

Kvælstof-tab ved Ammoniakfordampning efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak.

Af S. Tovborg Jensen og Betsy Kjær.

Meddelelse fra Landbohøjskolens agrikulturkemiske
Laboratorium.

I. Indledning.

Det er velkendt, at der kan tabes betydelige Mængder Kvælstof ved Ammoniakfordampning fra Ajle og fast Staldgødning efter Spredning paa Marken. Tabet skyldes overvejende disse Gødningers Indhold af Ammoniumkarbonat, der er tilbøjelig til at forflygtiges efter Skemaet



Tendensen til Ammoniakafgivelse paa den Maade vokser med Gødningens Ammoniakindhold, Temperaturen og Luftens Mætningsdeficit m. H. t. NH_3 under de givne Betingelser. Fordampningstabet vil derfor blive størst i varmt Vejr fra ammoniakrige Gødninger, der efterlades oven paa Jorden saaledes, at den luftformige Ammoniak let ved Strømning og Diffusion kan fordeles i Atmosfæren.

Tabet lader sig modvirke ved Nedfældning af Gødningen. Den forholdsvis ringe Mængde stillestaaende Luft i Jordens Porer og Hulrum mætter sig da hurtigt med Ammoniak, hvorved Fordampningen vil ophøre. Dertil kommer, at Jordens Ler- og Humuskolloider delvis vil fjerne de opløste Ammoniumsalte fra Jordvædsken ved Absorption, hvorved dennes Ammoniakdampspænding nedsættes stærkt.

Talrige Markforsøg har vist, at man ved hurtig og effektiv Nedfældning af Ajlen (Ajlenedfælder) helt undgaar et Fordampningstab, hvorved en given Mængde Ajlekvælstof faar samme Virkning som den samme Mængde tilført Jorden i Form af Svovlsur Ammoniak, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, der almindeligvis anses for ikke flygtig.

Der kan dog i nogle Tilfælde fordampe Ammoniak ogsaa efter Gødskning med dette Stof, og der findes over dette Emne en omfattende Litteratur. Dennes Angivelser af Tabenes Størrelse er imidlertid stærkt modstridende. Fra visse Sider hævdes det, at de er betydelige og Hovedaarsagen til, at Virkningen af en given Kvælstofmængde erfaringsmæssigt er ringere efter Svovlsur Ammoniak end efter Salpeter. Rigtigheden heraf bestrides fra anden Side, og det fremhæves samtidig, at Fordampningstabet efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak er saa ringe, at det i næsten alle Tilfælde bliver uden praktisk Betydning.

For om muligt at naa til en klarere Forstaaelse af hele dette Problem blev det gjort til Genstand for en Række Undersøgelser paa Agrikulturkemisk Laboratorium. Undersøgelserne, som udførtes i Tiden September 1945—1947, omfatter dels et Sammendrag af nogle allerede foreliggende Arbejder og disses Resultater, dels teoretiske Betragtninger over Ammoniakens Fordampning fra Jordoverfladen belyst ved Eksperimenter og endelig nogle praktiske Konklusioner. — *Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur* og Konsulent J. Chr. Andersen-Lyngvad, Aalborg, har beredvilligt stillet forskellige Jordprøver til Raadighed. Arbejdet er planlagt af Forfatterne i Forening, Analysearbejdet udført af den ene af disse, Amanuensis, Civilingeniør Fru Betsy Kjær.

II. Litteratursammendrag.

At der kan tabes Kvælstof ved Ammoniakfordampning efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak har man længe haft Formodning om, idet *Boussingault* (1) for ca. 100 Aar siden henleder Opmærksomheden derpaa. Tab finder efter hans Opfattelse kun Sted paa kalkholdige Jorder og skyldes Dobbeltdekomposition efter Skemaet



Ammoniumsulfat reagerer i Henhold til dette med Kalciumkarbonat, hvorved der dannes Kalciumsulfat og Ammoniumkarbonat. Det sidstnævnte Stof er flygtigt og vil afgive NH_3 (og CO_2) til Atmosfæren, hvorved Kvælstoftabet fremkommer.

Omtrent samtidig gør *Sprengel* (2) opmærksom paa den samme Reaktion og paapeger Muligheden for et Kvælstoftab ad den Vej, et Tab, som et passende ikke for ringe Humusindhold i Jorden dog vil formindske noget. *Liebig* (3) hævder der-

imød, at Jorden absorberer Ammoniak saa stærkt, at et Fordampningstab af den Grund skulde være udelukket og anser Ammoniumsalte for særligt velegnede Kvælstofgødninger paa kalk- og humusrige Jorder.

Nivet (4) viste eksperimentelt, at der fordampede NH_3 fra fugtig, kalciumkarbonatholdig Jord, hvortil der sattes Ammoniumklorid. Fordampningen paavistes, og Kvælstoftabets Størrelse maalttes ved at anbringe Jorden i en Skaal under en tæt Glasklokke, hvorunder tillige befandt sig en Skaal indeholdende en afmaalt Mængde titreret Syre. Heri absorberedes den undvegne Ammoniak, som saa senere kunde bestemmes kvantitativt ved Tilbagetitrering.

Der anvendtes til Forsøgene to ler- og humusrige Jorder samt to lette Sandjorder. Alle Prøver holdtes paa samme Fugtighedsgrad, der ikke nærmere angives. I Jorden var blandet ca. 1 pCt. CaCO_3 og 0,25 pCt. NH_4Cl . Fordampningstabet var over et Tidsrum paa 25 Dage fra Ler- og Humusjorden ca. 2 pCt. af den tilsatte Kvælstofmængde, fra Sandjorden godt 10 pCt. — Der gøres i Afhandlingen opmærksom paa, at kulsyrefri Luft ved at ledes gennem en NH_4Cl -Opløsning indeholdende opstemmet, findelt Kalciumkarbonat medfører NH_3 . Ledes derimod en Strøm af Kuldioxid igennem medføres ingen Ammoniak.

Forfatteren slutter ud fra sine Eksperimenter, at der kan tabes Kvælstof ved Ammoniakfordampning, naar Ammoniumklorid eller -sulfat udstrøs som Gødning paa kalkholdig Jord, at Tabet vil være mindre fra ler- og muldrige Jorder end fra Sandjorder, og at en livlig Kulsyreudvikling i Jordbunden formindsker det.

Lignende Undersøgelser, men i større Omfang er foretaget af *Leclerc* (5). Ved disse blandedes en lermuldet Jord indeholdende 6,4 pCt. Kalciumkarbonat med stigende Mængder Svovlsur Ammoniak. Den bortdampede Ammoniakmængde bestemtes med Mellemrum og paa samme Maade som i Nivets Eksperiment over et Tidsrum paa 320 Dage. De enkelte Jordportioner, som var paa 50 g, blandedes med 100, 200, 300, 400 og 500 mg Svovlsur Ammoniak svarende til 0,2—1,0 pCt. af Jordvægten og anbragtes i en flad Skaal under Glasklokken. Lagtykkelsen opgives ikke. Der gennemførtes to parallelt løbende Forsøgs-serier, een med »tør« Jord indeholdende 4 pCt. Vand og een med fugtig Jord indeholdende 14 pCt. Vand.

Fordampningstabet var meget nær ens i begge Tilfælde. Det steg jævnt med den tilsatte Ammoniakmængde og udgjorde

fra 50 til 100 mg NH_3 svarende til henholdsvis 40 og 80 pCt. af hele den tilsatte Gødningmængde. Fra ugødet Jord var der i samme Tidsrum bortdampet 0,80 mg NH_3 eller 9 pCt. af den Mængde, som fandtes i Jorden, da Forsøget blev paabegyndt.

Den iblandede Mængde Svovlsur Ammoniak var i Forhold til Jordmængden meget stor, idet den svarede til fra ca. 5—25 Tøns pr. ha i Pløjelaget¹). I en anden Forsøgsserie anvendtes Mængder svarende til dem, der normalt benyttes ved Gødskning i Praxis d. v. s. 2—400 kg pr. ha. Tabet blev her gennem et Aar ca. 25 pCt. af den anvendte Kvælstofmængde. Hele den opsamlede Mængde var dog i dette Tilfælde mindre end 1 mg NH_3 og de fundne Tal derfor usikre.

Luftfornyelsens Indflydelse paa Ammoniakfordampningen undersøgte ved at blande 100 g af Jorden i tør Tilstand (4 pCt. Vand) med 100 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ og anbringe den i et 20 cm langt og 2 cm vidt Glasrør, hvorigennem der sugedes en Strøm af ammoniakfri Luft. (Luftstrømmens Hastighed angives ikke). Den medførte Ammoniak opfangedes i Syre og bestemtes kvantitativt med ca. 1 Maanedes Mellemlum. Ved Gennemledning af tør Luft var Tabet i de første 5 Maaneder ca. 1 mg NH_3 eller 4 pCt. af den tilsatte Mængde. Ved paafølgende Gennemledning af fugtighedsrættet Luft voksede Tabet noget og udgjorde i de følgende 2 Maaneder 1,5 mg NH_3 , hvorefter Forsøget afbrødes.

Forfatteren slutter paa Grundlag af Eksperimenterne, som udførtes i Tiden 1876—79, at der fordamper Ammoniak fra Jordoverfladen efter Gødskning med Ammoniumsulte. Fordampningstabet vokser med den pr. Arealenhed tilførte Gødningmængde og med Jordens Kalkindhold, hvorved det bliver forstaaeligt, at Svovlsur Ammoniak erfaringsmæssigt har ringe Virkning paa Kalkjorder. Stærk Udtørring hemmer Ammoniakfordampningen, der først bliver mærkbar ved et vist Fugtighedsindhold i Jorden. Dette stemmer med den Kendsgerning, at Blandinger af Kalciumkarbonat og Ammoniumsulfat først ved at fugtes med Vand afgiver luftformig NH_3 .

Tacke (6) har senere paa lignende Maade demonstreret, at der kan fordampe NH_3 fra en fugtig Jord, som er tilsat 0,1—0,4 Vægtprocent Ammoniumsulfat. Tabet bestemtes ved Luftgennemledning over en længere Periode og Opsamling af den

¹) Udhævelserne her og i det følgende af os.

medførte Ammoniak. I tre af syv Tilfælde var det umaaleligt. I tre andre Tilfælde udgjorde det 5 pCt. og i eet Tilfælde 15 pCt. af den med Gødningen tilsatte Ammoniakmængde. Jordens Kalkindhold ved Forsøget opgives ikke.

Müntz (7) har forsøgt at bestemme Ammoniakfordampningens Størrelse direkte under lignende Forhold som ved Gødningsanvendelsen i Praksis. Til dette Formaal blev en let Sandjord indeholdende 2 pCt. Kalciumkarbonat gødet med Svovlsur Ammoniak i en Mængde svarende til 500 kg pr. ha og Gødningen nedpløjedes. Et Areal paa 1000 cm² af den saaledes gødede Jord afspærredes under en tæt Glasklokke, hvorunder fandtes en flad Glasskaal med Svovlsyre til at opfangе den undvegne Ammoniak. Mængden heraf var over en Periode paa 100 Dage kun 1,4 mg NH₃ svarende til 0,5 pCt. af hele den tilførte Kvælstofmængde. Fordampningstabet er under disse Betingelser altsaa forsvindende lille.

Omfattende Laboratorieundersøgelser til Belysning af Forholdene i Forbindelse med Ammoniakfordampning fra Jord er foretaget af *Giustiniani* (8) som til sine Forsøg benyttede dels rent Sand, dels Sand med stigende Mængder, 0,36, 10,0 og 40 pCt. Kalciumkarbonat. Endvidere en ler- og muldrig Havejord tilsat 20 og 60 pCt. Kalciumkarbonat. Efter Kalkens Iblanding tilførtes 250 g Tørjord 0,108 g N i Form af Ammoniumsulfat opløst i 10 cm³ Vand, hvad der svarer til ca. 5 Tons Svovlsur Ammoniak pr. ha i Pløjelaget. Jorden indesluttedes i en Flaske indrettet til Gennemsugning af en Luftstrøm som passerede igennem det løse Jordlag. Den medførte Ammoniakmængde bestemtes ved Absorption i Syre og Titration med to Dages Mellemlum.

Fra rent Sand iagttoges ingen Ammoniakfordampning. Fra kalkblandet Sand fordampede der Ammoniak, og Fordampningshastigheden var tilsyneladende uafhængig af den tilsatte Kalkmængde. Den steg stærkt med voksende Temperatur og var større efter Gennemledning af tør end af fugtighedsmættet Luft. Ved Stuetemperatur fordampede i Løbet af 22 Dage henved 25 pCt. af den tilsatte Ammoniakmængde fra det kalkholdige Sand. Fordampningshastigheden naaede sin største Værdi efter 8—10 Døgns Forløb, hvorpaa den aftog stærkt. Ved nu at sætte Temperaturen op til 30—42° C steg Fordampningshastigheden atter, og efter yderligere 18 Døgn var ca. 95 pCt. af hele Ammoniakmængden forsvunden fra samtlige Fla-

sker. — Efter Anvendelse af 3 pCt. Thomasfosfat i Stedet for Kalciumkarbonat fordampede under iøvrigt de samme Betingelser og ved Stuetemperatur 75 pCt. af Sandprøvernes Ammoniakindhold i Løbet af 3 Døgn. Den i dette Tilfælde øgede Fordampning antages at bero paa Thomasfosfatets Indhold af den stærke Base CaO.

Fra kalkholdig Havejord fordampede Ammoniak langsommere end fra kalkholdigt Sand. Fordampningshastigheden voksede i dette Tilfælde vel noget med stigende Kalkindhold, men Kvælstoftabet udgjorde ved Stuetemperatur over en længere Periode kun 4—10 pCt. af den tilsatte Mængde. Ved at sætte Temperaturen op til 40° C voksede Tabet i Løbet af 70 Dage til 40—75 pCt. af Totalmængden. Jorden steriliseredes inden Forsøgets Paabegyndelse, saaledes at der herunder ingen Nitri-fikation fandt Sted.

Forfatteren konkluderer med Forsøgene som Grundlag, at der i Praksis næppe vil tabes større Mængder Kvælstof ved Ammoniakfordampning efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak paa fugtige ler- og muldrige Jorder, selv om disse er kalkholdige. Derimod bør denne Gødning ikke anvendes paa kalkholdig, let Sandjord, der udsættes for kraftig Udtørring ved Overfladen. Selv et ringe Kalciumkarbonatindhold vil her give Anledning til et stort Fordampningstab.

S. Hals (9) studerede Problemet Ammoniakfordampning ved at udbrede 1500 g Lerjord indeholdende 1 pCt. CaCO₃ i flade Glasskaale i Lag paa 4 cm's Tykkelse. Til Jorden sattes 2,347 g Svovlsur Ammoniak indeholdende 0,5 g Kvælstof. At der under disse Omstændigheder bortgik luftformigt Ammoniak fra Jordoverfladen kunde vises direkte ved Hjælp af Prøvepapir. Kvælstoftabets Størrelse bestemtes indirekte ved efter 5 og 14 Dages Forløb at bestemme Jordprøvernes Indhold af Ammoniakkvælstof, idet der toges Hensyn til den i samme Tidsrum dannede Nitratmængde. Det udgjorde ca. 30 og 40 pCt. alt efter om Saltet blev blandet med Jorden eller udstrøet oven paa denne. Tabet steg en Del, naar Jorden fik Lov til at tørre ud ved Overfladen.

Forfatteren gør opmærksom paa, at disse Resultater ikke uden videre lader sig overføre paa Forholdene i Marken, men anser for sandsynligt, at der vil tabes kendelige Mængder Kvælstof ved Fordampning, naar der gødes med Svovlsur Ammoniak paa kalk-

holdig Jord. Tabet kan formindskes ved at nedfælde Gødningen. Tørke efter Udbringningen vil forøge det, men det vil dog næppe under Markforhold blive saa højt som ved Laboratorieforsøgene.

Sessous (10) har udført lignende Undersøgelser som *Giustiniani* over Ammoniakfordampning fra kalkholdige Jorder. Luften blev dog her ledet hen over og ikke gennem Jordlaget, hvis Tykkelse var 5 cm. Den anvendte Mængde svarede til 400 kg pr. ha. Forfatteren finder overensstemmende med *Giustinianis* Iagttagelser et Ammoniaktab, der vokser med Temperaturen og — inden for visse Grænser — tillige med Jordens Indhold af CaCO_3 , mens et stigende Ler- og Muldindhold formindsker det.

Tabene udgjorde 1—10 pCt. af hele den tilførte Kvælstofmængde gennem de 7 Dage Forsøgene strakte sig over. Det fremgaar dog ikke af Talmaterialet, at Fordampningen var ophørt ved deres Afslutning.

Det fastslaaes paa Grundlag af Forsøgsresultaterne, at der maa regnes med et ikke uvæsentligt Fordampningstab, naar der gødes med Svovlsur Ammoniak paa kalkholdig Jord, og det skyldes især dette Tab, at Salpeter erfaringsmæssigt under saadanne Forhold virker bedre end Ammoniakgødninger. Forfatteren fremhæver, at det bedste Middel til at hindre Tabet er hurtig Nedfælding, hvorved Ammoniakken vil absorberes og fastholdes af Jorden.

Alle de her omtalte Laboratorieforsøg tyder saaledes paa, at der under visse Omstændigheder vil tabes Kvælstof ved Ammoniakfordampning efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak. Tabets Størrelse i Praksis lader sig dog ikke bestemme sikkert ud fra disse, idet Forholdene i Marken vil være væsentlig anderledes end i Laboratoriet, navnlig som Følge af den langt større Jordmængde Saltet her kommer i Berøring med. I Erkendelse af dette har man forsøgt at bestemme Tabets Størrelse ad Dyrkningsforsøgets Vej ved at sammenligne Virkningen af en vis Mængde Ammoniakkvælstof med den samme Mængde givet som Salpeter, hvori Kvælstoffet ikke er flygtigt. — Der kan dog ogsaa paa denne Maade kun blive Tale om at paavise eventuelle Tab, men Størrelsen af disse lader sig ikke bestemme blot nogenlunde nøjagtigt, hvad der skyldes, at Ammoniak- og Salpetergødninger virker forskelligt saavel til forskellige Afgrøder som under forskellige Jordbunds- og Klimaforhold.

Ved Dyrkningsforsøg har *Brown* (11) søgt at bestemme

Kvælstofvirkningen af Svovlsur Ammoniak paa svære Jorder indeholdende over 10 pCt. CaCO_3 . I alle Forsøgene var Kvælstofvirkningen ringe efter Overfladegødskning, men god naar Gødningen straks nedharvedes eller nedpløjedes. Forfatteren antager, at den iagttagne Virkningsforskel skyldes Kvælstoftab ved Ammoniakfordampning fra Jorden.

Warington (12) sammenligner i et stort Antal Markforsøg Virkningen af Ammoniak- og Salpeterkvælstof til forskellige Afgrøder og kommer herved bl. a. til følgende Resultat: Paa Jorder med et højt Kalkindhold virker Svovlsur Ammoniak mindre godt ved Overfladegødskning. Paa saadanne Jorder bør denne Gødning derfor nedpløjes eller nedharves straks efter Spredningen. Ogsaa paa Jorder, der ikke er særlig kalkrige vil Nedfældning gennemgaaende forøge Gødningsvirkningen af Ammoniumsulte.

En lang Række Markforsøg til Sammenligning af Kvælstofvirkningen af Salpeter og Svovlsur Ammoniak er gennemført af *Wagner* (13). Jorderne deltes ved disse i to Grupper. I den ene var Kalciumkarbonatindholdet lavere end 0,25 pCt., i den anden højere. Naar Salpeterkvælstoffets Virkning sattes lig 100, var Ammoniakkvælstoffets 80 og 63 henholdsvis paa kalkfattig og kalkrig Jord. Forfatteren antager, at Mindrevirkningen i den sidst nævnte Forsøgsgruppe skyldes Ammoniakfordampning. Samme Forfatter (14) beretter tillige om Karforsøg, hvoraf det fremgaar, at Afgrødernes Udbytte af Kvælstoffet i Svovlsur Ammoniak paa en Jord med 13 pCt. CaCO_3 forbedres ved Nedvanding og navnlig ved Nedfældning, hvorefter Kvælstofoptagelsen bliver 3 Gange saa stor som efter Overfladegødskning uden Nedvanding. Forsøgene tyder stærkt paa, at der er sket et betydeligt Fordampningstab, og at Tabet kan forhindres ved at Gødningen nedfældes.

Markforsøg med Nedfældning af Svovlsur Ammoniak er ogsaa udført af *Schneidewind* (15), som fandt betydelige Udslag til Gunst for Nedfældning og tilskrev disse Ammoniakfordampning fra Jorden i de Parceller, hvor Gødningen ikke nedfældedes.

Ehrenberg behandler i et omfattende Arbejde fra 1907 (16) indgaaende Spørgsmaalet Ammoniakfordampning efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak. Han kritiserer heri Wagners Arbejder og hævder, at Gødningsforsøg i det hele taget er uegnet til Klarlægning af et saa specielt agrikulturkemisk Problem. Ogsaa de i det foregaaende omtalte Laboratoriearbejder

kritiseres, og Kritiken gaar navnlig ud paa, at der ved Flertallet af disse har været anvendt langt større Mængder Ammoniumsulfat i Forhold til Jordmængden end ved Gødskning i Praksis. Endvidere at Jord- og Sandlagene i Laboratorieforsøgene har været tynde, saa at Gødningen ikke efter Opløsning i Jordvandet har kunnet trænge ned under Overfladen og derved fordeles paa en større Jordmængde.

Før at eliminere disse Fejlkilder og komme de praktiske Forhold saa nær som muligt, konstruerede han derfor et særligt Apparat til eksperimentel Bestemmelse af Ammoniakfordampningens Størrelse. Det bestod af en Kasse af galvaniseret Jernplade, 1 m i Kvadrat og 0,55 m dyb. Deri anbragtes 0,5 m³ af den Jord, som skulde undersøges, saa vidt muligt under samme Lejringsforhold som i Marken, d. v. s. med de nederste 35 cm tæt sammenpakket og de øverste 15 (Bearbejdningslaget) løst lejret. Gødningen udstrøedes jævnt paa Overfladen, nedkradsedes til en Dybde af 5 cm og bragtes i Opløsning ved Vanding med 2 l Vand svarende til 2 mm Nedbør.

Dernæst lukkedes Kassen hurtigt med et tætsluttende Laag, som paaloddedes lufttæt. Gennem Kassens Vægge i Højde med Jordoverfladen var indført Rør med en Række Gennemboringer. Rørene forbandtes med en Ventilationsanordning saaledes indrettet, at der kunde suges en Luftstrøm gennem Kassen langs med Jordoverfladen. Den herved medførte Ammoniak absorberedes i Svovlsyre og bestemtes med Mellemrum kvantitativt. Kassens Laag var forsynet med en Opvarmningsanordning, og den gennemstrømmede Lufts Rumfang maales ved Hjælp af et Gasuhr.

Forsøgene gennemførtes dels med groft, næsten kalkfrit Flodsand, dels med det samme Materiale blandet op med 6 pCt. pulveriseret Gødningskalk. Endvidere med en svær Lerjord indeholdende 9,5 Vægtprocent Kalciumkarbonat. Sandets Vandindhold var 2—5 pCt., Lerjordens ca. 20 pCt. De fleste af Forsøgene strakte sig over 10 Dage, enkelte over 20. Der tilførtes Jorden 40 g Svovlsur Ammoniak svarende til 400 kg pr. ha. Hele den gennemledede Luftmængde var 10—30 Kubikmeter.

En Serie paa ialt ca. 30 saadanne Maalinger viste overensstemmende, at Fordampningstabet under disse Forhold var langt ringere end ved Laboratorieforsøgene i mindre Format. Selv fra kalkblandet Sand ved 15° C var det i de fleste Tilfælde under 1 pCt. af den tilførte Kvælstofmængde. Ved at sætte Temperaturen op til 30—40° C steg det i samme Tidsrum til ca. 4 pCt. — Fra den

svære Lerjord var Tabet kun 0,1 pCt., altsaa forsvindende ringe. Tilførsel af Thomasfosfat eller luftlæsket Kalk i saadanne Mængder, som kommer til Anvendelse i Praksis, øgede ikke Fordampningstabet nævneværdigt. I enkelte af Forsøgene anvendtes Kalkkvælstof i Mængder svarende til 1800 kg pr. ha men under iøvrigt samme Betingelser. Ogsaa fra dette Stof var Tabet ubetydeligt; mindre end 0,5 pCt. af hele Kvælstofmængden.

Forfatteren slutter ud fra Undersøgelserne, at NH_3 kun vil fordampe fra kalkrige ler- og muldfattige Jorder efter kraftig Gødskning med Svovlsur Ammoniak. Kvælstoftabet bliver dog først mærkbart efter kraftig Gødskning ved højeste Sommertemperatur, naar Jorden tørrer ud ved Overfladen og er selv under disse Forhold uden praktisk Betydning, saafremt Gødningen, som det næsten altid er Tilfældet, ved Bearbejdning blandes med det øverste Jordlag.

Lemmermann og Medarbejdere (17) har i Laboratoriet søgt at bestemme Størrelsen af et eventuelt Fordampningstab efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak ad indirekte Vej ved paa Grundlag af kemiske Analyser at opstille Kvælstofbalancer for Jordprøver tilsat denne Gødning. Der konstateredes paa den Maade et Kvælstoftab, der var størst efter kraftig Gødskning fra Jord, der indeholdt ca. 1 pCt. CaCO_3 og derfor antoges at skyldes Ammoniakfordampning. Paa kalkfrie Jorder konstateredes intet Kvælstoftab, selv efter kraftig Gødskning med Svovlsur Ammoniak. (De anvendte Gødningsmængder var i Forhold til Jordmængden langt større end ved Gødskning i Praksis). Forfatterens Konklusion er, at der næppe vil fordampe nævneværdige Ammoniakmængder fra Jord, som indeholder mindre end 0,6 pCt. CaCO_3 , naar Gødningen blandes godt med Jorden. Paa gennemfugtig Jord sker denne Blanding automatisk som Følge af Saltets Opløsning og Diffusion. Er Jorden tør ved Overfladen foregaar en saadan Blanding kun i ringe Grad, og Gødningen maa da nedfældes for at giye fuld Kvælstofvirkning. Ligesom Ehrenberg betoner Lemmermann, at Risikoen for Kvælstoftab ved Ammoniakfordampning efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak er langt ringere end sædvanlig antaget.

Wlodek (18) har foretaget Undersøgelser efter samme Princip og med lignende Resultat som Lemmermann. — Man faar dog som paapeget foran ad den Vej kun indirekte Udtryk for

Fordampningstabets Størrelse og de fundne Tal er ret usikre, idet de fremgaar som Differens mellem Jordens totale Kvælstofindhold ved Forsøgets Begyndelse og ved dets Slutning. Af dette Indhold udgør Ammoniakkvælstoffet kun nogle faa Procent, mens Hovedparten er til Stede i organisk Form (Humuskvælstof). Denne Del lader sig ikke bestemme med nogen stor Nøjagtighed, hvorved Usikkerheden paa det endelige Resultat vil forøges yderligere. Jordprøvernes totale Kvælstofindhold er da ogsaa i flere Tilfælde vokset ved Henstand, men Tallene fra disse Forsøg er udeladt ved den endelige Opgørelse, idet de anses for behæftet med grove Fejl.

Liechti og Ritter (19) har i en Afhandling fra 1910 undersøgt Problemet Ammoniakfordampning med Henblik paa Ajlegødkning. De anvendte til deres Eksperimenter et lignende Apparat som Ehrenbergs foran beskrevne, men med en langt kraftigere Ventilation, idet den pr. Tidsenhed gennemstrømmende Luftmængde var ca. 1000 Gange saa stor. Ehrenbergs Forsøgsanordning kritiseres stærkt, idet det hævdes, at Luftstrømmens Hastighed ved denne har været ganske utilstrækkelig, hvorfor hans Resultater maa betragtes som upaalidelige og hans Konklusioner som forhastede. — (Det fremgaar iøvrigt af Eksperimenterne, hvad Mark- og Laboratorieundersøgelser her i Landet senere har bekræftet, at Ammoniak fordamper let fra Ajle spredt paa Jordoverfladen. Tabene udgør i Løbet af 7 Timer 20—30 pCt. af Ajlens Ammoniakindhold, og Fordampningen er paa dette Tidspunkt endnu ikke ophørt).

Kritiken afvises af *Ehrenberg* (20), idet han paapeger, at den gennemstrømmende Luft ved de af ham udførte Forsøg ikke blot tilnærmelsesvis har været ammoniakmættet under de foreliggende Betingelser. Det maa derfor, hævder han, alene være den Hastighed hvormed Ammoniakken er undvegen fra Jordoverfladen, og ikke Luftstrømmens Hastighed, der har været bestemmende for Tabenes Størrelse.

I et Arbejde fra 1929 har *Depardon* (21) gjort Rede for nogle Laboratorieundersøgelser vedrørende Fordampningstabet efter Tilførsel af Svovlsur Ammoniak til en let kalkrig Lerjord indeholdende 50 pCt. CaCO_3 . Sulfatet blandedes med Jorden i Mængder svarende til 500 og 1000 kg pr. ha beregnet paa Jordvægten i Pløjelaget. Jorden anbragtes derpaa med vekslende Lagtykkelse i Skaale under Glaskløkker, hvor den undvegne Ammoniak opfangedes i Syre og bestemtes kvantitativt. — Det viste sig herved, at Jordlagets Tykkelse var en af-

gørende Faktor for Kvælstoftabets Størrelse. Fra et Lag paa 1 cm's Tykkelse var Tabet efter en Maaned 3 og 8 pCt. henholdsvis efter mindste og største Gødningssanvendelse. Efter Dækning af dette Lag med blot 1 cm af den samme Jord indeholdende 10 pCt. Fugtighed kunde over en Periode paa 9 Døgn ingen Ammoniakfordampning paavises. Forfatteren slutter heraf, at der selv paa meget kalkrig, lerholdig Jord ikke er nogen Risiko for et Fordampningstab efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak, naar Gødningen nedharves, et Forhold, som Markforsøgene synes at have bekræftet. De store Tab, der berettes om ved mange Laboratorieeksperimenter, skyldes efter hans Opfattelse, dels at Jordlaget var ganske tyndt, og at Gødningen anbragtes oven paa dette, dels og navnlig, at den anvendte Gødningssmængde i Forhold til Jordmængden har været urimelig stor. Det hævdes derfor, at Giustinianis og andre lignende Laboratorieundersøgelser er uden praktisk Værdi.

Forsøg over Ammoniakfordampning efter Gødskning med forskellige Ammoniumsalte og med Kalkkvælstof er i de senere Aar gennemført paa Forsøgsstationen Limburgerhof, der ejes af det tyske Kvælstofsyndikat (22). Forsøgsjorden, en Sandmuld med et ringe Indhold af Kalciumkarbonat og pH-Værdien ca. 8, afspærredes i naturlig Lejringsstilstand under en Glas-klokke, hvorigennem der sugedes en Luftstrøm ved Hjælp af en motordreven Pumpe. Forsøgsfladernes Størrelse var 2 m² og det gennemsguede Luftvolumen ca. 80 l pr. Time. Der tilførtes Jorden 6 g N pr. m² svarende til 300 kg Svovlsur Ammoniak pr. ha. Gødningen nedfældedes ikke. Den medførte NH₃ absorberedes i Syre og bestemtes kvantitativt. Enkeltforsøgene strakte sig over 3—4 Uger.

Fra Kalkammonsalpeter, Svovlsur Ammoniak, Kalkkvælstof og Urinstof fordampede gennemsnitlig henholdsvis 1.4, 3.0, 3.3 og 6 pCt. af hele den tilførte Kvælstofmængde. Enkeltobservationerne anføres ikke i Beretningen, men det oplyses, at Tabene i Vintermaanederne var højere end om Sommeren, sandsynligvis fordi der da foregaar en livlig Nitrifikation.

Resultaterne stemmer saaledes i Hovedsagen med Ehrenbergs paa den Tid ca. 30 Aar gamle Undersøgelser. Konklusionen, som drages, er, at da alle de omtalte Gødninger oftest anvendes paa bearbejdet Jord og nedfældes, vil der i Praxis fra dem kun tabes ubetydelige Kvælstofmængder ved Ammoniakfordampning.

I Beretningen nævnes Jordens Reaktionstal, uden at dets Betydning for Ammoniakfordampningen diskuteres nærmere. I den ældre kemiske Litteratur omtales Ammoniakken stedse som flygtig ved alkalisk, men ikke ved sur Reaktion, og Ehrenberg gør, som foran nævnt, opmærksom paa, at Tilførsel af brændt Kalk fremskynder Ammoniakfordampningen fra Jorden, fordi Reaktionen derved gøres stærkt alkalisk.

Den ene af nærværende Afhandlings Forfattere har tidligere vist eksperimentelt (23), at p_H -Værdien falder, naar NH_3 bortgaar fra en Opløsning af Ammoniumsulfat, der er gjort alkalisk ($p_H = 9.0$) ved Tilsætning af NaOH. Herved aftager Ammoniakkens Flygtighed, og naar p_H -Værdien er faldet til ca. 6, standser Ammoniakfordampningen helt, skønt Størsteparten af Ammoniumsulfatet paa dette Tidspunkt endnu er tilbage i Opløsningen.

Egnér (24) diskuterer Sammenhængen mellem Ammoniumsaltopløsningers p_H -Værdi og Ammoniakdampspænding og viser, hvorledes den sidstnævnte Størrelse vokser stærkt, naar Reaktionen forskydes i alkalisk Retning.

I de saakaldte Alkalijorder, som findes mange Steder i Udlandet, kan Reaktionstallene overstige 10, og man maa derfor vente, at Ammoniaktabet under saadanne Forhold kan blive særlig stort. *Jewitt* (25) har bestemt det for Alkalijorder med Reaktionstal 9.3—10.5. Herved blandedes 20 g lufttør Jord med 0.1 Vægtprocent (0.02 g) Ammoniumsulfat opløst i 10 ml Vand. Jorden anbragtes derpaa i Erlenmeyerkolber i Lag paa 0.5 cm's Tykkelse, hvorpaa Ammoniaktabene bestemtes ved Gennemluftning og Absorption med 1 Døgns Mellemrum over en Periode paa 30 Døgn. Fordampningstabene udgjorde 13—87 pCt. af hele den tilsatte Kvælstofmængde og var, som venteligt, størst fra Jorden med det højeste Reaktionstal. Fra en Jord med p_H -Værdien 7.0 kunde under iøvrigt ens Betingelser ingen Ammoniakfordampning paavises. Det fremhæves i Afhandlingen, at Jordens Reaktion og dens Absorptionsevne er betydningsfulde Faktorer for Ammoniakfordampningens Størrelse og Forløb.

Forfatteren udtaler, at selv om Resultaterne af disse Laboratorieforsøg ikke direkte lader sig overføre paa praktiske Forhold, viser de dog, at der kan tabes betydelige Kvælstofmængder ved Ammoniakfordampning, naar Svovlsur Ammoniak benyttes til Overfladegødskning paa Jorder af den omhandlede Type. Tabet vokser med den tilførte Gødningsmængde

og foregaar fra fugtig Jord over en længere Periode. Det paa-
virkes kun i ringe Grad af Jordens Fugtighedsindhold og stand-
ser først, naar Jorden er tørret fuldstændig ud ved Overfladen.

Her i Landet har *Steenbjerg* (26) med Anvendelse af samme
Metodik som Jewitt bestemt Ammoniakfordampningens Stør-
relse efter Udstrøning af Svovlsur Ammoniak paa Jorder med
og uden Indhold af Kalciumkarbonat samt med varierende Reak-
tionstal. Ogsaa han finder ved Laboratorieundersøgelserne et
betydeligt Fordampningstab. Det vokser stærkt med stigende
Reaktionstal og Kalkindhold og udgør ved Tilsætning af 2—
10 pCt. CaCO_3 fra 10—40 pCt. af hele den tilførte Kvælstof-
mængde i Løbet af 4 Døgn. Gødningsmængden beregnet pr.
Arealenhed svarende til 450 kg pr. ha. Jordlagets Tykkelse var
1 cm.

Det paapeges i Afhandlingen, at Reaktionen og især Jordens
Stødpudevirkning over for Syre er afgørende Faktorer for Ta-
bets Størrelse. Jorder, som indeholder rigelige Mængder Kal-
ciumkarbonat, reagerer alkalisk (Rt. ca. 8) og har stor Stød-
pudevirkning over for Syre, hvorfor man paa disse iagttager
de største Tab. — Ogsaa paa Jorder, som ikke indeholder Kal-
ciumkarbonat, vil der fordampe NH_3 efter Gødskning med Svovl-
sur Ammoniak, blot Reaktionstallet overstiger en vis Værdi
(ca. 6), og de har en vis ikke for ringe Stødpudevirkning over
for Syrer. Dette er Tilfældet for de fleste danske Agerjorders
Vedkommende.

Det fremgaar tillige af Undersøgelserne, at Dækning
med et ca. 5 cm tykt Jordlag overensstem-
mende med Depardons Iagttagelser helt bring-
er Ammoniakfordampningen til Ophør. Der-
til var et Jordlag paa 1 cm's Tykkelse ikke tilstrækkeligt, naar
Saltet anbragtes under dette paa Glaskolbens Bund. Forfatteren
udtaler, at disse Laboratorieforsøgs Resultater ikke direkte lader
sig overføre paa Forholdene i Marken, hvor Gødningen kommer
i Berøring med en forholdsvis langt større Jordmængde. Hvor-
vidt de fundne Tal giver Udtryk for Størrelsesordenen af Am-
moniaktabene under Markforhold vil efter hans Mening bedst
kunne bestemmes gennem Dyrkningsforsøg paa Jorder med
forskellige Reaktionstal.

Den her foretagne Litteraturgennemgang, der ikke gør
Krav paa Fuldstændighed, leder da i Hovedtrækkene til føl-
gende Opfattelse: Der fordamper i visse Tilfælde NH_3 fra Jor-

den efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak (og andre Ammoniumsalte). Tabet vokser indtil en vis Grænse med Jordens Reaktionstal og Kalkindhold. Det kan navnlig blive stort paa Jorder med ringe Absorptionsevne som muldfattige Sandjorder, mens ler- og muldrige Jorder »binder« Ammoniakken, saa Fordampningstabet paa disse kun bliver ringe.

Ved de fleste af Laboratorieforsøgene har Gødningmængden været meget stor i Forhold til Jordmængden. De ved disse iagttagne relative Tab er derfor langt større end under tilsvarende Markforhold. Fordampningstabet bliver størst, naar Gødningen udstrøs oven paa Jorden, og vil formindskes stærkt, hvis den ved Vanding eller ad mekanisk Vej (Nedharvning) fordeles paa en større Jordmængde. Mark- og Laboratorieforsøgene viser overensstemmende, at Dækning af Gødningen med et forholdsvis tyndt Jordlag helt bringer Ammoniakfordampningen til Ophør. Det sidste er i god Overensstemmelse med Resultaterne af danske Forsøg med Ajlens Nedfældning.

III. Ammoniakfordampning fra Jordoverfladen og de Faktorer, som paavirker den.

Ammoniumsulfat vil i Berøring med fugtig Jord hurtigt og let opløses i det Vand, der som fine Hinder omgiver Jordpartiklerne. Opløsningen har en vis Ammoniakdampspænding (Ammoniaktion) og afgiver luftformig NH_3 til Atmosfæren, hvad der betinger Fordampningstabet. Dettes Størrelse afhænger af Fordampningshastigheden og Fordampningstidens Længde, idet den er en Produktsum (Integralet) af disse Størrelser. Fordampningstidens Længde lader sig vanskeligt forudsige. Den maa i Praxis dog antages at være begrænset bl. a. ved Ammoniakkens gradvise Omdannelse i Jorden til Nitrat (Nitrifikation).

Fordampningshastigheden, hvorved forstaas den Ammoniakmængde, som bortgaar pr. Tidsenhed fra et afgrænset Areal af Jordoverfladen, f. Eks. en Kvadratmeter, er ligefrem proportional med følgende Faktorer: 1) Størrelsen af den Overflade, hvormed Vædskehinderne berører Luften, 2) Dennes Afstand fra Mætningspunktet m. H. t. NH_3 under de givne Betingelser og 3) Vædskehindernes Ammoniakdampspænding. Hvor blot een af disse Faktorer er eller kan gøres forsvindende lille, vil et Fordampningstab være udelukket.

Berøringsfladens Størrelse afhænger især af Strukturen og Fugtighedsindholdet. Er Jorden »bekvem«, d. v. s. passende fugtig, vil Luften i det Net af forholdsvis grove Porer, som findes i dens øverste Lag, berøre et meget stort Antal Enkelt-partikler omgivet af Vædskehinder, og Fladen bliver da særlig stor. Foraarsbearbejdningen maa derfor antages at forbedre de fysiske Betingelser for Ammoniakfordampningen.

Er Jorden vaad og stærkt sammenfalden, vil Berøringsfladen mellem Opløsningen og Atmosfæren være næsten plan og mange Gange mindre end paa porøs, fugtig Jord og dens Størrelse nærme sig Overfladearealets.

Under Udtørring brydes Vædskehinderne gradvis, hvorved Berøringsfladens Størrelse aftager mod Nul. Der vil dog stedse i fugtig Jord findes Vædskehinder, som grænser op til Atmosfæren, og det er derfor næppe muligt i Praksis at hindre et Ammoniaktab gennem Paavirkning af disse, selv om Berøringsfladen teoretisk kan formindskes, f. Eks. ved Sammentrykning af Jorden.

Den anden Faktor, Luftens Afstand fra Mætningspunktet m. H. t. NH_3 under de givne Betingelser, afhænger af Tempoet, hvori Ammoniakdampene fjernes. Sker Fordampningen fra selve Jordoverfladen, vil de hurtigt ved Strømninger og Diffusion gaa over i Atmosfæren og fordeles i dette »uendeligt store Rum«. Luften, som er i Berøring med Vædskehinderne, forbliver praktisk talt ammoniakfri (Mætningsgrad = 0), og Fordampningen løber uhindret videre. Hvis derimod Fordampningen foregaar noget under Overfladen i Jordens Porer og Hulrum, vil den helt stillestaaende Luft i disse hurtigt tilnærmelsesvis mættes med NH_3 , hvorved Fordampningen bringes praktisk talt til Ophør. Den relativt ringe Luftmængde formaar ved Mætning kun at optage en forsvindende Brøkdel af den Ammoniakmængde, der er til Stede i opløst Form. — Denne Tilstand kan, som nævnt i Indledningen, realiseres ved Nedfældning og Dækning af Gødningen, hvorved Fordampningstab helt undgaas.

Jordvædskens Ammoniakdampspænding, $p\text{NH}_3$, efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak er i Praksis udsat for store Variationer og som Regel afgørende for Ammoniakfordampningens Hastighed og Forløb. Denne Størrelse er direkte et Maal for Luftens Indhold af Ammoniakkvælstof i Mætningstilstanden, som fremgaar af Udtrykket:

$$P = \frac{820 \times 273}{273 + t} \times p\text{NH}_3$$

Heri betyder P Antal mg Ammoniakkvælstof pr. Kubikmeter Luft, t Temperaturen i Celciusgrader og $p\text{NH}_3$ Opløsningens Ammoniakdampspænding maalt i mm Hg. Ved Temperaturen 20°C faas

$$1) \quad P = 768 \cdot p\text{NH}_3$$

For fortyndede vandige Opløsninger af NH_3 (Ammoniakvand), hvor praktisk talt hele Kvælstofmængden er til Stede som saadan, vokser $p\text{NH}_3$ lineært med Ammoniakkoncentrationen $[\text{NH}_3]$, d. v. s. Antallet af Grammolekyler NH_3 pr. l. — Flere i den kemiske Litteratur foreliggende Serier Damptrykmaalinger angiver overensstemmende, at en Opløsning, som er 1 molær m. H. t. Ammoniak ved 20°C har en Ammoniaaktension paa meget nær 10 mm Hg, hvad der fører til følgende Udtryk:

$$2) \quad p\text{NH}_3 = 10 \cdot [\text{NH}_3] \text{ mm Hg}$$

Ligningen har Gyldighed for Opløsninger indtil 4 molær, d. v. s. med et Kvælstofindhold paa ca. 5.6 Vægtprocent. $p\text{NH}_3$ vokser ret stærkt med Temperaturen, idet en Stigning heri paa 10°C vil øge den med ca. 70 pCt.

Ovenstaaende Udtryk kan anvendes til Beregning af Ammoniumsaltopløsningers Ammoniaaktension. Saadanne Opløsninger indeholder altid større eller mindre Mængder fri Ammoniak, NH_3 , hidrørende fra de tilstedeværende Ammoniumioner, NH_4^+ . Ammoniumionen har Karakter af en meget svag Syre og fraspalter Brintion efter Skemaet $\text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}^+$. Ifald Opløsningen bringes i Berøring med Stoffer, som kan optage Brintioner (Baser) forskydes Spaltningprocessens Ligevægt i Retning mod højre. En betydelig Brøkdæl af Vædskens Ammoniumioner omdannes derved til NH_3 , og den faar en kendelig Ammoniakdampspænding.

Findes der ingen Base til at optage Brintionerne, vil disse hobes op i Vædsken, som derved faar sur Reaktion. Spaltningen forløber kun i meget ringe Grad, der dannes praktisk talt ingen Ammoniak, og Vædskens Ammoniaaktension bliver forsvindende lille, d. v. s. den faar ingen Tendens til at afgive luftformig NH_3 .

Ammoniumionernes Spaltningproces følger Massevirkningsloven og forløber til en Ligevægtstilstand bestemt ved Ligningen

$\frac{[\text{NH}_3][\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+]} = K$. Heri betyder Størrelserne i Parentes Opløsningens Normalitet m. H. t. de respektive Stofgrupper. K er en konstant Størrelse, der ved Stuetemperatur har Talværdien $10^{-9,48}$.

Foreligger der en Ammoniumsaltopløsning med Normaliteten n og en gennem pH-Værdien kendt Brintionkoncentration gælder i Ligevægtstilstanden $[\text{NH}_4^+] + [\text{NH}_3] = n$, hvoraf faas $[\text{NH}_4^+] = n - [\text{NH}_3]$. Ved at indføre denne Værdi for $[\text{NH}_4^+]$ samt Talværdien for K i Massevirkningsligningen og løse denne

m. H. t. $[\text{NH}_3]$ faas: $[\text{NH}_3] = \frac{n \times 10^{-9,48}}{[\text{H}^+] + 10^{-9,48}}$. Erstattes heri

$[\text{NH}_3]$ med $\frac{p\text{NH}_3}{10}$ (Ligning 2) faas yderligere

$$3) \quad p\text{NH}_3 = 10 n \frac{10^{-9,48}}{[\text{H}^+] + 10^{-9,48}} \text{ mm Hg}$$

en Ligning, der har almindelig Gyldighed for fortyndede Ammoniumsaltopløsninger ved 20°C .

Det fremgaar af denne, at Tendensen til Ammoniakafgivelse er ligefrem proportional med saadanne Opløsningers Normalitet og aftager med voksende Værdier af deres Brintionkoncentration. Er den sidstnævnte Størrelse meget ringe, som

Tabel 1. $p\text{NH}_3$ for en 1 normal Opløsning af et Ammoniumsalt med varieret pH.
Temp. 20°C .

pH	$p\text{NH}_3$, mm Hg	mg Amm. Kv. pr. m^3 Luft ved Mætning
5.0	0.00033	0.25
5.5	0.0010	0.76
6.0	0.0033	2.51
6.5	0.010	7.60
7.0	0.033	25.4
7.5	0.10	76.0
8.0	0.32	246
8.5	0.98	755
9.0	2.43	1910
9.5	5.10	3930
10.0	7.68	4920
10.5	9.10	7000
11.0	9.74	7480
11.5	10.0	7680
12.0	10.0	7680

i Opløsninger med stærk alkalisk Reaktion bliver $[H^+]$ forsvindende sammenlignet med Nævnerens andet Led og kan derfor udelades. Man faar i dette Tilfælde $pNH_3 = 10$ n. Dette Udtryk er identisk med (2), og Opløsningen forholder sig m. H. t. Ammoniaktension som ren Ammoniakvand.

Er $[H^+]$ stor i Sammenligning med Nævnerens andet Led (f. Eks. 100 Gange større svarende til $pH = 7,48$) kan der ses bort fra dette, og man faar da $pNH_3 = 10$ n $\frac{10^{-9,48}}{[H^+]}$. Dette Ud-

tryk viser, at for Ammoniumsaltopløsninger med pH ca. 7,5 og lavere Værdier, falder Ammoniaktensionen til en Tiendedel af den oprindelige, hver Gang pH formindskes med 1. (At pH falder 1 er ensbetydende med, at $[H^+]$ vokser til det dobbelte).

Brintionkoncentrationens Indflydelse paa Ammoniumsaltopløsningers Ammoniaktension illustreres ved Tallene i Tabel 1, der er beregnede ud fra Ligning 3.

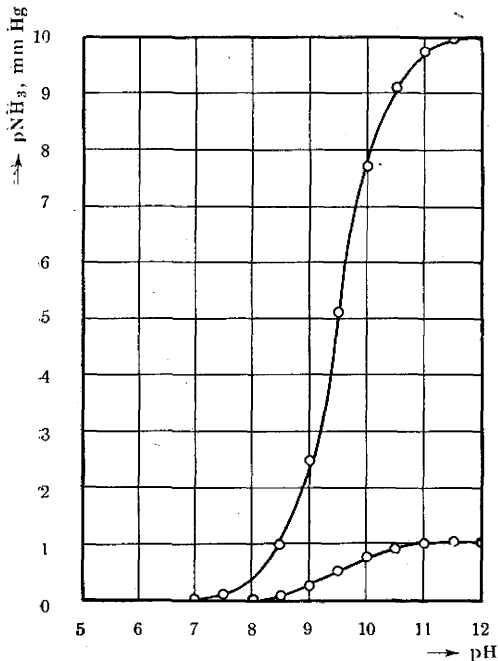


Fig. 1. Ammoniaktensionen som Funktion af pH -Værdien for Ammoniumsaltopløsninger, 1.0 og 0,1 n.

Fig. 1 viser i grafisk Fremstilling Ammoniakdampspændingen som Funktion af pH-Værdien for to Ammoniumsaltopløsninger af Normaliteterne 1,0 og 0,1. Det fremgaar heraf, at saavel pH-Værdien som Opløsningernes Normalitet har en afgørende Betydning for deres Tendens til at afgive luftformig Ammoniak.

Der kan ud fra Ligning 3 drages vigtige Slutninger om Jordvandets Ammoniakdampspænding efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak under forskellige Forhold. Ler- og muldrige Jorder har altid betydelig Stødpudevirkning over for Syrer. Naar Saltet efter Udstrøningen opløses i Jordvædsken, fikseres $[H^+]$, saa den omtrent svarer til Jordens oprindelige Reaktionstal. Ligger dette i Nærheden af 6 eller ved endnu lavere Værdier, er Vædskens Ammoniaaktension, som nævnt foran, forsvindende lille, og der vil paa saadanne Jorder ikke kunne tabes Kvælstof ved Ammoniakfordampning efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak. — Med stigende Reaktionstal vokser pNH_3 og dermed Muligheden for Kvælstoftab. De højeste Reaktionstal i danske Jorder ligger omkring 8. pNH_3 vil her have en kendelig Størrelse, saaledes at Ammoniakken nu bliver flygtig. Tillægges n Værdien 1, beregnes det let af Tallene i Tabel 1, at Luften til en Højde af 25 m under disse Omstændigheder ved Mætning formaar at optage 61 kg Ammoniakkvælstof pr. ha, samme Mængde som findes i godt 300 kg Svovlsur Ammoniak.

Antages det, at Gødningen opløses i en Vandmængde svarende til 3 mm Nedbør, vil n efter Gødskning med 400 kg Svovlsur Ammoniak pr. ha faa Værdien 0,2.

Ler- og muldfattige Jorder, der ikke indeholder Kalciumkarbonat, har kun ringe Stødpudevirkning over for Syrer. Brintioner hidrørende fra Ammoniumsaltet vil her ophobes i Jordvædsken og forskyde dens Reaktionstal i sur Retning, hvorved Ammoniakfordampningen delvis eller helt bringes til Ophør. Indeholder de derimod Kalciumkarbonat, vil dette Stof fungere som Stødpude over for Brintionerne, og da Reaktionen i saa Fald tillige er alkalisk med pH omkring 8, vil der blive gode Betingelser for Ammoniakfordampning. Det er derfor, som allerede fremhævet i de ældste Afhandlinger om Emnet, særlig paa kalkholdig Jord der kan ventes et Fordampningstab.

Talværdien af n i Ligning 3 afhænger i Praksis af den til-

førte Gødningsmængde, af Vandmængden hvori den opløses, samt af i hvilken Grad Saltet vil absorberes af Jordkolloiderne. Jo større Jord- og Vandmængder dette kommer i Berøring med, desto mindre vil n blive, idet Opløsningen herved fortyndes, mens en voksende Brøkdel af dens Ammoniumioner absorberes. Ved stærk Fortynding vil Absorptionen blive næsten fuldstændig, og n kan paa den Maade reduceres saa stærkt, at pNH_3 selv ved høje pH-Værdier bliver forsvindende lille, saaledes at Ammoniakken fastholdes uden at fordampe.

De her fremdragne Forhold forklarer, at der ved Laboratorieforsøgene i Skaale og Glaskolber gennemgaaende er iagttaget langt større Tab end under Markforhold. Der har til næsten alle disse Forsøg været anvendt Jordlag af ganske ringe Tykkelse (1 cm) og et i Forhold til Jordmængden langt større Gødningskvantum end i Marken. Værdien af n har derfor været unormal stor, og da Forsøgene tillige er udført med kalkholdige Jorder, har Opløsningens pH ligget omkring 8. pNH_3 har saaledes været forholdsvis høj, hvorved der er blevet Mulighed for betydelige Fordampningstab.

Ved Udbringning under Markforhold paa fugtig Jord og samtidig Opblanding med denne, vil Gødningen fordeles paa langt større Jord- og Vædskemængder end i Kolbeforsøgene. Har Jorden desuden høj Absorptionsevne, kan, som allerede nævnt, pNH_3 blive forsvindende lille. Dette har øjensynlig været Tilfældet i de af Ehrenberg omtalte Forsøg med kalkholdig, svær Lerjord, hvorfra Ammoniaktabet trods et Kalkindhold paa 9.5 pCt. og dertil hørende Reaktionstal omkring 8 var forsvindende lille — over en Periode paa 20 Døgn kun 0.1 pCt. af hele den tilførte Kvælstofmængde efter en Gødsning svarende til 400 kg Svovlsur Ammoniak pr. ha.

Selv hvor ingen nævneværdig Absorption finder Sted, synes n ved Gødningens Opblanding med Jorden at kunne reduceres i en saadan Grad, at Fordampningstabet bliver ubetydeligt. I Ehrenbergs foran omtalte Forsøg med kalkholdigt Sand, hvor Gødningen blandedes med de øverste 5 cm og opløstes ved Tilførsel af et 2 mm Vandlag, var det saaledes over en Periode paa 20 Dage mindre end 1 pCt. af den tilførte Kvælstofmængde. Det ringe Tab skyldes her antagelig Saltopløsningens Fortynding og Nedtrængning til dybere liggende Lag.

(Antages det, at Gødningen har været opløst i en Vandmængde paa 3 l (3 mm), og at Opløsningen har haft pH-Værdien

8, muliggør de fremlagte Forsøgsdata ved Hjælp af Ligning 3 Beregning af den gennemstrømmende Lufts Mætningsgrad m. H. t. NH_3 . Denne har i Forsøget været ca. 30 pCt. En Mangedobling af Luftstrømmens Hastighed vilde saaledes ikke have fremskyn- det Fordampningen i nævneværdig Grad og kun have øget Tabet med ca. $\frac{1}{3}$ af den fundne Værdi. Liechti og Ritters foran om- talte stærke Kritik af Ehrenbergs Forsøgsanordning synes derfor uberettiget. De af disse Forfattere paaviste høje Fordampnings- tab skyldes først og fremmest, at der her var Tale om Ajle, hvis pH-Værdi i Reglen ligger mellem 9 og 10. Ammoniak tensionen over denne er derfor mange Gange større end over Opløsninger af Ammoniumsulfat med samme Kvælstofindhold i Berøring med CaCO_3 og pH-Værdien ca. 8. (Se Fig. 1.).

Med en af Kalciumkarbonat fikseret pH-Værdi og ingen Mulighed for Absorption er det alene den tilførte Gødnings- mængde og Vandmængden, hvori den opløses, som bestemmer Størrelsen af n og dermed af $p\text{NH}_3$. Ved Overfladegødskning op- løses Saltet i det allerøverste Jordlags Fugtighed, hvorfor Kon- centrationen her kan blive temmelig stor. Saltet vil dog hurtigt diffundere nedad, saa Opløsningen gradvis fortyndes, og $p\text{NH}_3$ aftager. Hvor hurtigt denne Proces foregaar, og om der i dens første Stadier vil fordampe kendelige Mængder NH_3 , lader sig kun afgøre ad eksperimentel Vej. Det maa antages, at den, saa længe Jordens Fugtighedsgrad ikke ændres, vil fortsætte og slut- telig reducere Værdien af n i en saadan Grad, at Ammoniak- fordampningen praktisk talt ophører. I Ehrenbergs Eksperimen- ter har en forholdsvis ringe Vandtilførsel i Forbindelse med let Nedfældning, saa vidt det kan ses, været tilstrækkeligt dertil.

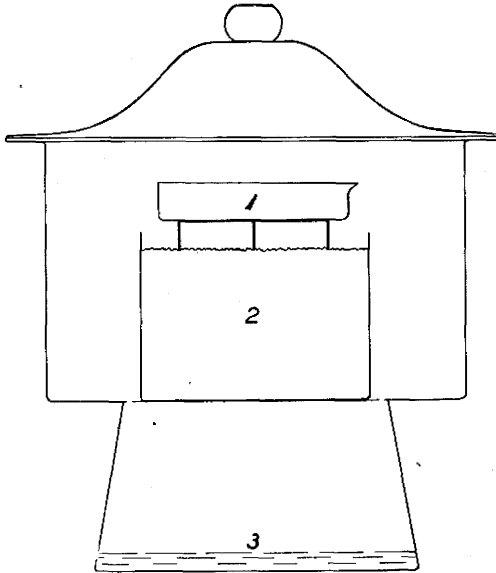
Hvis Jorden under de samme Omstændigheder tørrer ud ved Overfladen, vokser Saltkoncentrationen her som Følge af Vand- fordampningen og den opadgaaende Vandbevægelse. Der vil der- for gennem visse af Udtørringens Stadier blive Mulighed for Am- moniakfordampning. Fuldstændig Udtørring vil atter standse den, idet Systemet $\text{CaCO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ kun i Berøring med Vand har en maalelig Ammoniakdampspænding ved Stuetemperatur (5). I eet af Ehrenbergs Forsøg med Kalksand holdtes Jord- og Lufttemperaturen paa 40°C . Fordampningstabet steg derved til ca. 4 pCt. af den tilførte Kvælstofmængde over et Tidsrum paa 20 Døgn. Det angives, at de øverste 5 cm Kalk-Sandlag ved For- søgets Afslutning var fuldstændig lufttør. Udtørringen synes i dette Tilfælde at have standset Fordampningen, inden der skete større Tab af Kvælstof.

Under danske Klimaforhold bliver der antagelig kun i korte Perioder Tale om en saa skarp Udtørring. Svovlsur Ammoniak er meget let opløseligt i Vand og — efter Omstændighederne — hygroskopisk. Saltet vil derfor være tilbøjeligt til at »flyde hen« under Dannelse af mættede Opløsninger, der lægger sig som fine Hinder omkring de enkelte Sand- og Kalkkorn. Der er i saa Tilfælde god Mulighed for Ammoniakfordampning, idet n er høj, og Vædskehinderne er i direkte Berøring med Atmosfæren over dem, hvis Mætningsgrad m. H. t. NH_3 altid er forsvindende lille. Det maa derfor ventes, at der efter Overfladegødskning paa kalkholdig, næsten tør Sandjord kan ske kendelige Kvælstoftab ved Ammoniakfordampning, og at Udbringning med paafølgende Nedharvning paa gennemfugtig Jord vil reducere Tabet.

Ved Udstrøning af Svovlsur Ammoniak oven paa ler- og muldrige Jorder med høj Absorptionsevne vil Hovedmængden af Ammoniumionerne fastholdes i Jordoverfladens umiddelbare Nærhed uden ved Diffusion at fordeles paa et større Jord- og Vædskerumfang. Er Jorderne tillige alkaliske og indeholder Calciumkarbonat, vil der, som paapeget af Jewitt (25), være Mulighed for, at ogsaa en Del af den til Kolloiderne bundne Ammoniak forflygtiges og gaar tabt under Jordens Udtørring. I hvilket Omfang dette finder Sted i Marken, maa søges oplyst ad Eksperimentets Vej. Ogsaa under disse Forhold vil dog Opblanding af Gødningen med det øverste Jordlag nedsætte Fordampningstabet og kan, som bl. a. Ehrenberg har vist, gøre det ubetydeligt.

IV. Laboratorieundersøgelser over Ammoniakfordampning fra Jord.

De i det foregaaende fremsatte Teorier for Ammoniakfordampning fra Jord, som gødes med Svovlsur Ammoniak, efterprøvedes ved en Række Laboratorieeksperimenter. Fremgangsmaaden ved disse var stort set den samme som ved de fleste tidligere udførte Eksperimenter over dette Emne, d. v. s. Gødningen blev udstrøet oven paa eller blandet med Jord af forskellig Beskaffenhed og under varierende Betingelser. Den fra et afgrænset Areal bortdampede Ammoniak opfangedes i Syre og bestemtes med Mellemrum kvantitativt. Forsøgsanordningen var omtrent som den af Nivet (4) angivne. Jorden, hvorfra Fordampningen søgtes bestemt, anbragtes i et lukket Rum sammen med en flad Skaal indeholdende fortyndet Saltsyre til Optagelse af den und-



1. Skaal med Saltsyre.
2. Jord.
3. KOH-Opløsning.

Fig. 2. Apparat til Bestemmelse af Ammoniakfordampning fra Jord.

vegne Ammoniak. Mængden heraf bestemtes fra Tid til anden ved Titration, enten direkte eller efter Afdestillering. Arrangementet fremgaar af Fig. 2.

I Eksikatorens Bund var anbragt en Opløsning af KOH til at optage den fra Jorden undvegne Kuldioxyd. Hensigten med

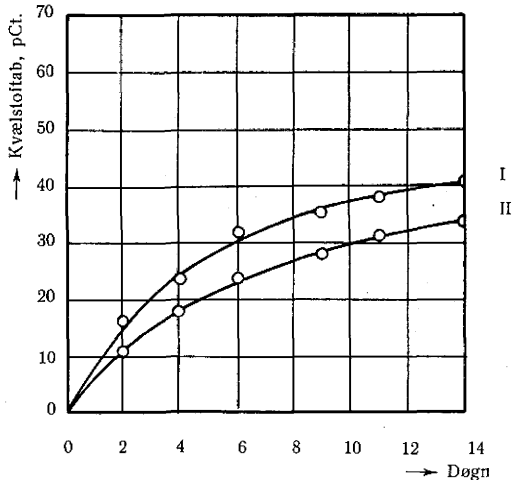
Tabel 2. Fordampningstab bestemt ved Absorptions- og ved Ventilationsmetoden.

Fordampningstid, Døgn	Fordampningstab, pCt. af tilført Kvælstofmængde	
	Absorption i lukket Rum	Absorption efter Luftgennemledning
2	11.0	16.0
4	17.8	23.1
6	23.2	31.6
9	27.8	35.0
11	30.5	37.9
14	33.4	40.5

en saadan Anordning, der ikke blev benyttet i nogen af de foran omtalte Arbejder, var at forhindre Ophobning af CO_2 i Fordampningsrummet, hvorved Ammoniakfordampningen vil trænges tilbage, eventuelt helt standses, jfr. Nivets Undersøgelser.

Der blev indledningsvis foretaget Sammenligning mellem Fordampningstabet bestemt med denne Fremgangsmaade og med den hyppigt anvendte Ventilationsmetode. Der benyttedes hertil en let Sandjord tilsat 10 pCt. findelt Kalciumkarbonat. Jordens Vandindhold var 10 pCt. Gødningen udstrøedes jævnt paa Overfladen i en Mængde svarende til 450 kg Svovlsur Ammoniak pr. ha. Resultaterne af Forsøget, der strakte sig over 2 Uger, er samlede i Tabel 2 og gengivet grafisk i Fig. 3.

Det ses, at Ammoniakfordampningen har været noget større efter Luftgennemledning end uden, men Fordampningskurverne har i begge Tilfælde den samme Form, forløber med aftagende Stejlhed og nærmer sig asymptotisk en Grænseværdi. Efter 2 Ugers Forløb er det konstaterede Fordampningstab 1,2 Gange større efter Ventilation end efter den ovenfor beskrevne Anordning, hvor Ammoniakken fjernes fra Jordoverfladen alene ved Diffusion. Den sidstnævnte Metode er derfor vel anvendelig til sammenlignende Undersøgelser over Ammoniakfordampningens Forløb, selv om den ikke, saa lidt som nogen anden Laboratorie-



I Ventilation.

II Absorption i lukket Rum.

Fig. 3. Fordampningstab bestemt ved Absorptions- og ved Ventilationsmetoden.

metode, kan ventes at give helt nøjagtige Udtryk for Tabenes Størrelse under tilsvarende Forhold i Marken.

Den første Forsøgsserie gennemførtes med et Substrat uden Absorptionsevne og med pH-Værdien fikseret i et Omraade, hvor Ammoniakken er kendelig flygtig. Dertil benyttedes fint Strandsand blandet op med 10 pCt. fædlet Kalciumkarbonat og tilsat forskellige Vandmængder. Blandingen anbragtes i aabne cylinderformede Glas med et Tværsnitsareal paa 104 Kvadratcentimeter og Højden 10 cm. Kalk-Sandlagets Tykkelse heri var 8 cm. Paa Overfladen af dette udstroedes jævnt 0.468 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ indeholdende 0.0993 g N, hvad der svarer til 450 kg Svovlsur Ammoniak pr. ha. Glassene indsattes i Eksikatorerne, der henstilledes i Laboratoriet ved Temperaturen ca. 20° C. En Oversigt over Forsøgene med Resultater af Ammoniakbestemmelserne er givet i Tabel 3.

Fig. 4 viser paa Grundlag af Tabellens Tal Fordampningstabt som Funktion af Tiden.

Fra kalkholdigt, tørt Sand bortgaar Ammoniakken under disse Omstændigheder hurtigt. I Løbet af 5 Døgn er praktisk talt hele den tilsatte Kvælstofmængde fordampet fra Blandingen. Dette skyldes, at Saltet i det vanddampmættede Rum suger Fugtighed fra Luften og »flyder hen« til en koncentreret Opløsning. Paa Grund af den ringe Vædskemængde forbliver Opløsningen ved Sandets Overflade, hvorfra Ammoniakken let diffunderer bort og absorberes i Syren.

Med tiltagende Vandindhold fordeles Saltet efterhaanden paa en større Vædskemængde og føres ved Diffusion bort fra Overfladen, hvorved Fordampningshastigheden nedsættes. Resul-

Tabel 3. Ammoniakfordampning fra kalkholdigt Strandsand med forskelligt Vandindhold.

Fordampningstid, Døgn	Fordampningstab, pCt. af tilført Kvælstofmængde				
	Lufttør	5 pCt. Vand	20 pCt. Vand	30 pCt. Vand Vandmættet	10 pCt. Vand Højt Sandlag
1	26.5	13.9	11.2	4.30	5.14
2	65.0	25.2	20.2	7.38	11.0
3	84.2	32.8	26.2	9.74	14.7
4	91.6	»	»	»	18.2
5	94.4	43.6	35.2	13.9	21.0
7	»	51.7	42.4	17.8	25.8
11	»	61.9	52.2	24.2	33.2
15	»	68.9	58.5	29.1	38.9

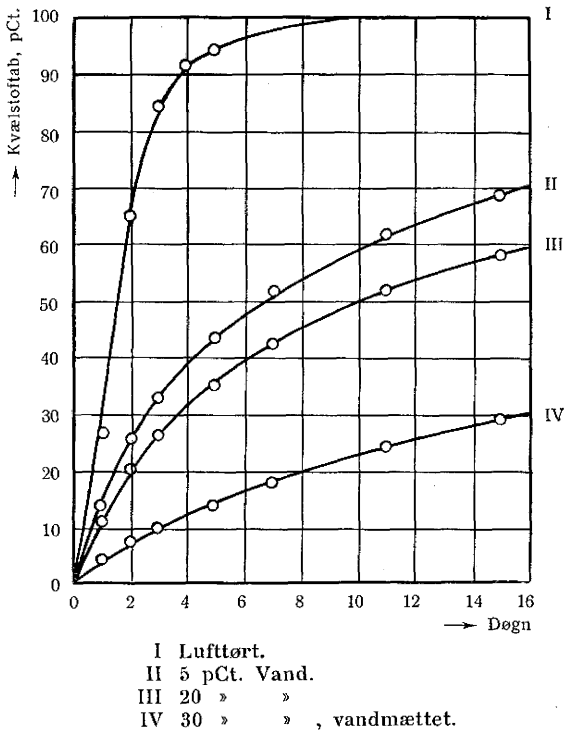


Fig. 4. Ammoniakfordampning fra Strandsand med 10 pCt. CaCO_3 .

taterne er saaledes i god Overensstemmelse med, hvad der maatte ventes. — Fordampningstabene er under de givne Betingelser høje, og Fordampningen foregaar endnu efter 14 Dages Forløb med kendelig Hastighed. Der kan derfor næppe være Tvivl om, at der efter Overfladegødskning med Svovlsur Ammoniak paa Kalk-Sandjorder uden nævneværdig Absorptionsevne vil tabes en betydelig Del af Kvælstoffet som Følge af Ammoniakfordampning. Høj Temperatur og Udtørring i Forening giver de ugunstigste Betingelser, hvorunder eventuelt alt Kvælstoffet vil kunne gaa bort som luftformigt NH_3 .

Sandlagets Tykkelse i Forsøgene var, som nævnt, kun 8 cm. Under lignende Forhold i Marken vil Saltet teoretisk kunne trænge ned til større Dybde, hvorved Fordampningstabet skulde reduceres. For at afgøre om dette er Tilfældet udførtes et nyt

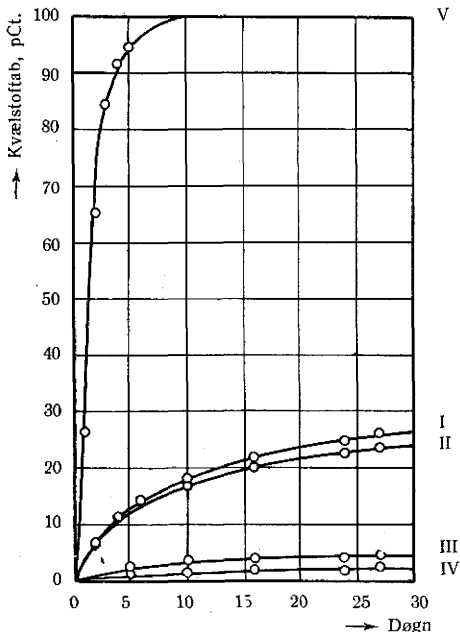
Forsøg under lignende Omstændigheder som det af Ehrenberg beskrevne. Kalk-Sandlagets Tykkelse var henved 30 cm og dets Vandindhold 10 pCt. Gødningen udstroedes jævnt paa Overfladen, opløstes ved Tilsætning af et 2 mm Vandlag og nedkradse- des til en Dybde af 5 cm, hvorefter Beholderen lukkedes, og den undvegne Ammoniak bestemtes efter Absorption paa sædvanlig Maade. Resultaterne af disse Bestemmelser er opført i den sidste Kolonne i Tabel 3.

Det ses, at der ogsaa i dette Tilfælde er sket en betydelig Ammoniakfordampning, idet 38 pCt. af den tilsatte Mængde Kvælstof er undveget i Løbet af 2 Uger. Let Nedfældning har saaledes under disse Omstændigheder ikke kunnet hindre en kraftig Ammoniakfordampning. (Dette Resultat afviger stærkt fra Ehrenbergs, uden at Aarsagen dertil kan angives med Sikkerhed). Den bedste Vej dertil er antagelig fuldstændig Tildækning af Gødningen ved Nedpløjning, men der kan selv i dette Tilfælde blive Mulighed for Ammoniakfordampning, idet en Del af Saltet ved Diffusion vil kunne føres op til Overfladen.

Absorptionens Indflydelse paa Ammoniakfordampningen søgtes belyst ved at optegne Fordampningskurver for ler- og muldrige Jorder med Tilsætning af Kalciumkarbonat. Til den første Forsøgsserie anvendtes en ret muldrig, svær Lerjord fra Landbohøjskolens Forsøgsmark. Jorden

Tabel 4. Ammoniakfordampning fra kalkholdig, svær Lerjord med forskelligt Vandindhold efter Overfladegødskning med Svovlsur Ammoniak.

Fordamp- ningstid, Døgn	Fordampningstab, pCt. af tilført Kvælstofmængde			
	Jord tilsat 10 pCt. CaCO ₃ og 5 pCt. Vand	10 pCt. Vand	20 pCt. Vand	Ingen Kalktilsætning 17 pCt. Vand
1	4.04	4.10	0.86	0.36
2	7.38	7.06	1.51	0.65
3	9.79	9.29	2.10	0.95
4	11.70	11.06	2.48	1.03
5	12.93	12.25	2.68	1.09
6	14.27	13.43	2.96	1.21
8	16.49	15.40	3.29	1.33
10	18.09	16.85	3.43	1.43
16	21.82	20.08	3.67	1.55
24	24.70	22.38	3.92	1.67
27	26.19	23.40	4.09	1.67



- I Jord tilsat 10 pCt. CaCO_3 , 5 pCt. Vand.
 II » » 10 » » , 10 » »
 III » » 10 » » . 20 » »
 IV Jord uden Kalktilsætning, 17 » »
 V Lufttørt Sand med 10 pCt. CaCO_3 .

Fig. 5. Ammoniakfordampning fra kalkholdig, svær Lerjord med forskelligt Vandindhold.

bruser med Syre, indeholder 0.4 pCt. CaCO_3 og 2.7 pCt. »Humus«. Dens pH-Værdi er 7.2 og efter Tilsætning af 10 pCt. CaCO_3 7.9. Gødningen fordeltes jævnt oven paa Jorden i Mængder svarende til 450 kg Svovlsur Ammoniak pr. ha. Resultaterne fra denne Forsøgsserie er samlede i Tabel 4 og Fordampningskurverne paa Grundlag af Tallene optegnet i Fig. 5, hvor den tilsvarende Kurve for lufttørt Kalk-Sand er medtaget til Sammenligning.

Absorptionens afgørende Indflydelse paa Fordampningen ses heraf umiddelbart og er stærkt iøjnefaldende. Skønt alkalisk og med et Indhold paa 10 pCt. CaCO_3 formaar Jorden i udpræget Grad at fastholde Ammoniakken efter Gødningens Udstrømning paa dens Overflade. Ammoniakafgangen foregaar med aftagende Hastighed og er efter 27 Døgns Forløb praktisk talt ophørt. Fra Jorden med 5 pCt. Vand, der kan betegnes som lufttør,

er paa dette Tidspunkt 26 pCt. af den tilførte Ammoniakmængde fordampet. — Fra lufttørt Kalk-Sand uden nogen Absorptions-
evne fordamper 95 pCt. af den tilsatte Ammoniakmængde i Løbet
af 5 Døgn.

Med voksende Fugtighedsgrad aftager Fordampningshastig-
heden paa lignende Maade som fra Kalk-Sand Blandingen. Det
er bemærkelsesværdigt, at en Stigning i Vandindhold fra 10 til
20 pCt. reducerer Fordampningstabet fra 23 til kun 4 pCt. af den
tilsatte Ammoniakmængde. Ved Anvendelse af denne den største
Vandmængde var Krummestrukturen gaaet tabt og Jorden blevet
vaad og sammenfalden omtrent som ved Efteraars- og Vinter-
regnets Paavirkning under Markforhold. Grunden til at Ammo-
niakfordampningen herved næsten bringes til Ophør er antagelig
dels det høje Vandindhold, som bevirker, at Gødningen fordeles
paa en større Jord- og Vandmængde, dels Strukturændringen,
som reducerer Størrelsen af Berøringsfladen mellem Atmosfæren
og Vædskehinderne.

Udtørringens Indflydelse paa Fordampningen under disse
Forhold undersøgte i et særligt Forsøg. Den fugtige Kalk-Ler-
jordsblanding anbragtes i et tørt Fordampningsrum tilvejebragt
ved at benytte koncentreret Svovlsyre til Ammoniakabsorptionen.
Syren, som ogsaa vil indsuge Vanddampene, fornyedes med Mel-
lemrum, og den absorberede Ammoniakmængde bestemtes ved
Afdestillering. Efter 4 Ugers Forløb var 61 g eller ca. 25 pCt. af
Jordprøvens hele Vandindhold fordampet fra dens Overflade,
som da var næsten tørt ud og havde dannet Skorpe. Samtidig
var 6.5 pCt. af den tilsatte Ammoniakmængde fordampet, og
Ammoniakfordampningen var paa dette Tidspunkt praktisk talt
hørt op. Gennem de følgende 3 Uger konstateredes et Tab paa
knap 1 pCt., hvad der ligger i Nærheden af Forsøgsfejls
Grænse. — Udtørring ved Overfladen har saaledes ikke øget For-
dampningstabet nævneværdigt.

Dækningens, Opblandingsens og Jord-
mængdens Indflydelse paa Ammoniakfordampningen
fra den samme Jord undersøgte i en særlig Forsøgsserie, hvis
Resultater er gengivne i Tabel 5 og opført grafisk i Fig. 6.

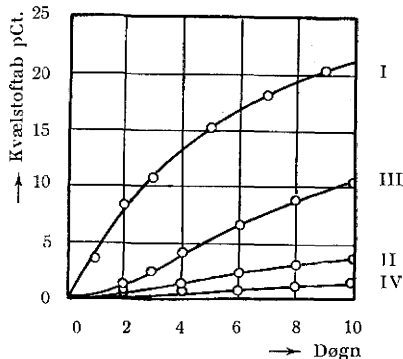
Vandindholdet var i alle Prøver det samme, 17.5 pCt., og
Jorden i udpræget Krummestruktur.

Tabellens Tal og Figurens Kurver viser klart Nedfældnin-
gens Betydning. Efter Overfladegødskning med Svovlsur Am-
moniak paa kalkrig, svær Lerjord fordamper NH_3 i hurtigt

Tabel 5. Dækningens, Opblandings og Jordmængdens Indflydelse paa Ammoniakfordampningen fra Lerjord tilsat 10 pCt. Kalciumpkarbonat.

Fordampningstid, Døgn	Fordampningstab, pCt. af tilført Kvælstofmængde			
	Udstrøning paa Overfladen	Let Nedfældning	Dækning med 1 cm Jord paa Glasunderlag	Dækning med 1 cm Jord. 7 cm Jord under
1	3.55	0.34	0.36	0.17
2	8.44	0.60	1.13	0.29
3	10.67	1.04	2.60	0.57
4	13.24	1.43	4.00	0.67
5	15.10	1.81	5.28	0.79
6	16.72	2.18	6.50	0.93
7	17.99	2.56	7.65	1.14
8	19.21	2.93	8.63	1.28
9	20.21	3.31	»	»
10	21.12	3.65	10.25	1.45

Tempo. Fordampningstabet udgør efter 10 Døgn Forløb 21 pCt. af hele Gødningsmængden. (Efter yderligere 10 Døgn var det vokset til 25,8 pCt., og Fordampningen var paa dette Tidspunkt praktisk talt hørt op). Let Nedfældning ved at blande Gødningen med den kalkrige Jord til 5 cm's Dybde nedsætter Fordampningstabet til 3,6 pCt. over en Periode paa 10 Døgn. Efter endnu 10 Døgn Forløb konstateredes her et samlet Tab paa 5,3 pCt., hvad der omtrent vil svare til Maksimum under de givne Betingelser.



I. Overfladegødskning (8 cm Jordlag)
 II. Let Nedfældning (Nedkradsning til 5 cm)
 III. Dækning med 1 cm Jord paa Glasplade
 IV. Dækning med 1 cm Jord. 7 cm Jord under.

Fig. 6. Dækningens og Jordmængdens Indflydelse paa Ammoniakfordampningen.

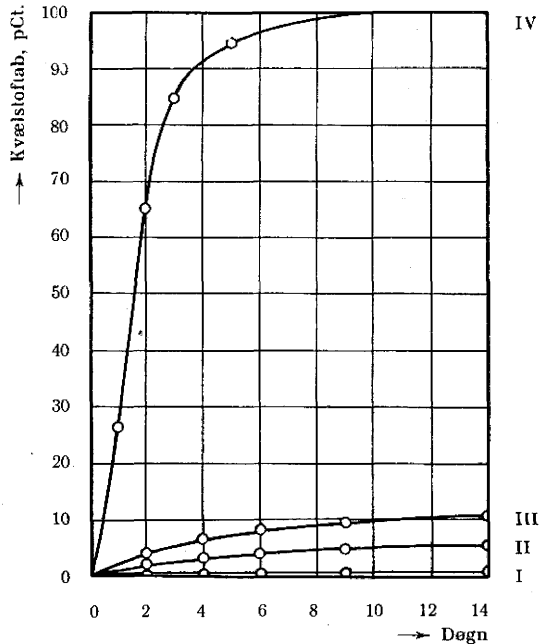
Dækning af Gødningen paa Glasunderlag med Jord af 1 cm's Tykkelse nedsætter de første Døgn Tabet stærkt. Paa Grund af den i Forhold til Gødningsmængden lille Jordmængde, naar Ammoniakken dog snart frem til Overfladen, og Fordampningshastigheden vokser. Kurvens Form viser (III), at den i Forsøgets sidste Stadier under disse Betingelser er lige saa stor som efter Overfladegødskning paa det tykkere Jordlag og næsten konstant. Ved at udstrække Forsøget over en længere Periode vil der her utvivlsomt blive Tale om meget betydelige Kvælstoftab. Dette stemmer med, at der ved saa mange af Laboratorieforsøgene med smaa Jordmængder er fundet relativt store Fordampningstab.

Naar Gødningen dækkes med et 1 cm tykt Jordlag, efter at den er udstrøet oven paa et 7 cm Jordlag, nedsættes Fordampningstabet til kun 1,45 pCt. af den tilførte Kvælstofmængde i Løbet af 10 Døgn, og Fordampningen er ved denne Periodes Afslutning praktisk talt ophørt. — Aarsagen er uden Tvivl den, at Ammoniakken under disse Omstændigheder fortrinsvis diffunderer nedad og fordeles paa hele det 8 cm tykke Jordlag, hvorved Fordampningen trænges stærkt tilbage, hvad der dels skyldes Fortynding og Absorption, dels et forøget Indhold af NH_3 i den stillestaaende Jordluft.

Den næste Forsøgsserie anstilledes med en kalkholdig Humusjord (Bladjord) fra Landbohøjskolens Have. Indholdet af organisk Stof var 25,5 pCt., af Kalciumkarbonat 3,5 pCt. og pH-Værdien 7,1. Jorden anvendtes dels med, dels uden Til sætning af 10 pCt. Kalciumkarbonat. Der tilførtes Svovlsur Ammoniak svarende til 450 kg pr. ha ved Overfladegødskning og

Tabel 6. Ammoniakfordampning fra kalkholdig Humusjord efter Tilførsel af Svovlsur Ammoniak.

Fordampningstid, Døgn	Fordampningstab, pCt. af tilført Kvælstofmængde			
	Med Kalktilsætning		Uden Kalktilsætning	
	Overflade	Dækket	Overflade	Dækket
1	2.30	0.03	1.15	0
2	3.82	0.06	1.87	0.01
4	6.02	0.21	3.05	0.04
6	7.72	0.36	4.04	0.14
9	9.42	0.54	4.96	0.26
14	10.83	0.71	5.74	0.41



- I. Jord tilsat 10 pCt. CaCO_3 . Dækket med 1 cm Jord.
 II. Jord uden Kalktilsætning. Overfladegødskning.
 III. Jord tilsat 10 pCt. CaCO_3 . »
 IV. Lufttørt Sand tilsat 10 pCt. CaCO_3 .

Fig. 7. Ammoniakfordampning fra kalkholdig, humusrig Havejord.

dækket med et Jordlag paa 1 cm. Jorden var »passende fugtig« — ikke vaad — med et Vandindhold paa 50 pCt. Forsøgsresultaterne findes opført i Tabel 6 og er vist grafisk i Fig. 7.

Det fremgaar heraf, at Dækning med et Jordlag paa 1 cm praktisk talt standser Fordampningen. Efter Overfladegødskning fordamper over en Periode paa 2 Uger ca. 6 og ca. 11 pCt. af den tilsatte Ammoniakmængde ved et Kalciumkarbonatindhold af henholdsvis 3,5 og 13,5 Vægtprocent. Kurverne viser, at Fordampningen ved Periodens Afslutning næsten er hørt op. Absorptionens Betydning for Ammoniakfordampningen er saaledes ogsaa her meget iøjnefaldende.

De her beskrevne Forsøgsrækker med stærkt kalkholdige ler- og humusrige Jorder viser overensstemmende med den allerede af Liebig fremsatte Antagelse, at saadanne Jorders Evne til at

»binde« Ammoniumsalte modvirker Tendensen til Ammoniakforflygtigelse. Der kan vel efter Udstrøning af Svovlsur Ammoniak paa deres Overflade iagttages ret betydelige Fordampningstab, men blot en let Nedfældning reducerer disse til Ubetydeligheder.

Et Tab har dog ved vore Undersøgelser stedse kunnet paa-vises, mens det ved Ehrenbergs foran omtalte Forsøg med svær Lerjord indeholdende 9,5 pCt. CaCO_3 var forsvindende ringe. Aarsagen dertil er muligvis, at Jorden, der anvendtes til disse har absorberet Ammoniakken kraftigere end de af os benyttede.

Jorder med forskelligt Reaktionstal og Kalkindhold. De bedste Betingelser for Kvælstoftab efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak vil da findes paa »lette« Jorder med ringe Absorptionsevne, som indeholder rigelige Mængder Kalciumkarbonat. Kalciumkarbonatrige Jorder findes i Danmark kun, hvor Kridtformationen enkelte Steder naar frem til Jordoverfladen. — Af saadanne Jorder undersøgte to udtaget paa Aalborgegnen. Den ene af disse havde Betegnelsen *ren Kalkjord* og bestod af lerblandet Kalciumkarbonat med et Indhold af sidstnævnte Stof paa 65 pCt. Den anden, som førte Betegnelsen *Kalkmuld*, indeholdt 39 pCt. CaCO_3 . pH-Værdierne i vandig Opslemning var henholdsvis 7,95 og 8,00. Forsøgene anstilledes paa sædvanlig Maade med et Jordlag paa 8 cm, og Svovlsur Ammoniak i en Mængde svarende til 450 kg pr. ha tilførtes dels paa Overfladen, dels dækket med et Jordlag paa 1 cm. Jorderne indeholdt i Forsøgsperioden henholdsvis 25 og 20 pCt. Vand og var i udpræget Krummestruktur. Forsøgsresultaterne er opført i Tabel 7 og fremstillet grafisk i Fig. 8.

Kurverne viser, som venteligt var, at der fra Kalkjorder

Tabel 7. Ammoniakfordampning fra Jorder med højt Indhold af Kalciumkarbonat efter Tilførsel af Svovlsur Ammoniak.

Fordampningstid Døgn	Fordampningstab, pCt. af tilført Kvælstofmængde			
	»Ren Kalkjord«		»Kalkmuld«	
	Overflade	Dækket	Overflade	Dækket
1	6.66	0.36	4.38	0.27
2	10.63	0.66	6.78	0.48
4	16.14	1.48	10.17	1.02
6	19.60	2.16	12.15	1.23
9	21.69	3.00	13.42	1.38
14	23.30	3.74	13.98	1.65

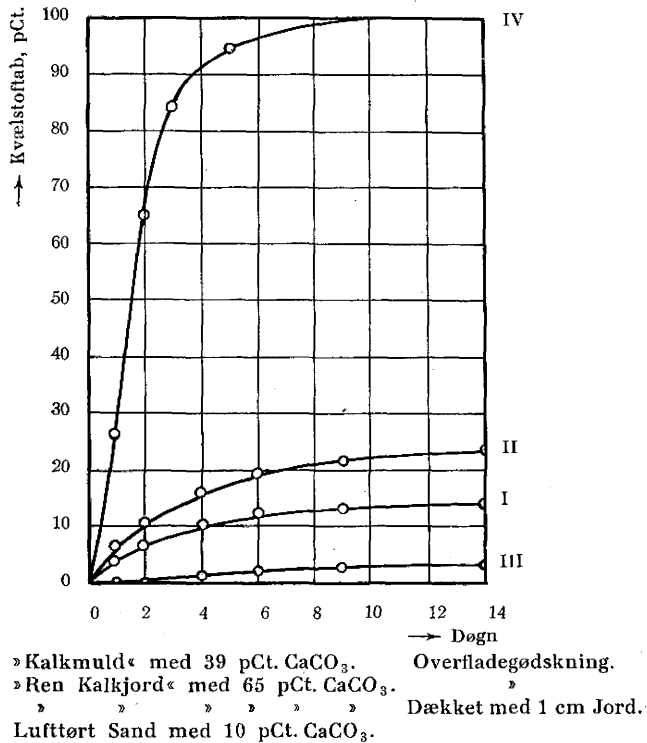


Fig. 8. Ammoniakfordampning fra »Kalkjorder«.

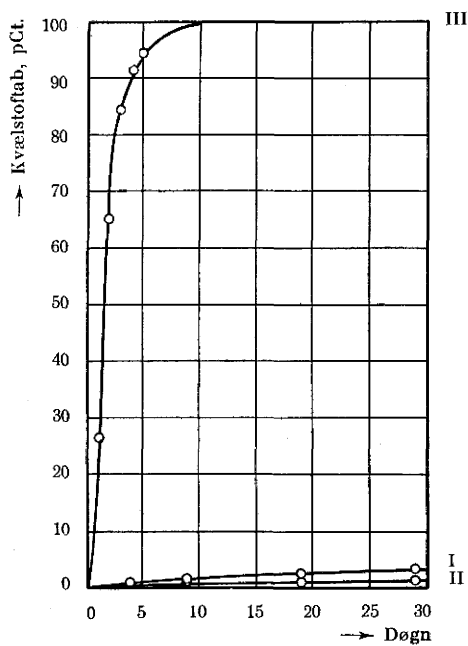
sker en ret livlig Ammoniakfordampning efter Overfladegødskning med Svovlsur Ammoniak. Fordampningen sker dog trods det meget høje Kalkindhold ikke lige saa hurtigt som fra tørt Strandsand med 10 pCt. Kalciumkarbonat, og er omtrent hørt op efter 2 Ugers Forløb, hvad der sikkert skyldes de naturlige Kalkjorders Indhold af Ler- og Humuskolloider. Ogsaa her har Dækning med et Jordlag paa 1 cm praktisk talt hindret Fordampning.

Jordbunden i saa at sige hele Danmark er opstaaet paa glaciale og postglaciale Sand- og Lerflejringer, og hvor disse oprindeligt har været kalciumkarbonatholdige, er Kalken nu forlængst udvasket fra Pløjelaget, hvorved Jordbundsreaktionen er blevet mere eller mindre sur. Ved Grundforbedring med Tilførsel af Jordbrugskalk eller Mergel forskydes Reaktionen i alkalisk Retning, og Jordbunden kommer i kortere eller længere Perioder til at indeholde Kalciumkarbonat. Mængden heraf vil dog selv efter kraftig Kalkning sjældent overstige nogle faa

Tabel 8. Ammoniakfordampning fra Jordprøver fra Kalkforsøg paa Lundgaard. Let Sandmuld. Jordlagets Tykkelse 8 cm. Vandindhold 10 pCt. Overfladegødskning med Svovlsur Ammoniak svarende til 450 kg pr. ha.

Fordampningstid, Døgn	Fordampningstab, pCt. af tilført Kvælstofmængde				
	Ukalket Rt. 5.15	4 Tons Kalk/ha Rt. 5.60	8 Tons Kalk/ha Rt. 6.01	16 Tons Kalk/ha Rt. 6.22	32 Tons Kalk/ha Rt. 6.91
1	0.42	0.40	0.25	0.18	0.26
2	0.66	0.57	0.40	0.35	0.51
4	0.81	0.72	0.54	0.51	0.83
9	0.96	0.99	0.68	0.71	1.40
19	1.21	1.42	0.90	1.06	2.40
29	1.64	1.85	1.19	1.27	3.23

Tiendedele Procent og vil oftest være forsvindende lille. Betingelserne for Ammoniaktab ved Fordampning efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak vil derfor i Praxis gennemgaende



I. 32 Tons CaCO_3 . Rt. 6.91.

II. 16 Tons CaCO_3 . Rt. 6.22.

III. Lufttørt Sand med 10 pCt. CaCO_3 .

Fig. 9. Ammoniakfordampning fra let Sandjord. Kalkforsøget paa Lundgaard. Overfladegødskning.

være langt ringere end ved de foran omtalte Laboratorieeksperimenter.

For at faa et Skøn over Kalkningens Indflydelse paa Ammoniakfordampningen gennemførtes Forsøgsserier med Anvendelse af Jordprøver fra Markforsøg med stigende Kalkmængder. Resultaterne heraf findes i Tabel 8 og Tabel 9, mens Fig. 9 og og Fig. 10 viser disse i grafisk Fremstilling.

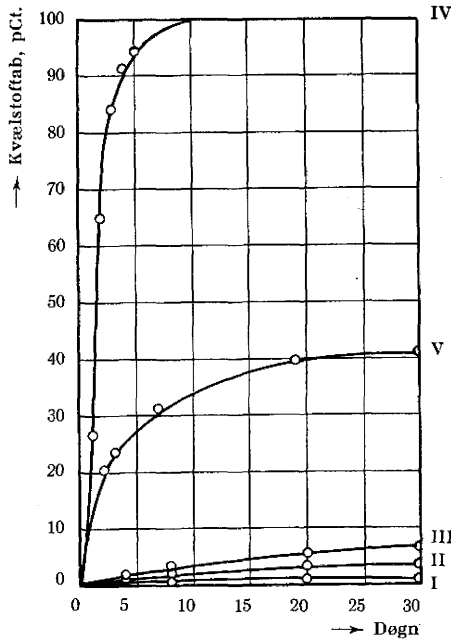
Jordprøverne fra Lundgaard udviser alle kun et meget ringe Kvælstoftab ved Fordampning efter Overfladegødskning med Svovlsur Ammoniak. De fleste af de fundne Tal ligger i Nærheden af Analysens Fejlgrænse. Efter største Kalktilførsel er Tabet dog umiskendeligt og udgør efter en Maanedes Forløb 3 pCt. af den tilførte Kvælstofmængde. Et særligt Forsøg med Nedkradsning af Gødningen til 5 cm's Dybde paa samme Jord gav praktisk talt samme Resultat. Reaktionstallet ligger i dette Tilfælde omkring 7. I Praksis vil det sjældent paa Sandjorder komme derover, og der vil derfor her sjældent tabes paaviselige Kvælstofmængder ved Fordampning efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak.

Fra Lerjorden, som er tilført 32 Tons Kalk pr. ha og har Reaktionstal 7,7, tabes efter Overfladegødskning med 450 kg Svovlsur Ammoniak pr. ha i Løbet af en Maaned godt 6 pCt. af Kvælstoffet ved Fordampning. Kurvens Form viser, at Fordampningen ved Forsøgets Afslutning næsten er ophørt.

Jorden, som er tilført 16 Tons Kalk pr. ha, har Reaktionstal 7,3. Ogsaa fra denne fordamper der Ammoniak, og Fordampningskurven har samme Form som for den stærkest kalkede

Tabel 9. Ammoniakfordampning fra Jordprøver fra Kalkforsøget paa Rønhave. Svær, muldfattig Lerjord. Lagtykkelsen 8 cm. Vandindhold 15 pCt. Overfladegødskning svarende til 450 kg Svovlsur Ammoniak pr. ha.

Fordampningstid, Døgn	Fordampningstab, pCt. af tilført Kvælstofmængde			
	Ukalket Rt. 5.9	4 Tons Kalk/ha Rt. 6.2	16 Tons Kalk/ha Rt. 7.3	32 Tons Kalk/ha Rt. 7.7
1	0.20	0.17	0.37	0.47
2	0.20	0.23	0.67	0.95
4	0.44	0.40	1.30	1.94
8	0.55	0.66	2.21	3.50
20	0.60	0.99	3.20	5.73
30	0.66	1.08	3.56	6.40



- I. 4 Tons CaCO_3 . Rt. 6,2.
 II. 16 » » Rt. 7,3.
 III. 32 » » Rt. 7,7.
 IV. Lufttørt Sand med 10 pCt. CaCO_3 .
 V. 16 Tons CaCO_3 . Ammoniumkarbonat.

Fig. 10. Ammoniakfordampning fra svær Lerjord. Kalkforsøget paa Rønhave. Overfladegødskning.

Jord. Tabet udgør gennem en Maaned 3,4 pCt. af den tilførte Kvælstofmængde. Fra ukalket Jord og efter mindste Kalkning er Tabene inden for samme Tidsrum ubetydelige, men Kalktilførselens Indflydelse paa Fordampningen dog paaviselig.

Kun faa danske Lerjorder frembyder bedre Betingelser for Ammoniakfordampning end den stærkest kalkede i Rønhave-Forsøget. Overfladegødskning med Svovlsur Ammoniak paa denne Jordtype vil derfor sjældent i Praksis give Anledning til større Fordampningstab end de fundne 6 pCt. Oftest vil Tabet være langt mindre, og dets Størrelse lader sig derfor vanskeligt bestemme ad Dyrkningsforsøgets Vej.

Danske Forsøg med Ajlens Nedefældning har stedse givet store og sikre Udslag til Gunst herfor, og antyder saaledes, at Overfladegødskning med Ajle giver Anledning til langt større

Fordampningstab end Overfladegødskning med Svovlsur Ammoniak selv paa næsten kalkmættet Jord. Der er tidligere ved Laboratorieforsøg her i Landet (23) direkte paavist Fordampningstab paa indtil 30 pCt. af det med Ajlen tilførte Ammoniakkvælstof i Løbet af 12 Timer, og Fordampningskurvens Form viste, at Tabene her oftest vil overstige 50 pCt. af den tilførte Kvælstofmængde. Dette skyldes dels, som nævnt foran, at Ajlen har stærk alkalisk Reaktion, dels at Ajlekvælstoffet overvejende er til Stede som opløst Ammoniumkarbonat, der vil afgive NH_3 efter Skemaet $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow 2 \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$.

For at sammenligne Forløbet af denne Proces med Ammoniakfordampningen fra Svovlsur Ammoniak gennemførtes en Forsøgsserie med Anvendelse af Jordprøver fra Rønhave-Forsøget, saaledes at de i Stedet for Svovlsur Ammoniak tilførtes Ammoniumkarbonat (NH_4HCO_3) under iøvrigt ens Forhold. Resultaterne heraf er samlede i Tabel 10.

Tallene viser, at Fordampningstabene under disse Omstændigheder er af en anden Størrelsesorden, paa »ukalket« nu ca. 30 pCt. mod kun 0,6 pCt. efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak. Stigende Reaktionsal og Kalktilførsel øger vel Tabet, men kun i forholdsvis ringe Grad. Fordampningskurven for »16 Tons Kalk« er til Sammenligning indtegnet i Diagrammet Fig. 10. Den viser i Overensstemmelse med tidligere udførte Laboratorie- og Markforsøg, at der gennemgaaende maa regnes med langt større Fordampningstab efter Over-

Tabel 10. Ammoniakfordampning fra Jordprøver i Kalkforsøget Rønhave. Svær, muldfattig Lerjord. Lagtykkelse 8 cm. Vandindhold 15 pCt. Overfladegødskning med Ammoniumkarbonat svarende til 450 kg Svovlsur Ammoniak pr. ha.

Fordampningstid, Døgn	Fordampningstab, pCt. af tilført Kvælstofmængde			
	Ukalket	4 Tons Kalk/ha	16 Tons Kalk/ha	32 Tons Kalk/ha
1	14.6	14.6	16.2	12.5
2	19.1	18.1	20.5	16.2
3	21.5	20.6	23.7	18.9
7	25.3	25.9	31.5	26.0
19	28.9	28.8	39.8	35.2
30	30.7	29.1	41.1	37.9

fladegødskning med Ajle end tilsvarende med Svovlsur Ammoniak. Det fremgaar tillige af Kurvens Form, at Tabet nærmer sig en Grænseværdi — i dette Tilfælde ca. 45 pCt. af den anvendte Kvælstofmængde — hvad der maa antages at skyldes Ammoniumionernes Absorption og gradvise Fordeling paa større Jord- og Vædskemængder.

V. Praktiske Konklusioner.

Det vil ud fra den foretagne Litteraturgennemgang og paa Grundlag af de udførte Eksperimenter formentlig være berettiget at drage følgende Slutninger med Henblik paa praktiske Forhold: Efter Gødskning med Svovlsur Ammoniak (og andre Ammoniumsalte af stærke Syrer) kan en Del af Kvælstoffet gaa tabt ved Ammoniakfordampning. Tabene er dog gennemgaaende langt ringere end ved Anvendelsen af Staldgødning eller Ajle og i de fleste Tilfælde ubetydelige.

Risikoen for et Kvælstoftab vokser med Jordens Temperatur, med dens Reaktionstal og Kalciumkarbonatindhold samt med et aftagende Vandindhold. Et højt Ler- og Muldindhold ned sætter Tabsmulighederne stærkt, idet disse Jordbestanddele fastholder Ammoniakken ved Absorption. Størst Mulighed for Kvælstoftab ved Gødskning med Svovlsur Ammoniak frembyder egentlige Kalkjorder med et Indhold paa adskillige Procent Kalciumkarbonat og — som Følge deraf — Reaktionstal omkring 8. Er de tillige ler- og muldfattige (Kalk-Sandjorder), vil efter Overfladegødskning paa delvis udtørret Jord Størsteparten af Kvælstoffet tabes. Nedfældning forhindrer ikke altid Tab, hvorfor Anvendelse af Svovlsur Ammoniak som Kvælstofgødning under saadanne Omstændigheder maa fraraades.

Kalkjorder findes kun faa Steder i Danmark. De allerfleste af vore Agerjorder indeholder intet eller blot en ganske ringe Mængde Kalciumkarbonat og har Reaktionstal, der ligger under 7,5. Ved Reaktionstal lavere end 6 er et kendeligt Fordampningstab udelukket, og først ved Tal over 7 faar det i visse Tilfælde praktisk Betydning.

Tabet kan modvirkes og antagelig praktisk talt forhindres gennem Tilpasning af Udbringningstiden og -maaden. Tidlig Foraarsudbringning paa stærk fugtig eller vaad Jord vil bidrage til at fordele Gødningen paa en større Jord- og Vædske-

mængde, hvorved den efterhaanden føres bort fra Overfladen, mens Ammoniakken bindes af Ler- og Humuskolloiderne. Den lave Temperatur paa dette Tidspunkt vil yderligere nedsætte Tendensen til Ammoniakfordampning.

Ved senere Udbringning paa foraarsbehandlet porøs Jord med relativ høj Temperatur og et ringe Vandindhold bør Svovlsur Ammoniak altid nedharves. Paa Græsmarker, hvor der som Følge af høje Reaktionstal kan blive Tale om Ammoniakfordampning, og hvor Nedfældning jo ikke er mulig, udbringes Svovlsur Ammoniak bedst i eller forud for Regnvejr. Vandtilførselen vil da fremme Gødningens Opløsning, Nedsivning og Absorption.

Paa Eng- og Mosearealer vil der paa Grund af Jordens høje Humusindhold og lave Reaktionstal sjældent tabes Kvælstof ved Ammoniakfordampning efter Gødkning med Svovlsur Ammoniak.

English Summary.

Loss of ammonia by evaporation from ammonium sulfate applied to soils.

An extensive literature exists on this subject dating back more than one hundred years. However many of the statements are contradictory. From the entire series of laboratory and field experiments it seems as if evaporation of NH_3 may take place when ammonium sulfate is used as top dressing on calcareous soils with a small absorptive power. The nitrogen loss is greatly reduced if the fertilizer is mixed with the soil and there is no nitrogen loss at all when the fertilizer is covered by a thin soil layer.

In many laboratory experiments (4-5-6-8-9-10) the losses found were quite considerable and of economic importance. In proportion to the amount of soil used, much more fertilizer was applied than under ordinary field conditions. In field experiments (11-12-13-15) and in other laboratory experiments with much wider fertilizer-soil ratio (7-16-21), ammonia losses were either so small as to be of no importance, or could be checked by harrowing or ploughing the fertilizer under.

When sulfate of ammonia is spread on top of a moist soil it dissolves rapidly. The solution forms thin films around the soil particles and shows a certain ammonia-vapour tension. The rate of ammonia evaporation is directly proportional to each of the following factors: 1) Size of the contact surface between the solution and the atmosphere. This depends chief-

ly upon soil structure. Within one square foot it is many times larger on a well granulated than on a wet soil. 2) The saturation deficit of the air with regard to NH_3 . If evaporation takes place from the surface of the soil NH_3 will mix rapidly with the atmosphere above in which the saturation deficit is kept close to 100 pCt. If evaporation takes place below the surface of the soil, the relatively small quantity of soil air will soon become nearly saturated with NH_3 which practically stops further evaporation. 3) The ammonia vapour tension or $p\text{NH}_3$ of the solution. For this the following expression was derived:

$$p\text{NH}_3 = 10n \cdot \frac{10^{-9.48}}{[\text{H}^+] + 10^{-9.48}} \text{ mm Hg at } 20^\circ \text{ C.}$$

In this equation n designates the total concentration or normality of the ammonium salt solution, $[\text{H}^+]$ its hydrogen ion concentration. Fig. 1 shows $p\text{NH}_3$ calculated from the equation as functions of pH for 1.0 and 0.1 n. ammonium salt solutions.

When ammonium sulfate is dissolved and brought in contact with large quantities of ordinary soil n , the pH value is fixed close to the original pH value of the soil. From the diagram and from Table 1, it appears that $p\text{NH}_3$ is extremely small, so that no ammonia would be lost by evaporation when ammonium sulfate is spread on soils with pH values lower than 6. At pH values above 7, $p\text{NH}_3$ may facilitate appreciable losses. In this case the size of n will often be decisive. If the fertilizer under such conditions comes in contact with large quantities of moist soil with a high absorptive power, dilution and absorption may reduce n to such an extent that $p\text{NH}_3$ and consequently ammonia evaporation, become negligible.

The total loss of ammonia in each case depends upon the rate of evaporation and the duration of that process. It continues with decreasing velocity and finally ceases. This is because the ammonia gradually distributes itself over a larger soil volume by which the salt solution will be diluted (n decreases).

To test the validity of the above theory for ammonia evaporation from soils under different conditions laboratory experiments were carried out. For these the arrangement shown in Fig. 2 was used. The moist soil with sulfate of ammonia on top was placed in a closed chamber (desiccator) together with a flat jar containing HCl in which the ammonia was absorbed and determined at intervals. The soil layer was 8 cm. The quantity of ammonium sulfate in each case was 0.468 g corresponding to 450 kg per ha.

The method was compared with another much used in earlier laboratory experiments. By this an air current was drawn through the evaporation chamber and the NH_3 carried along, absorbed and determined quantitatively. In our experiments the latter method

shows a slightly higher rate of evaporation (Fig. 3). The evaporation curves are, however, of the same shape and therefore, for comparative investigations, the closed chamber method is applicable. The absolute figures for ammonia loss under field conditions can not be determined exactly by any laboratory method.

From a buffer substratum with pH at 8 and no absorptive power i. e. quartz sand mixed with 10 per cent pulverized calcium carbonate, NH_3 evaporates rapidly when ammonium sulfate is spread upon it (Fig. 4). As one would expect, the rate of evaporation decreases with an increasing water content in the carbonate sand mixture. When applied to a dry mixture the salt under the prevailing conditions absorbs water vapour from the air and turns into a saturate solution, from which in five days, 95 per cent of the ammonia has disappeared. In any case a relatively high fraction of the ammonia is lost by evaporation even when the fertilizer is dissolved and incorporated mechanically in the upper 5 cm. This indicates that appreciable amounts of nitrogen may be lost by evaporation when ammonium sulfate is spread on the surface of calcareous sandy soils with little or no absorptive power.

From a clay-humus soil mixed with 10 per cent calcium carbonate, ammonia evaporates much more slowly due to the absorptive power of the clay humus complex (Fig. 5). When spread on top of the air dry soil the evaporation loss in 27 days amounts to 26 per cent of the nitrogen applied. Here also the loss decreases with increasing moisture content. With a moisture percentage of 20, the soil is wet and shows no granular structure. In this case the evaporation loss from the calcium carbonate soil mixture is inappreciable, amounting only to 4 per cent during 27 days (Curve III). Curve V represents the above named carbonate sand mixture in an air dry condition.

Mixing or covering the fertilizer with the same absorptive calcium carbonate-soil mixture greatly reduces evaporation losses. (See Fig 6 Curve II and IV). Curve I here represents top dressing, Curve III ammonium sulfate spread on a glass plate and covered with a 1 cm thick layer of the mixture. This evidently has not been sufficient to check evaporation, whereas the same covering, when the salt is placed on top of the carbonate soil mixture, practically stops it. Undoubtedly this is due to the lower fertilizer soil ratio in the last case. Here NH_3 will diffuse downward, be mixed into a much larger soil quantity and thus absorbed.

Fig. 7, Curve II shows how ammonia evaporation proceeds after top dressing a garden soil containing 25 % humus, 3.5 % calcium carbonate, 50 % moisture and having pH 7.1. The Curves I and III represent the same soil after adding further 10 pCt CaCO_3 with fertilizer covered and on top.

In Fig. 8 Curve I and II represent natural highly calcareous

Danish soils containing 39 and 65 % CaCO_3 and with fertilizer spread on top. Curve III represents the same as II with fertilizer placed 1 cm below the surface of the soil. This practically stops evaporation.

Nearly all Danish soils are non calcareous containing very little or no calcium carbonate. Therefore possibilities for evaporation losses after dressing with ammonium sulfate generally will be much smaller than in our experiments.

Liming soil may facilitate ammonia evaporation and nitrogen loss. In Fig. 9 the curves show ammonia evaporation after top dressing a light sandy soil which previously received 32 and 16 tons CaCO_3 per ha. Fig. 10 Curves I, II and III represent, in a similar way soil samples from a field experiment on heavy soil with increasing lime quantities. During a period of one month the biggest loss here after top dressing amounts to five per cent of the applied nitrogen. Few heavy Danish soils will offer better possibilities for ammonia evaporation. Curve V represents the same soil after applying the same amount of nitrogen as NH_4HCO_3 , the same compound found in stable and liquid manure. The loss in this case is over 40 per cent which is in good agreement with results from numerous Danish field experiments in spreading on top and covering liquid manure.

Practical conclusions.

Ammonia may evaporate from soils after dressing with ammonium sulfate. Nitrogen losses due to that process generally are much smaller than after spreading solid or liquid manure and, in most cases, negligible.

The risk for nitrogen loss will increase with the temperature of the soil, its pH and content of calcium carbonate and with a decrease in moisture content. Clay and humus colloids will absorb ammonia and may thus prevent its evaporation even on soils with an alkaline reaction. From highly calcareous, nearly dry, sandy soils, most of the nitrogen applied may be lost after top dressing with ammonium sulfate. Mixing the fertilizer with the upper soil layer will not always prevent evaporation. The application of ammonium sulfate under such conditions, therefore, should be avoided.

Most Danish soils contain little or no calcium carbonate with pH-values below 7.5. At pH-values below 6 no measurable loss will occur. However it is only on soils with pH-values above 7 that evaporation losses may be economically important. These may be reduced and presumably checked by modifying the method of application. After early spring application to wet soil the fertilizer will distribute itself through a relatively large soil-water volume and most of the ammonia will be absorbed. This, and the low temperature, will practically prevent ammonia evaporation.

If applied later in the spring on a tilled, slightly moist soil

with a comparatively high temperature, sulfate of ammonia should be harrowed under in order to prevent evaporation losses. To pastures on soils with an alkaline reaction, sulfate of ammonia could be applied during or before rainy weather. The salt then will dissolve rapidly, be carried away from the surface and the ammonia fixed by the soil colloids.

On peat soils losses will hardly occur on account of the high absorptive power and generally low pH-values of such soils.

Litteraturfortegnelse.

1. *Boussingault*: *Economie rurale*. Bd. II, 1844, S. 238.
2. *Sprengel*: *Die Lehre vom Dünger*. II. Aufl. 1845, S. 438.
3. *Liebig*: *Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie*. VII. Aufl. 1862, II, S. 325.
4. *Nivet*: Des reactions qui se produisent entre les sels ammoniacaux et le carbonate de chaux. *Compte rendus* 90, 1880, S. 1216.
5. *Leclerc*: Recherches sur la deperdition de l'ammoniaque. *Annales de la science agronomiques*, Bd. I, 1884, S. 418.
6. *Tacke*: Stickstoffverlust und Stickstoffgewinn in vegetationsfreien Erdboden. *Landw. Jahrbücher*, Bd. XVIII, 1889, S. 439.
7. *Breal*: Production de l'ammoniaque aux dépens des matières végétales. *Annales agronomiques*, Bd. XXIII, 1897, S. 358.
8. *Giustiniani*: Sur l'emploi des engrais ammoniacaux dans les sols calcaires. *Annales agronomiques*, Bd. XXV, 1899, S. 325 og Bd. XXVII, 1901, S. 462.
9. *S. Hals*: Ammoniakkvælstof og Salpeterkvælstof. *Tidsskrift for det norske Landbrug*, 1902, S. 217.
10. *Sessous*: Über die bei der Düngung mit Ammoniaksalzen entstehenden Stickstoffverluste. Dissertation Jena 1903.
11. *Brown*: *The chemical News*, Bd. LIII, 1886, S. 182.
12. *Warrington*: The comparative value of nitrate of sodium and sulphate of ammonium as manures. *Journal of the Royal Agric. Soc.*, Bd. XI, 1900, S. 300.
13. *Wagner*: Die Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak und organischen Stickstoffdüngern im Vergleich zum Chilesalpeter. *Arbeiten der Deutschen Landw.-Gesellschaft*, Heft 80, 1903, S. 14.
14. *Wagner*: Gefäßversuche über die Frage Ammoniakverdunstung. *Mitt. der Vereinigung Deutscher Landw. Versuchsstationen*, Heft II, S. 82.
15. *Schneidewind*: Fünfter Ber. über die Versuchswirtschaft Lauchstädt. *Landw. Jahrbücher*, Bd. XXXIII, 1904, S. 220.
16. *Ehrenberg*: Die Bewegung des Ammoniakstickstoffs in der Natur. *Habilitationsschrift*, Breslau Universität, 1907.
17. *Lennermann*, *Blanck*, *Heinitz* und *von Wlodek*: Untersuchungen über das Verhalten des Ammoniakstickstoffs in gekalkten und ungekalkten Böden. *Landw. Jahrbücher*, Bd. XLI, 1911, S. 163.
18. *Wlodek*: Beiträge zur Frage der Ammoniakverdunstung and -umwandlung im Boden. Dissertation Berlin 1911.
19. *Liechti* und *Ritter*: Über das Entweichen von Ammoniak aus Gülle während und nach dem Ausbringen derselben. *Landw. Jahrbuch der Schweiz*, 1910, S. 481.

20. *Ehrenberg*: Zur Frage des Ammoniakverdunstung bei gedüngtem Ackerboden. *Fühlings Landw. Zeit.* Bd. 60, 1911, S. 441.
21. *Depardon*: Les sels ammoniacaux en sols calcaires. *Annales de la Science Agronomique*, 1929, S. 308.
- 22) Arbeiten der landwirtschaftlichen Versuchsstation Limburgerhof. Jubiläumsschrift 1939.
23. *Tovborg Jensen*: Untersuchungen über Ammoniakentbindung und Stickstoffverluste bei der Düngung mit Jauche. *Wissenschaftliches Archiv für Landwirtschaft*, Abt. A, Bd. 3, 1930, S. 161.
24. *Egnér*: Stallgödselns Kväveförluster genom Ammoniakavdunstning. *Meddelande Nr. 409 från Centralanstalten för försöksväsendet på jordbruksområdet*. 1932.
25. *Jewitt*: Lose of ammonia from ammonium sulfate applied to alkaline soils. *Soil Science*, Bd. 54, 1942, S. 401.
26. *Steenbjerg*: Ammoniaktab fra kvælstofholdige Handelsgødninger udbragt paa Agerjord. *Tidsskrift for Planteavl*, Bd. 48, 1944, S. 516.