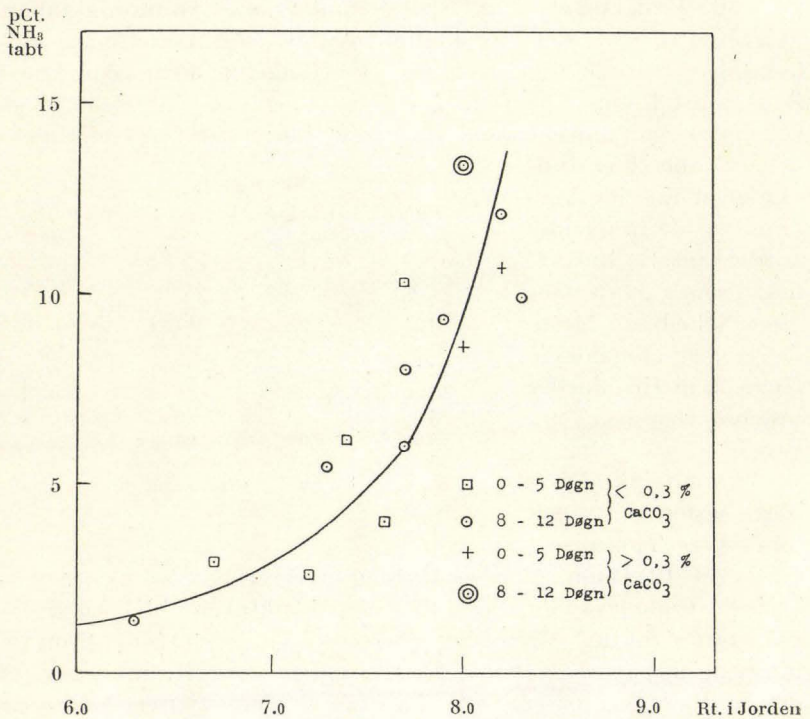


Fig. 1. Ammoniaktabet og Jordens Reaktionstal.

regningsmaade er benyttet dels for at lette Oversigten, dels fordi der i tre Tilfælde blev anvendt 225 mg Ammoniumsulfat i Stedet for 75 mg.

Af Tabellen ses det, at Tabet er størst ved de højeste Reaktionstal, og af Fig. 1 fremgaar det umiddelbart, at Tabet tiltager meget stærkt, hver Gang Reaktionstallet stiger med en Enhed. Selv om Forsøgene har været udført med Jorder af lidt forskellig Art (se senere) og med noget forskelligt Indhold af Kalciumkarbonat samt i forskellig Tid, ses det, at de eksperimentelle Data samler sig om en Kurve af den i Figur 1 anførte Type. Som det senere skal vises, stiller Sagen sig helt anderledes, naar Jorden indeholder større Mængder Kalciumkarbonat; under saadanne Forhold bliver Tabet betydelig større.

Til yderligere Eftervisning af Kurvens Forløb blev der udført nogle Undersøgelser med Jord fra et af Statens Forsøgs-virksomheds Kalkforsøg beliggende ved Stokkemærke. Der blev i 1942 udtaget Jordprøver i Forsøgsleddene 0 — 4000 — 8000 — og 32000 kg Kalciumkarbonat pr. ha. Jorden fra det Forsøgsled, der tilførtes 32000 kg Kalk, indeholdt 0.4 pCt. Kalciumkarbonat (se Tabel 1). Ammoniaktabet blev bestemt ved Udstrøning af 225 mg Ammoniumsulfat paa Overfladen af Jorden, som blev fugtet til Krummestruktur. Resultaterne af denne Undersøgelse er anført i Tabel 3 og grafisk gengivet i Fig. 2. Ved Sammenlig-

Tabel 3. Ammoniaktabet og Jordens Reaktionstal. Stokkemærke.

kg CaCO_3 pr. ha	Jordens Rt.	Forsøgets Varighed, Døgn	Tab af $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	
			mg	pCt. NH_3
0.....	6.9	4	6.1	2.7
4000.....	7.3	4	12.8	5.7
8000.....	7.7	4	29.3	13.0
32000.....	7.9	4	42.0	18.7
0.....	6.9	8	9.7	4.3
4000.....	7.3	8	18.8	8.4
8000.....	7.7	8	42.6	18.9
32000.....	7.9	8	60.8	27.0

ning af Kurverne i Figurerne 1 og 2 ses det, at de er af samme Type, ligesom ogsaa Ammoniaktabet er af nogenlunde samme Størrelsesorden.

Ved Indtørring paa Filtrerpapir (400 cm^2 Filtrerpapir; 90.1 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) af en Opløsning af Ammoniumsulfat i

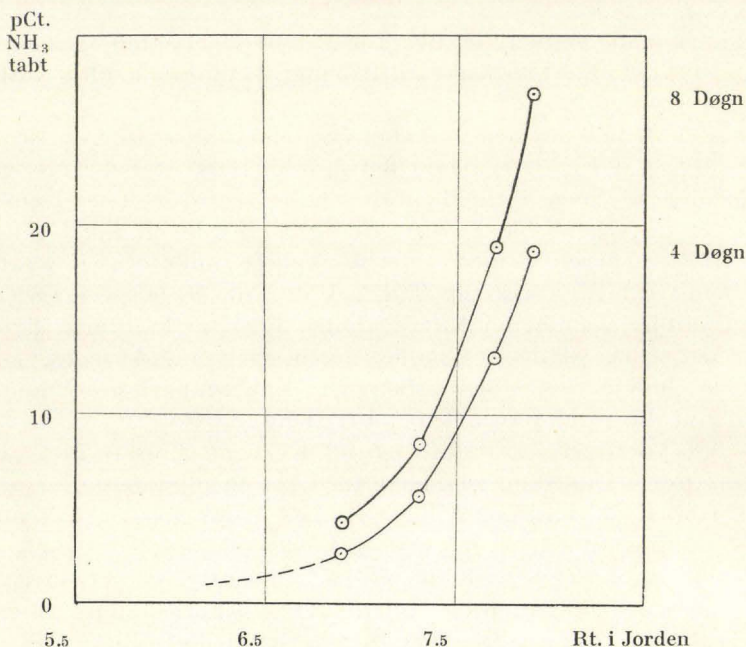


Fig. 2. Ammoniaktabet og Jordens Reaktionstal.
Stokkemærke.

Stødpudeblandinger med varierende p_H -Værdier fandt *Tovborg Jensen* (5) Ammoniaktab, som nogenlunde svarer til de Tab, der her er fundet efter Udstrøning af Ammoniumsulfat paa Jord med varierende Reaktionstal. Ogsaa Kurvetypen er den samme. I Tabel 4 er Resultaterne anført. Der gøres ikke opmærksom paa, hvor længe Filtrepapirets Indtørring varede; i den paa-gældende Sammenhæng var denne Oplysning ogsaa uden Be-tydning. Iøvrigt er det vel tvivlsomt,

Tabel 4. Ammoniaktabet (fra Filtrepapir) og Reaktionstallet (*Tovborg Jensens Data*)

Reak- tionstal	Tab af $(NH_4)_2 SO_4$	
	mg	pCt. NH_3
6.2	1.4	1.6
6.7	3.3	3.7
7.0	4.7	5.2
7.6	5.2	5.8
8.2	12.7	14.1

at Ammoniakfordampningen ophø-
rer helt, fordi Filtrepapiret bliver
lufttørt. Hvis der regnes med en
Henstand af Filtrepapiret i ca. 4
Døgn er det antagelig nogenlunde
rigtigt.

Det hidtil anførte viser, at Am-
moniaktabet i de første 4 til 8 Døgn
fra en Jord, der praktisk taget ikke
indeholder Kalciumkarbonat, er for-
svindende lille, naar Jordens Reak-

tionstal ligger omkring 6. Først ved Reaktionstal fra 7.5 begynder Ammoniaktabet at antage saadanne Værdier, at det maa antages at være af praktisk Betydning. Det skal dog allerede her anføres, at hvis Eksperimenterne udstrækkes over betydeligt længere Tidsrum, bliver Tabene meget større ogsaa ved lavere Reaktions-tal, et Forhold som vi senere skal komme tilbage til.

De fundne Tal for Ammoniaktabets Afhængighed af Jordens Reaktionstal er i god Overensstemmelse med Teoriens Fordringer. I Henhold til Ligning (4) findes ved p_H -Værdien 6 kun ca. $\frac{1}{3000}$ af det tilstedeværende Kvælstof som Ammoniak. Ved p_H -Værdien 7.5 forekommer ca. $\frac{1}{97}$ af det tilstedeværende Kvælstof som Ammoniak, saaledes at Ammoniaktabet her er betydelig større. Hvis man endvidere paa Grundlag af de eksperimentelle Data i Tabel 3 beregner Logaritmen til Forholdet mellem den bortdampede Ammoniak og den tilbageværende Ammoniumion, og derpaa afsætter disse Størrelser som Funktion af Reaktionstallet, finder man rette Linier med Hældningskoefficienter paa 0.95 og 0.96 for Forsøgstider paa henholdsvis 4 og 8 Døgn. Denne Hældningskoefficient er teoretisk 1 (se Ligning (4)).

Det var en fristende og nærliggende Tanke at benytte Tallene i Tabel 2 til Beregning af Størrelsesordenen af Kvælstof-tabet i de første 4 til 8 Døgn under Markforhold. De Betingelser, hvorunder Laboratorieundersøgelserne er udført er dog, selv bortset fra Nedbørsforholdene, en Del afvigende, især hvad angaar Temperaturen, idet der under Markforhold i Almindelighed forekommer noget lavere Temperaturer nede i Jorden i Foraarstiden, hvor den meste Gødning udstros. Paa Jordoverfladen kan Temperaturen dog være højere. Man vil derfor i Laboratoriet finde noget højere Værdier for Ammoniaktabet end i Marken. Paa den anden Side er Luftcirkulationen i Almindelighed betydelig kraftigere under Markforhold, end den var i Laboratoriet. Selv om Vindhastigheden har nogen Betydning, er det imidlertid et Spørgsmaal, om den er af særlig dominerende Betydning for Ammoniakfordampningen, naar Svovlsur Ammoniak som her, er anbragt paa Jordens Overflade. Ammoniakens Partialtryk vil nemlig alene paa Grund af Ammoniakens ringe Vægtfylde i Forhold til atmosfærisk Luft, hurtigt og effektivt nedsættes til praktisk taget Nul lige over Jordoverfladen. Paa den anden Side, selv om Svovlsur Ammoniak ud-

strøes paa Jordoverfladen, vil den hurtigt opløses og trænge et lille Stykke ned i Jorden; naar Vinden under saadanne Forhold stryger hen over Jordoverfladen, vil den maaske kunne medvirke til en Nedsættelse af Ammoniaktrykket i alle de smaa Hulrum mellem Jordpartiklerne.

Hvorvidt Kurverne i Figur 1 og 2 angiver Størrelsesordenen af Ammoniaktabet i de første 4 til 8 Døgn i Marken, vil imidlertid kunne bestemmes ved Markforsøg. Forholdsvis faa, men sikre Markforsøg udførte ved forskellige Reaktionstal, skulde derefter muliggøre en Forudsigelse af Ammoniaktabets Størrelse ved ret simple Beregninger. Markforsøgets Muligheder i denne Retning vil senere blive diskuteret. Det er imidlertid givet, at Ammoniaktabet ogsaa i Marken vil stige meget stærkt med stigende Reaktionstal. Det er dog selvfølgelig vanskeligt at vurdere Tabets absolutte Størrelse under Markforhold ved Hjælp af Laboratorieundersøgelser; derimod kan man være sikker paa, at Ammoniaktabets Afhængighed af Reaktionstallet gengives af Figurene 1 og 2.

Ammoniaktabet fra Jord som indeholder Kalciumkarbonat.

I Afsnittet, der omhandler teoretiske Forhold af særlig Betydning for Ammoniakfordampningen, blev det anført, at det var sandsynligt, at Ammoniaktabet indenfor et givet Tidsrum var særlig stort fra Jorder, som indeholdt betydelige Mængder Kalciumkarbonat, fra 2 pCt. til 10 pCt. og derover. De Brintioner, som dannes under Ammoniakkenes Bortdampning neutraliseres nemlig effektivt i en Jord, som indeholder fint fordelt Kalciumkarbonat, hvorved det hindres, at Ammoniakkoncentrationen og Ammoniaktrykket af den Grund nedsættes under Ammoniakkenes Bortdampning. I Modsætning hertil vil Reaktionstallet falde meget stærkt (lokalt — omkring de enkelte — opløste — Krystaller af Ammoniumsulfat) i en Jord med meget ringe Stødpude. Se ogsaa Siderne 518 og 523.

For nærmere at undersøge Kalciumkarbonatets Betydning for Ammoniaktabets Størrelse blev der til Orientering foretaget Bestemmelser af Tabet, dels fra en Kalkjord (9160, Ler), dels fra to Sandjorder (7115 og T 32), som tilsattes Kalciumkarbonat. I den ene af de sidst nævnte Jorder indblandes Kalken i forskellig Finhed og i to forskellige Former. Den præ-

Tabel 5.

Ammoniaktabet og Jordens Indhold af Kalciumkarbonat.

Løbe Nr.	Rt. i Jorden		Tilført CaCO_3		Tab af $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	
	Før	Efter	Procent	Art og Finhed	mg	pCt. NH_3
7115....	7.7	7.3	0	—	24.2	10.8
7115....	7.7	7.2	0	—	22.7	10.1
7115....	7.7	—	0	—	23.3	10.4
7115....	7.7	7.8	10	Faksekalk, 1—3 mm	85.6	38.0
7115....	7.7	7.9	10	Præcipiteret Kalk	101.2	45.0
7115....	7.7	7.8	10	Faksekalk, 0.1—1 mm	106.2	47.2
7115....	7.7	7.9	10	Præcipiteret Kalk	84.6	37.6
9160....	7.9	—	2.8	Kalkholdig Jord	57.0	25.3
9160....	7.9	7.8	2.8	do.	53.4	23.7
9160....	7.9	7.6	2.8	do.	65.5	29.1
T 32 ...	7.4	—	0	—	13.9	6.2
T 32 ...	8.1	8.0	50	Præcipiteret Kalk	131.9	58.6
T 32 ...	8.1	8.0	10	do.	99.8	44.4

cipiterede Kalk er et støvfint Produkt. I Tabel 5 er Resultaterne af denne Undersøgelse anført.

Undersøgelserne udførtes i øvrigt paa den Maade, at Jorden, som blev fugtet til Krummestruktur, tilførtes 225 mg Svovlsur Ammoniak paa Overfladen; Ammoniaktabet blev maalt efter 4 Døgns Forløb. Af Tabellen ses det, at Indblanding af større Mængder Kalciumkarbonat øger Ammoniaktabet meget betydeligt. Ved Indblanding af 10 pCt. Kalciumkarbonat i Jord Nr. 7115 stiger Tabet fra 10 pCt. til ca. 40 pCt. uafhængigt af den tilførte Kalkform og de to Finhedsgrader. Jord Nr. 9160 indeholder fra Naturens Haand 2.8 pCt. Kalciumkarbonat; her har Tabet været noget mindre, fra 25 pCt. til 30 pCt. Af Tabellen fremgaar det yderligere, at Ammoniaktabet ikke stiger i samme Grad som Jordens Indhold af Kalciumkarbonat øges (T 32).

En Bestemmelse af Ammoniaktabets Størrelse ved et Indhold af Kalciumkarbonat paa 50 pCt. havde selvfølgelig i Hovedsagen kun teoretisk Interesse, idet Jorder med et større Indhold af Kalciumkarbonat end 10 pCt. er forholdsvis sjældne; i alle Tilfælde findes de kun indenfor de saakaldte Kalkjorders Omraader f. Eks. paa Stevns og Møen, i Lammefjord og i forskellige andre udtørrede Fjordarealer, Vige og Søer samt ved Aalborg.

Det kan i Henhold til disse Undersøgelser ikke anses for udelukket, at Ammoniaktabet ved Udstrøning af Svovlsur Ammoniak ovenpaa kalkholdige Jorder i Løbet af 1 til 2 Uger vil naa Værdier, der selv under Markforhold kan blive større end 50 pCt.

Da der ikke er Tvivl om, at Ammoniaktabet er størst fra kalkholdige Jorder, var det især under saadanne Forhold af stor Interesse at undersøge, hvilke øvrige Omstændigheder der især var bestemmende for Ammoniaktabets Størrelse. De her henhørende Problemer behandles i det følgende Afsnit, baade for kalkholdige og ikke kalkholdige Jorder.

Ammoniaktabets Afhængighed af Tiden og Jorddækningen.

Til Indledning blev der foretaget Undersøgelser over Ammoniakfordampningens Hastighed i ikke kalkholdige Jorder. Vi kan først se paa de tidligere i Tabel 3, Side 525 refererede Resultater opnaaet med Jordprøver fra Kalkforsøget ved Stokke-

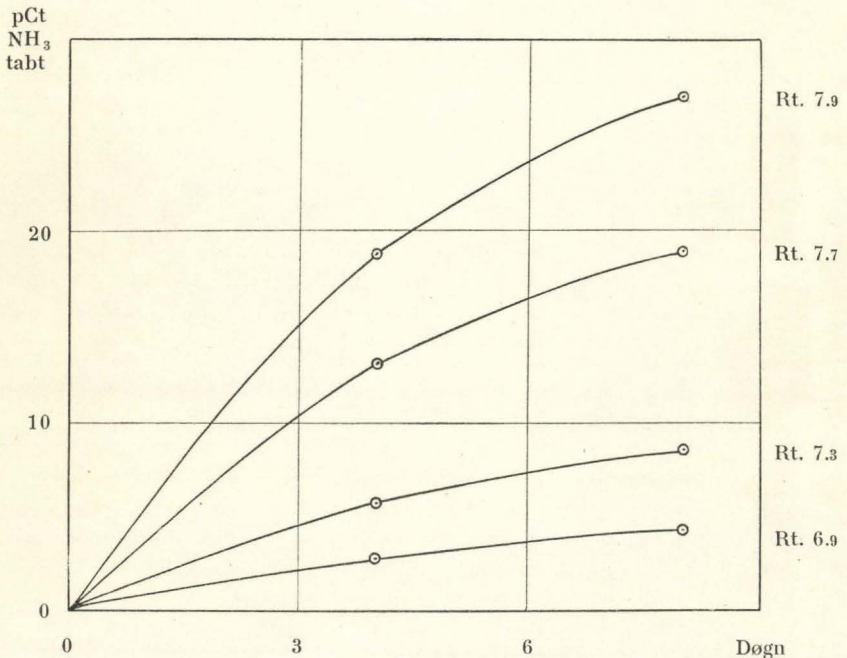


Fig. 3. Ammoniaktabets Afhængighed af Tiden.
Stokkemærke.

marke. Jordprøven udtaget i det Forsøgsled, der havde faaet tilført den største Kalkmængde, indeholdt 0.4 pCt. Kalciumkarbonat (se Tabel 1).

Resultaterne, der er opført grafisk i Figur 3, viser i Overensstemmelse med det tidligere anførte, at Ammoniaktabet er størst ved Reaktionstallet 7.9. Den Ammoniakmængde, der forsvinder pr. Tidsenhed, formindskes imidlertid stadig, dels fordi Ammoniumionkoncentrationen og dermed Ammoniakkoncentrationen formindskes ved Ammoniakkens stadige Bortdampning, dels fordi Reaktionen, som nævnt, bliver mere og mere sur, hvilket yderligere nedsætter Ammoniakkoncentrationen og dermed Ammoniaktrykket. Endelig maa som nævnt ogsaa Nitrikationen m. m. være medvirkende til en Nedsættelse af Ammoniaktabet som Funktion af Tiden.

Af Kurverne i Figur 3 ses det umiddelbart, at der fortsat efter de første 8 Døgn maa foregaa et betydeligt Ammoniaktab. For yderligere at undersøge Ammoniaktabets Afhængighed af Tiden blev dets Forløb derfor maalt i en Periode paa 28 Døgn med 4 Døgn Mellemrum.

Ved denne Undersøgelse benyttedes de samme Jordprøver fra Kalkforsøget i Stokkemarke (0 og 32000 kg CaCO_3), og der udstrøedes som sædvanlig 225 mg Ammoniumsulfat paa Overfladen af den fugtede Jord. Af Tabel 6 fremgaar det, hvorledes der efter Forløbet af længere Tidsrum foregaa et ret betydeligt Ammoniaktab selv ved Reaktionstal omkring 7. Ved dette

Tabel 6. Ammoniaktabets Afhængighed af Tiden. Stokkemarke.

Antal Døgn	0 Tons CaCO_3 pr. ha Rt. 6.9		32 Tons CaCO_3 pr. ha Rt. 7.9	
	Tab af $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$		Tab af $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	
	mg	pCt. NH_3	mg	pCt. NH_3
4	7.2	3.2	58.9	26.2
8	14.9	6.6	87.5	38.9
12	18.7	8.3	104.1	46.3
16	21.6	9.6	114.6	50.9
24	25.8	11.5	123.1	54.7
28	26.8	11.9	125.1	55.6

bet kan altsaa være

endog meget betydeligt fra Jorder, der ikke indeholder nævneværdige Mængder Kalciumkarbonat. Det skal senere vises, at netop denne Jord har en meget betydelig Stødpudeevne overfor

Syre. Det fortjener dog her at anføres, at Jordens Reaktionstal var faldet meget efter 28 Døgn's Forløb. I Jordprøven fra Forsøgsleddet uden Tilførsel af Kalciumkarbonat var Reaktions-tallet saaledes 6.2, medens det i Jordprøven fra Forsøgsleddet med den største Kalkmængde var faldet til 7.2.

En Sammenligning af Resultaterne i Tabellerne 3 og 6 viser, at de i Tabel 6 anførte Tab er en Del større end Tabene anført i Tabel 3. Dette beror antagelig i første Række paa, at de Forsøg, hvis Resultater findes i Tabel 6, blev udført om Sommeren ved Temperaturer, der om Dagen svingede mellem 25⁰ og 30⁰ C, altsaa meget høje Temperaturer.

Som anført i Afsnittet om de teoretiske Forhold vil en Tildækning af Svovlsur Ammoniak med et Jordlag antagelig kunne formindske Ammoniaktabet meget betydeligt, eventuelt fuldstændig hindre det.

Til Belysning af dette Spørgsmaal anvendtes de samme to Jordprøver fra Stokkemark (0 og 32000 kg CaCO₃ pr. ha). Der anbragtes 225 mg Ammoniumsulfat paa Erlenmeyerkolbens Bund, som derpaa dækkedes med et 6 cm (»Nedpløjning«) højt Jordlag (210 g lufttør Jord). Jorden var som sædvanlig fugtet, indtil den antog Krummestruktur.

Ammoniaktabet maalttes efter 4 og 12 Døgn. Af Tabel 7 fremgaar det, at der overhovedet ikke kunde konstateres noget

Tabel 7.
Ammoniaktab og Jorddækning.
6 cm Jord. Stokkemark.

Antal Døgn	0 ⁰ Tons CaCO ₃ pr. ha Rt. 6.9	32 Tons CaCO ₃ pr. ha Rt. 7.9
	Tab i Procent	
4	0	0
12	0	0

Ammoniaktab ved en saadan Tildækning af Gødningen, medens Tabet ved det højeste Reaktionstal var ca. 46 pCt. efter 12 Døgn's Forløb, naar Gødningen laa paa den fugtige Jords Overflade.

Disse Undersøgelser har saaledes uomtvistelig vist, at Kvælstoftabet fra

Jord, som praktisk taget ikke indeholder Kalciumkarbonat, men hvis Reaktionstal ligger omkring 8, kan være meget betydeligt. Maalt i Laboratoriet steg Tabet i de første 2 Uger helt op til 50 Procent. Ogsaa ved lavere Reaktionstal er der et ganske antageligt Tab (se Tabel 3, Side 525). Dette Tab nedsættes til Nul, hvis Gødningen straks efter Udbringningen dækkes med et ordentligt Jordlag.

Som nævnt var det desuden af særlig Interesse at undersøge Tidens og Jorddækningens Indflydelse paa Ammoniaktabet under Forhold, hvor Jorden indeholdt stigende Mængder Kalciumkarbonat. Ved disse Undersøgelser anvendtes Jorden dels i

Tabel 8. Ammoniaktabets Afhængighed af Tiden, Kalkindhold, Fugtighedsgrad og Jorddækning.

Forsøgets Varighed	Fugtig Jord						Lufttør Jord					
	Overflade			Dækning			Overflade			Dækning		
	Rt.	Tab af (NH ₄) ₂ SO ₄		Rt.	Tab af (NH ₄) ₂ SO ₄		Rt.	Tab af (NH ₄) ₂ SO ₄		Rt.	Tab af (NH ₄) ₂ SO ₄	
		mg	pCt. NH ₃		mg	pCt. NH ₃		mg	pCt. NH ₃		mg	pCt. NH ₃
0 pCt. CaCO ₃												
4 Døgn .	6.8	6.7	3.0	6.9	1.7	0.8	6.8	8.3	3.7	7.0	1.0	0.4
2 do. .	6.8	5.8	2.6	7.0	1.7	0.8	6.6	4.2	1.9	7.0	0.4	0.2
1 do. .	6.8	4.5	2.0	6.9	0.4	0.2	6.8	3.6	1.6	6.9	1.3	0.6
12 Timer.	6.8	3.2	1.4	6.9	0.7	0.3	6.8	3.6	1.6	6.9	1.0	0.4
6 do. .	6.8	2.3	1.0	6.9	0.6	0.3	6.8	0.7	0.3	6.8	1.0	0.4
1 pCt. CaCO ₃												
4 Døgn .	7.7	62.2	27.6	7.7	48.8	21.7	7.7	18.6	8.3	7.7	17.5	7.8
2 do. .	7.7	28.6	12.7	7.7	34.9	15.5	7.5	15.6	6.9	7.6	15.0	6.7
1 do. .	—	—	—	7.8	28.6	12.7	7.5	14.0	6.2	7.6	15.8	7.0
12 Timer.	7.8	17.8	7.9	7.7	12.8	5.7	7.5	9.9	4.4	7.5	8.9	4.0
6 do. .	7.7	9.3	4.1	7.7	7.3	3.2	7.6	3.8	1.7	7.3	2.9	1.3
10 pCt. CaCO ₃												
16 Døgn .	—	159.9	71.1	—	120.0	53.3	—	134.4	59.7	—	118.2	52.5
8 do. .	—	136.7	60.8	—	101.3	45.0	—	126.0 ¹⁾	56.0	—	105.8 ¹⁾	47.0
4 do. .	—	106.6	47.4	—	67.4	30.0	—	99.0	44.0	—	63.9	28.4
2 do. .	—	73.9	32.8	—	37.3	16.6	—	68.9	30.6	—	18.6	8.3

¹⁾ 9 Døgn.

lufttør Tilstand, dels fugtet til Krummestruktur. Der blev benyttet en lermuldet Havejord uden Indhold af Kalciumkarbonat (se Tabel 1). Efter at være tørret, sigtet og blandet deltes den i tre Portioner. Den ene Portion tilførtes ingen Kalciumkarbonat, til den anden Portion blev der sat 1 pCt. og til den tredje Portion 10 pCt. Kalciumkarbonat. Fremgangsmaaden var iøvrigt som beskrevet i Afsnittet, der omhandler Metodikken. Der tilførtes som sædvanlig 225 mg Ammoniumsulfat.

Af Tabel 8 fremgaar det, at Dækning med et Jordlag paa

ca. 1 cm har nedsat Tabet ret betydeligt baade for fugtig og for lufttør Jord. Ogsaa ved et Indhold paa 1 pCt. Kalciumkarbonat i Jorden er det tydeligt, at Dækning med et let Jordlag gennemgaaende har nedsat Tabet, forholdsvis dog ikke nær saa meget, som naar Jorden ikke indeholder Kalciumkarbonat. Endvidere ses det, at Tabet er større i den fugtige end i den lufttørre Jord.

Ved et Indhold paa 10 pCt. Kalciumkarbonat udstraktes Forsøget til 8 og 16 Døgn. Jorddækning nedsatte Tabet i de første fire Døgn. Resultaterne viser imidlertid, at denne Forskel udlignedes i det 8. og især i det 16. Døgn, antagelig fordi Ammoniakkoncentrationen i Begyndelsen formindskes betydelig stærkere, naar Gødningen ligger ovenpaa Jorden, end naar den er dækket med et tyndt Jordlag. Ogsaa ved dette Indhold af Kalciumkarbonat tyder Tallene paa, at Ammoniaktabet gennemgaaende er størst fra den fugtige Jord, men Forskellen er ikke stor.

Som Helhed viser ogsaa denne Undersøgelse, at stigende Indhold af Kalciumkarbonat giver stigende Tab. Undersøgelsen viser desuden, at Forskellen i Tabets Størrelse ved enten at anbringe Ammoniumsulfatet ovenpaa Jorden eller ved at dække det med et tyndt Jordlag udlignes med Tiden i den stærkt kalkholdige Jord. Endvidere er Tabet gennemgaaende størst for den fugtige Jord, naar Gødningen anbringes ovenpaa Jorden. Dette beror antagelig paa, at det opløste Ammoniumsulfat trænger dybere ned i den tørre Jord, hvor de enkelte Jordpartikler desuden ligger betydelig tættere sammen (Tromlings Betydning) end i den til Krummestruktur fugtede Jord, saaledes at Ammoniakkens Diffusionshastighed herved formindskes. Det maa her erindres, at den Luft, der ledes igennem det benyttede Apparat, ikke blev tørret. Det kunde da ogsaa altid iagttages, at de Krystaller af Ammoniumsulfat, der udstrøedes oven paa Jorden, opløstes og flød ned i Jorden i Løbet af en Timestid, praktisk taget uden Hensyn til Jordens Fugtighedsgrad.

Tabel 9. Ammoniaktab og Jorddækning.

6 cm Jord. Havejord. 10 pCt. CaCO_3 .

Antal Døgn	Tab i pCt.; lufttør Jord	Tab i pCt.; fugtig Jord	Reaktionstal efter Forsøgsperiodens Slutning (12 Døgn)
4	0	0	Fugtig Jord: . . . 7.4
12	0	0	Tør Jord: . . . 7.5

For at undersøge om Ammoniaktabet ogsaa kunde nedsættes til 0 i Jord, som indeholdt 10 pCt. Kalciumkarbonat, hvis Gødningen dækkedes med et Jordlag paa 6 cm, blev den samme lermuldede Havejord anvendt i et Forsøg, som fuldstændig svarede til det, der er beskrevet Side 532. Resultaterne i Tabel 9 viser, at Ammoniaktabet var 0, enten Jorden var fugtig eller lufttør. Ved Sammenligning med Resultaterne i Tabel 8 ses det, at Tabet i 16 Døgn falder fra ca. 70 pCt. til 0 pCt. ved en saadan Tildækning af Gødningen med Jord. Selv ved et Kalkindhold i Jorden paa 10 pCt. forhindres Ammoniaktabet altsaa fuldstændig, naar blot Gødningen dækkes med et passende tykt Jordlag. Dækning med et Jordlag paa 1 cm (»let Nedharvning«) giver ved et saa stort Indhold af Kalciumkarbonat praktisk taget ingen Beskyttelse mod Ammoniaktab, medens et saadant Jordlag ved et betydeligt lavere Kalkindhold dog er af nogen Betydning. Undersøgelserne viser saaledes, at den forholdsvise Formindskelse af Ammoniaktabet ved Dækning med et Jordlag paa 1 til 1½ cm er stigende med faldende Kalkindhold i Jorden.

Ammoniaktab fra forskellige Jordarter.

Hvis Svovlsur Ammoniak udbringes ovenpaa Jorden, vil det i Henhold til det foregaaende være klart, at Jordens p_H -Værdi og dens Stødpudeevne overfor Brintion er af allerstørste Betydning for Ammoniaktabets Størrelse. Ved samme p_H -Værdi vil derfor svære Lerjorder gennemgaaende foraarsage det største Tab, fordi de i Almindelighed tilføres mest Kalk. Selvfølgelig har de samtidig et stort Kolloidindhold, og deres Stødpudeevne overfor Brintion er derfor baade paa Grund af det gennemgaaende store Kalkindhold og paa Grund af deres store Kolloidindhold betydelig større end for de helt lette, humusfattige Sandjorder. Der maa saaledes ganske utvivlsomt ved samme p_H -Værdi være Forskel paa Ammoniaktabet fra typiske, svære Lerjorder og fra meget lette, humusfattige Sandjorder; denne Forskel hidrører vel dels fra Jordarten som saadan, men dels og antagelig især fra, at disse to vidt forskellige Jordarter i Almindelighed tilføres meget forskellige Mængder Kalciumkarbonat.

Det er imidlertid en kendt Sag, at en Karakterisering af Jordens Stødpudeevne overfor Brintion ikke er givet ved blot at bestemme Indholdet af Kalciumkarbonat. Til

Tabel 10. Jordernes Stødpudeevne overfor Brintion. 20 g Jord.

Løbe Nr.	Reaktionstal og Syremængder ¹⁾						
	0	10	20	30			
9164.....	7.31	6.17	5.37	4.66			
9170.....	7.04	6.26	5.53	4.89			
9174.....	7.67	6.60	5.87	4.72			
9180.....	7.45	6.92	5.83	4.28			
9176.....	7.87	7.28	6.43	5.88	85 5.00	140 4.04	180 3.36
9166.....	7.21	6.36	5.58	4.66			
9168.....	6.26	5.10	4.21	3.54			
9214.....	7.57	6.95	5.82	4.02			
9178.....	8.04	6.57	4.91	3.57			
9159.....	7.59	7.18	6.07	5.03			
9321.....	7.95	7.52	6.45	5.28			
7115.....	7.40	6.18	5.22	3.17			
9160.....	7.96	7.61	7.14	6.79			
Havejord.....	6.81	5.63	5.02	4.65			
Stokkemarken	8.06	7.41	7.13	6.05	75 3.87	90 3.20	

¹⁾ Det øverste Tal i de vandrette Kolonner angiver den anvendte Mængde 0.03 n Saltsyre.

fuldstændig Karakterisering er det nødvendigt at optage Titre-ringskurver, d. v. s. bestemme Jordens Stødpudeevne overfor Syre i et større p_H -Omraade. Resultatet af en saadan Under-søgelse findes i Tabel 10. Det vil ses, at Stødpudeevnen overfor Brintion netop i de Jorder, der indeholder Kalciumkarbonat (se Tabel 1) gennemgaaende er særlig stor. Men ved Sammen-ligning af Jord Nr. 9160, som indeholder 2.8 pCt. Kalciumkar-bonat med Jorden fra Stokkemarken (32000 kg CaCO_3), som

kun indeholder 0.4 pCt. Kalciumkarbonat, ses det dog, at der her i begge Tilfælde forefindes en meget betydelig Stødpudeevne i p_H -Omraadet 7.0 til 8.0. I førstnævnte Tilfælde skyldes dette imidlertid i overvejende Grad Kalciumkarbonat, medens det i sidstnævnte Tilfælde især forårsages af Jordkolloidernes særlige Beskaffenhed. Da Reaktionstallene i disse to Jorder er ens (se Tabellerne 3 og 5) er Ammoniaktabene samtidig et tilnærmet Maal for Jordens Stødpudeevne overfor Syre. Vi finder da ogsaa i Samklang med den meget store Stødpudeevne i begge disse Jorder samme meget store Ammoniaktab efter 4 Døgn (sammenlign Tabellerne 5 og 6). Dette Ammoniaktab er endvidere af en helt anden Størrelsesorden end for de øvrige Jorder med betydelig mindre Stødpudeevne, men med nogenlunde samme Reaktionstal. Det maa her bemærkes, at Undersøgelser udførte med Jordprøver fra Stokkemarke (32000 kg CaCO_3) og Rønhave har vist, at det procentiske Ammoniaktab maalt i 2., 4., 6. og 8. Døgn er ret upaavirket af, om der tilføres 75, 150 eller 225 mg Svovlsur Ammoniak (60 g Jord).

Ved en bestemt p_H -Værdi er det altsaa ikke Jordens Indhold af Kalciumkarbonat eller Jordarten i sig selv, der er af afgørende Betydning for Ammoniaktabets Størrelse; det afgørende er simpelthen Jordens Stødpudeevne overfor Brintion. Der findes formentlig adskillige Jorder, som uden at indeholde betydelige Kalkmængder har en stor Stødpudeevne overfor Brintion i p_H -Omraadet fra 7 til 8. Naar saadanne Jorder samtidig har et højt Reaktionstal vil Tabet blive særligt stort.

Skal man altsaa ved samme Reaktionstal vurdere Mulighederne for Ammoniaktab i to Jorder, er Kendskab til deres Indhold af Kalciumkarbonat et godt Holdepunkt, medens Jordarten i sig selv under danske Forhold er et ret vagt Holdepunkt. Det helt afgørende Holdepunkt for Vurderingen faas først ved Kendskab til Jordernes Stødpudeevne overfor Brintion.

3. Bestemmelse af Ammoniaktabet ved Markforsøg.

Der foreligger kun meget faa Resultater fra Markforsøg, som i deres Anlæg tilsigtede en Bestemmelse af Ammoniaktabet ved Udbringning af Svovlsur Ammoniak til forskellig Dybde. *Warrington* (1) og *Wagner* (2) har sammenlignet Udbyttetallene efter Udbringning af samme Kvælstofmængde i Chilesalpeter og Svovlsur Ammoniak og paa dette Grundlag sandsynliggjort,

at der sker et Ammoniaktab. Det er dog indlysende, at der mod denne Fremgangsmaade kan rejses betydelige Indvendinger. Først og fremmest sammenlignes to vidt forskellige Gødningsstoffer, men hertil kommer ikke mindst, at Chilesalpeter desuden indeholder Plantenæringsstoffet Natrium. Imidlertid, hvis de allerfleste Afgrøder f. Eks. i kalkholdig Jord giver større Merudbytte for Chilesalpeter end for Svovlsur Ammoniak, støtter det dog Antagelsen om, at Ammoniaktabet ogsaa er af Betydning under Markforhold.

Wagner (2) inddelte saaledes et større Markforsøgsmateriale i to store Grupper. I den ene Gruppe (64 Forsøg) var Indholdet af Kalciumkarbonat under 0.25 pCt. og Virkningsforholdet for Svovlsur Ammoniak var gennemsnitlig 80 (Chilesalpeter = 100). I den anden Gruppe (62 Forsøg) var Indholdet af Kalciumkarbonat større end 0.25 pCt. og Virkningsforholdet for Svovlsur Ammoniak i Gennemsnit 63. Nogle enkelte Laboratorieundersøgelser udførte af *Hals* (2) og publicerede af *Wagner* gav Resultater, der var i Samklang med Markforsøgenes Resultater. I kalkholdig Jord maalttes i Løbet af 5 Døgn Tab, der svingede fra 20 pCt. til 40 pCt. Ogsaa *Schneidewind* (6) har ved en enkelt Laboratorieundersøgelse vist, at Tabet ved et Indhold af Kalciumkarbonat i Jorden paa 0.9 pCt. i Løbet af 112 Timer steg til ca. 21 pCt., naar der tilførtes Svovlsur Ammoniak i en Mængde, der svarede til 226 kg pr. ha. Ved Indblanding af Superfosfat i Forholdet 1 Del N til 1 Del P_2O_5 faldt Tabet i samme Tidsrum iøvrigt til ca. 5 pCt. For en anden Jord steg Ammoniaktabet i ca. 11 Døgn til omtrent 31 pCt.

Schneidewind (6) anstillede desuden Markforsøg, der direkte tog Sigte paa at bestemme Værdien af Svovlsur Ammoniak ved forskellig Nedbringningsdybde eller Jorddækning. Han fandt, at Merudbyttet i en Jord med 0.9 pCt. Kalciumkarbonat var betydelig større, naar Gødningen blev nedbragt, end naar den anbragtes ovenpaa Jorden.

Waringtons, *Wagners* og *Schneidewinds* Undersøgelser har som Helhed været ret upaaagtede, muligvis fordi der, som anført i Indledningen, samtidig fremkom andre Resultater fra Markforsøg, der ikke med Sikkerhed kunde fastslaa, at der foregik et saadant Ammoniaktab. Antagelig har man dengang ikke altid været opmærksom paa, at det maalelige Tab især fremkom i Jorder, der indeholdt større Mængder Kalciumkarbonat, hvortil kom, at man ikke som i vore Dage var i Stand

til at kontrollere Jordens Surhedsgrad. Dette har selvfølgelig bevirket, at et stort Antal af Forsøgene, maaske de allerfleste, er blevet lagt paa Jord, hvor Tabet vel var maaleligt i Laboratoriet, men hvor det i Betragtning af Markforsøgenes Nøjagtighed slet ikke med Sikkerhed har kunnet lade sig gøre at konstatere Ammoniaktabet gennem en Formindskelse af Merudbyttets Størrelse.

Hertil kommer endvidere, at vi med vore Dages Viden om Svovlsur Ammoniaks indirekte Mikronæringsstofvirkning kan sige, at man paa den Tid meget ofte maa have lagt Forsøgene paa kalkholdige Jorder uden tilsyneladende at kunne konstatere noget Kvælstoftab, fordi Jorderne samtidig var mangan- og (eller) bormanglende.

Det maa nemlig erindres, at Kvælstoftabet ved Ammoniakfordampning ikke kan maales ved Merudbyttets eller f. Eks. Kvælstofmeroptagelsens Størrelse, hvis der samtidig forekommer Mangan- og Bormangel. Under saadanne Forhold vil den indirekte Mangan- og Borvirkning, som Svovlsur Ammoniak udøver, let kunne tilsløre det Kvælstoftab, der faktisk foregaar ogsaa paa saadanne Jorder. Kun paa svære Jorder med højt Reaktionstal, et eventuelt Indhold af Kalciumkarbonat og uden Forekomst af Mangan- og Bormangel, vil man kunne anstille den Slags Forsøg med Haab om at faa et nogenlunde sandt Udtryk for Ammoniaktabets Størrelse under Markforhold. Anstilles Forsøgene paa let, sandet Jord, hvor man har den mindste Mistanke om Mangan- og Bormangel, maa der, hvis man ønsker at bestemme Ammoniaktabet, grundgødes med Mangan-sulfat og Borax.

Ved de i Indledningen omtalte danske Markforsøg til Sammenligning af Kvælstofgødningernes Værdi fandt *Iversen* (3) en i denne Forbindelse interessant Forskel paa Værdiforholdet mellem Chilesalpeter og Svovlsur Ammoniak ved Hornum og Stokkemarke. Ved Statens Forsøgsstation i Hornum (Sandjord), hvor der ofte forekommer Mangan- og Bormangel, nærmede Værdiforholdet sig 1, medens Svovlsur Ammoniak ved Stokkemarke havde en betydelig ringere Værdi. Ved Stokkemarke (svær Lerjord) er der ingen Muligheder for indirekte Mangan- og Borvirkning, men der er — som Laboratorieundersøgelserne har vist — Mulighed for særlig store Ammoniaktab.

Undersøgelserne over Ammoniaktabet fra kvælstofholdige Handelsgødninger fortsættes. Orienterende Undersøgelser har vist, at Ammoniaktabet fra Kalkkvælstof i Løbet af 24 Døgn kan stige til ca. 50 pCt., naar Gødningen udstrøs ovenpaa Jorden. I en følgende Afhandling vil der blive gjort nærmere Rede for de Faktorer, som regulerer dette Ammoniaktabs Størrelse.

Oversigt.

Laboratorieundersøgelserne, der er udført ved Stuetemperatur, har vist, at Jordens Reaktionstal er af dominerende Betydning for Ammoniaktabet fra Svovlsur Ammoniak udstrøet ovenpaa Jorden.

Ved Anvendelse af Svovlsur Ammoniak i Mængder svarende til 150 og 450 kg pr. ha varierede Tabet i de første 4 til 8 Døgn fra 0 til 15 pCt. Tabet var praktisk taget Nul ved Reaktionstal omkring 6 og lavere Værdier. De største Tab fandtes ved Reaktionstal paa 8 og derover. Tabet steg stærkt med stigende Reaktionstal.

Ammoniaktabet foregaar med hurtigt aftagende Hastighed. Paa Jorder med høje Reaktionstal kan der dog selv efter 24 Døgn Forløb stadig konstateres et lille Tab. — Ved Reaktionsstal paa ca. 8 er der i et Tidsrum paa 4 Uger fundet Ammoniaktab paa indtil 50 til 60 pCt., medens det i samme Jord og Tidsrum kun var omtrent 5 pCt. ved et Reaktionstal paa ca. 6.

Ammoniaktabet er altid særlig stort, hvis Jorden indeholder Kalciumkarbonat. Ved et Indhold paa 1 til 2 pCt. Kalciumkarbonat kan det saaledes stige til ca. 25 pCt. og ved højere Indhold, f. Eks. 5 til 10 pCt. Kalciumkarbonat, kan Tabet endog stige helt op til 50 pCt. i fire Døgn.

Afgørende for Tabets Størrelse er desuden Nedbringningen. En Tildækning lige efter Udbringningen med et Jordlag paa 1 cm, nærmest svarende til en let Nedharvning, nedsætter nok Ammoniaktabet, men en virkelig effektiv Nedsættelse af Tabet naas først ved Dækning med tykkere Jordlag. I Forsøgene har Tildækning med et Jordlag paa 6 cm fuldstændig hindret Ammoniaktab.

Jordens Fugtighedsgrad er næppe af større Betydning under Markforhold. I Laboratoriet kan det imidlertid vises, at Ammoniaktabet er lidt mindre fra lufttør Jord end fra Jord, der er fugtet til Krummestruktur. Det ligger i Sagens Natur, at de udførte Laboratorieundersøgelser ikke har kunnet omfatte

Nedbørens Indflydelse. De udførte Undersøgelser over Nedbringningsdybden antyder imidlertid Retningslinierne for den Indflydelse, som Nedbøren vil have.

Bortset fra Kalkjord har Jordens Art næppe under danske Jordbundsforhold større Indflydelse paa Ammoniaktabet. Afgørende for Tabets Størrelse er — i langt højere Grad end Jordarten — Jordens Reaktionstal og dens Stødpudeevne overfor Syre.

Det er indlysende, at Ammoniaktabet fra Kalkammonsalpeter og lignende Ammoniumgødninger vil forløbe paa samme Maade som fra Svovsur Ammoniak.

Mulighederne for en Bestemmelse af Ammoniaktabet ved Hjælp af Markforsøg behandles i et særligt Kapitel.

Ved orienterende Undersøgelser over Ammoniaktabet fra Kalkkvælstof har det vist sig, at dette kan stige til ca. 50 pCt., naar Gødningen ligger ovenpaa Jorden i fire Uger. Laboratorieundersøgelserne over Ammoniaktabet fra denne Gødning fortættes.

English Summary.

Loss of Ammonia from Nitrogenous Artificial Fertilizers when Spread on Arable Soil. I. Sulphate of Ammonia.

The investigations, which were performed in the laboratory at room temperature in the years 1942 and 1943, included several soils. Some theoretical facts, chemical and bacteriological, with a bearing upon the problem are laid down in some detail in a preliminary chapter. In the following chapter, in which the experimental results are recorded, it is shown that these results are quite in accordance with the theoretical considerations.

It is shown that the p value of the soil is of dominating influence on the loss of ammonia. By using ammonium sulphate in amounts corresponding to 150 or 450 kgrms. per hectare the loss in the first four to eight days varied from 0 to 15 per cent. when the fertilizer was spread on the surface of the soil. The loss was practically 0 at a p_H value of 6 or lower. The higher the p_H value the higher was the loss, moreover it showed a very rapid increase as the p_H value increased.

At a prolonged experimental time, for instance 24 or 28 days, it was found that even after this time there was a loss, though a very small one. At a p_H value of about 8 the loss of ammonia in four weeks totalled about 50 to 60 per cent. while the loss in the

same soil at a p_H value 6 was only about 5 per cent. in the same period.

The loss of ammonia is always exceedingly high when the soil contains considerable amounts of calcium carbonate. At 1 to 2 per cent. of calcium carbonate the loss may increase to 25 per cent. and at still higher contents, for instance 5 to 10 per cent. of calcium carbonate, the loss has even been measured to 50 per cent. in four days when the fertilizer was placed on the surface of the soil.

Besides the dominating influence of the p_H value of the soil, the contents of calcium carbonate (the buffer capacity against hydrogen ions) and the time, it is further shown that the depth to which the ammonium sulphate is brought down is a very important factor, too. Thus it is shown that when the fertilizer is covered with a layer of soil the thickness of which is about 1 cm (harrowed down), the loss of ammonia is decreased as compared with a spreading on the surface. The loss, however, without regard to p_H value and contents of calcium carbonate, is brought down to 0 when the fertilizer is covered by a layer of soil 6 cm thick. It is probable that rain has the same effect as a thin layer of soil. It has not, however, been possible to try this problem by laboratory experiments.

Under Danish soil conditions the soil type with the exception of calcareous soil has only little, if any, influence on the loss of ammonia. Generally the dominating factors, besides the time, etc., are the p_H value of the soil and its buffer capacity against hydrogen ions.

It is self-evident that the loss of ammonia from ammonium nitrate and suchlike fertilizers is regulated by the same factors which determine the loss from ammonium sulphate.

In a special chapter the possibilities of determining this loss by field experiments are discussed. It is pointed out that several of the highly conflicting statements found in the literature as regards the economical importance of the loss of ammonia are most probably to be explained by the well-known fact that the indirect manganese and boron effects of sulphate of ammonia very often eliminate or veil the effect of this loss, especially on light sandy soils with high p_H values. Moreover, several of the older field experiments without doubt have been made on soils with low p_H values where no loss of ammonia at all occurs. It is, however, in this connection well worth remembering that the magnitude of the losses general found at this investigation, to a certain degree was due to the fact that the investigations were performed at room temperature; such temperatures, on the other side, may often be found at the surface of the soil even in the months of April and May.

Some preliminary laboratory investigations have shown that the loss of ammonia from calcium cyanamide (the commercial form) when spread on the surface of the soil is very considerable. In one case about 50 per cent. of the nitrogen was lost as ammonia in 24 days. The investigations on this problem, which are now in progress, will be published in a following paper.

Litteratur.

1. *Warrington, R.*: The comparative value of nitrate of sodium and sulphate of ammonium as manures. Journ. Royal Agric. Soc. III Ser. XI. 300. 1900.
2. *Wagner, P.*: Die Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak und organischen Stickstoffdüngern im Vergleich zum Chilisalpeter. Arbeiten der deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft. Heft 80. 1903.
3. *Iversen, Karsten, og Dorph-Petersen, K.*: Forsøg med forskellige Kvælstofgødninger, 1930—42. Tidsskr. f. Planteavl. 48. 418. 1944.
4. *Christensen, H. R.*: Jordbundsundersøgelser i Forbindelse med fastliggende Gødningsforsøg paa Mineraljorder. Tidsskr. f. Planteavl. 33. 197. 1927.
5. *Tovborg Jensen, S.*: Undersøgelser over Ammoniakfordampning i Forbindelse med Kvælstoftab ved Udbringning af naturlige Gødninger. I. Ajle. Tidsskr. f. Planteavl. 34. 117. 1928.
6. *Schneidewind, W.*: Fünfter Bericht über die Versuchswirtschaft Lauchstädt, 1902—03. Landwirtschaft. Jahrbücher. 33. 165. 1904.
7. *Tovborg Jensen, S.*: Om Kvælstoftab ved Ammoniakfordampning fra Ajle. Tidsskr. f. Planteavl. 43. 177. 1938.
8. *Egnér, Hans*: Stallgödselns Kväveförluster genom Ammoniakavdunstning. Medd. Nr. 409 fr. Centralanstalten för försöksväsendet på jordbruksområdet. 1932.
9. Handbuch der Bodenlehre. VI. 330. 1930.
10. *Kappen, H., Tscheng-Jen, Scheng, Nickolay, W. og Wienhues, W.*: Zur Verflüchtigung von Ammoniak aus Lösungen von Ammonsalzen. Bodenk. und Pflanzenernähr. 31. (76). 223. 1943.