

Om Binding af Luftens frie Kvælstof ved frit levende Mikroorganismer.

En Oversigt over de vigtigste Undersøgelser
vedrørende dette Spørgsmaal.

Af Harald R. Christensen.

I Aaret 1886 leverede *Hellriegel* og hans Medarbejder *Willfarth* det afgørende Bevis for, at Bælgplanterne er i Stand til i Samliv med de Bakterier, der lever i Knoldene paa deres Rødder, at tilegne sig og udnytte det elementære Kvælstof. To Aar efter lykkedes det *Beijerinck* at rendyrke disse Knoldbakterier, og Opmærksomheden var nu i de følgende Aar saa stærkt rettet paa Undersøgelser over disse interessante og for Jordbruget saa vigtige Organismer, at det egentlig ikke vakte saa overvættes stor Opmærksomhed, da *Winogradsky* (1*) efter en mesterlig gennemført Undersøgelse i 1895 kunde meddele, at det var lykkedes ham at isolere en Bakterief orm, der uden Samliv med højere Planter var i Stand til at binde Luftens frie Kvælstof. Den første, der gjorde opmærksom paa, at der maatte findes frit levende, kvælstofbindende Mikroorganismer, var den berømte franske Kemiker *Berthelot* (2), som fandt, at Agerjord, der i længere Tid laa hen i Luften, berigede sig med Kvælstof, og at denne Kvælstofberigelse ikke fandt Sted, naar Jorden havde været opvarmet til 100° C. *Berthelot* brugte ved sine Undersøgelser ret store Jordmængder (sædvanlig fra 1—50 Kg.), der anbragtes i Kar med gennemhullet Bund. Ved et Forsøg, ved hvilket 50 Kg. Jord havde henstaaet i fri Luft i 7 Maaneder, konstaterede *Berthelot* en Kvælstoftilvækst af 12 Gram, og

*) Tallene i Parentes henviser til Numrene i Litteraturfortegnelsen Side 332.

i en lige saa stor Prøve af samme Jord, som ved Udvadskning befriedes for sit Indhold af Salpetersyre og andre opløselige Kvælstofforbindelser, var der i samme Tid bundet ca. 23 Gr. Kvælstof. Det er en Selvfølge, at der ved Beregningen af Kvælstofbindingen blev taget Hensyn til den Kvælstofmængde, Jorden tilførtes med Regnvandet; denne var dog ganske ringe — i alt kun 0.07 Gr. *Berthelots* Angivelser om Kvælstofbinding i almindelig, ubevokset Agerjord er senere bekræftede af flere andre Forskere, saaledes af *Tacke* (3), *Koch* (4), *Schneider* (5) og *Warmbold* (6 og 7).

I 1901 offentliggør *Kühn* (8) Resultaterne fra et særdeles interessant Gødningforsøg, der var anstillet paa Forsøgsmarken ved Halle, hvor det blev anlagt 1878. Paa Forsøgsstykket, der hvert Aar bar Rug, prøvede man forskellige Kombinationer af Gødningstoffer, og det viste sig nu, at Parceller, der under hele Forsøgsperioden slet ikke var tilført Kvælstof, ikke desmindre i Gennemsnit af de sidste 4 Aar (1894—98) gav større Udbytte end i 1879. Udbyttet var saaledes for en ugødet Parcells Vedkommende 8.5 pCt. og for en Parcel, gødet med Kali og Fosforsyre, 11.6 pCt. større end i 1879. Der var i Forsøgsstykket stærkt Udslag for Tilførsel af Salpeterkvælstof, saa Resultatet lader sig vanskeligt forklare ved Antagelsen af et stort Overskud af let omsættelige Kvælstofforbindelser i Jorden. *Kühn* er ikke selv i Tvivl om, at Resultatet maa forklares ved frit levende, kvælstofbindende Organismers Virksomhed, men noget Bevis herfor kan det dog ifølge Sagens Natur ikke være.

Foruden dette Forsøg har ogsaa nogle Undersøgelser af *Henry* (9) gjort det meget sandsynligt, at den Rolle, de frit levende, kvælstofbindende Mikroorganismer spiller i Kvælstoffets Kredsløb, kan være meget betydelig. *Henry* paaviste nemlig, at tørt Ege- og Bøgeløv, der var anbragt i Metalkasser og henstillet i fri Luft et Aar, i ret betydelig Grad berigede sig med Kvælstof, et Resultat, som *Hornberger* (10) senere har kunnet bekræfte.

Winogradsky var, som foran nævnt, den første, der rendyrkede en frit levende, kvælstofbindende Bakterie. Denne, der fik Benævnelsen *Clostridium Pasteurianum*, er udpræget anaerob (trives ikke ved Tilstedeværelse af fri Ilt). Den udvikler sig godt i en Næringsvædske, der er ganske fri for Kvælstofforbindelser, men som indeholder visse Kulhydrater (se

senere) samt de nødvendige Askebestanddele. Ved at pøde en Næringsopløsning af følgende Sammensætning: 1 L. Vand, 20—40 Gr. Druesukker, 1 Gr. Kalifosfat, 0.2 Gr. svovlsur Magnesia og 0.01—0.02 Gr. Klornatrium samt smaa Mængder af Mangan- og Jernforiltesulfat og rigelig af Kridt, med lidt Havejord, viste det sig ved *Winogradskys* Undersøgelser, at der indtraadte en stærk Smørsyregæring, og at der i Vædsken var foregaaet en betydelig Kvælstofbinding. Efterhaanden som Gæringen skred frem, dannedes i Vædsken kephyrlignende Korn, der bestod af de forskelligste Bacteriearter. Ved gentagne Overpodninger i frisk Næringsvædske og ved nogle Minutters Ophedning til 75° C. fik han Antallet af Bacteriearter indskrænket til 3: den omtalte *Clostridium* og to andre Bakterier. De to *Clostridium*formen ledsagende Bacteriearter lykkedes det først at skille fra ved Dyrkning paa Kartofler eller Gulerødder i iltfrit Rum, og det lod sig nu konstatere, at *Clostridium Past.*, som den nu blev benævnet, er en udpræget anaerob (iltskyende) Bakterie, og naar den i Raakultur kan trives i Kolber, hvor Luften har Adgang, maa dette forklares paa den Maade, at de omtalte ledsagende Bacterieformer, der viste sig at være udpræget aerobe (iltkrævende), beskytter den mod Luftens Ilt ved selv at optage og forbruge denne. Som det senere har vist sig, kan denne beskyttende Virksomhed overtages af de forskelligste aerobe Bacterieformer.

Clostr. Past. er en sporedannende Bakterie, af hvilken Grund den taaler den foran omtalte Opvarmning til 75° C. I ung Tilstand er den stavformig og bliver senere under Sporedannelsen tenformig (*Clostridium*formen). Med Hensyn til Sporenes Spiring frembyder denne Bakterie særdeles interessante og fra andre *Clostridium*former afvigende Forhold (1)*).

Clostr. Past. synes ikke at forekomme i alle Jorder. I Jorden omkring Paris og St. Petersborg fandt *Winogradsky* den altid, derimod ikke i Jord fra Sydrusland, Podolien og Wolhynien. Her optraadte derimod andre *Clostridium*former, der imidlertid ogsaa, ifølge Undersøgelser af *Omeliansky*, var i Besiddelse af kvælstofbindende Evne, om end dog denne ikke var saa stærkt udtalt som hos *Clostr. Past.* For øvrigt synes en hel Del Bacterieformer, der i Udseende minder om *Clostr. Past.*, at være

*) Jvf. Fig. 17 i Tidsskrift for Landbrugets Planteavl, 12. Bind, Side 160.

kvælstofbindende. *Freudenreich* (11) fandt saaledes i en Forsøgs-mark ved Bern en saadan, der kun kunde adskilles fra *Clostr. Past.* ved dens Evne til at kunne forgære Mannit, og af *Haselhoff* og *Bredemann* (12) er der ligeledes rendyrket 5 anaerobe *Clostridium*former, der ogsaa adskiller sig fra Winogradskys *Clostr. Past.* dels ved deres morfologiske Forhold og dels ved deres Evne til at kunne forgære Mannit, Stivelse, Mælkesukker, Arabinose m. m.*). *Clostr. Past.* kan kun forgære Opløsninger af følgende Kulstofforbindelser: Rørsukker, Druesukker, Frugtsukker, Inulin og Galaktose, medens den forholder sig indifferent over for de mange andre, for de fleste Smørsyrebakterier ellers let tilgængelige Stoffer, som Stivelse, Mælkesukker, Glycerin, Mannit m. fl. Alle disse *Clostridium*former kan kun udvikle sig i Substrater, der er ganske iltfrie, eller i hvilke Iltspændingen dog er meget ringe, og i aabne Kolber kan de derfor ikke trives, med mindre der samtidig er aerobe Bakterier til Stede, der kan optage Substratets frie Ilt. Fra *H. Pringsheim* er der fremkommet Meddelelse (14) om en ny, kvælstofbindende *Clostridium*, som han benævner *Clostr. americanum*. I Modsætning til de foran omtalte *Clostridium*former kan denne i Renkultur forgære Næringsvædske i aabne Kolber og taaler altsaa en højere Iltspænding end disse. Foruden ved sit Forhold over for Ilt adskiller *Clostr. am.* sig fra *Clostr. Past.* ved at kunne forgære Mannit, Glycerin og Mælkesukker samt ved, at Kvælstofbindingen foregaar betydelig langsommere.

Ifølge *Winogradsky* er *Clostr. Past.* i Stand til at kunne binde ca. 2 Mgr. frit Kvælstof for hvert Gr. tilstedeværende Druesukker, og *Clostr. am.* samt de af *Haselhoff* og *Bredemann* isolerede *Clostridium*former synes at være i Besiddelse af en lignende kvælstofbindende Evne.

I 1901 offentliggør *Beijerinck* (15) sin nu saa berømte Afhandling om oligonitrophile Mikrober.

*) I en nylig udsendt, foreløbig Meddelelse har *Bredemann* (13) angivet, at 16 af ham fra Jord fra forskellige Egne i Verden og paa forskellig Maade isolerede *Amylobacter*stammer og desuden 11 fra forskellige Forskere modtagne Originalstammer, som f. Eks. *Clostridium Pasteurianum*, *Clostridium americanum*, *Granulobacter butylicum* og *pectinovorum*, *Bacillus saccharobutyricus* o. s. v., har vist sig at være identiske saavel i morfologisk som i fysiologisk Henseende og da ogsaa stemmer overens med Hensyn til Evne til at binde det elementære Kvælstof.

Ved oligonitrophile Mikrober forstaar *Beijerinck* saadanne, som er i Stand til i fri Konkurrence med den øvrige Mikrob-verden at udvikle sig i Næringssubstrater, ved hvis Tilberedning der ikke er anvendt kvælstofholdige Stoffer, men som man dog paa den anden Side heller ikke har gjort noget for at befri for Spor af Kvælstofforbindelser. De Mikrober, der kan udvikle sig i et saadant Substrat, anser *Beijerinck* for at være kvælstofbindende. Ved at anbringe en med en Smule Jord inficeret, kvælstoffri Næringsvædske i et tyndt Lag (og saaledes stærkt udsat for Luften) paa Bunden af en Kolbe og henstille denne i en Termostat ved en Temperatur af 25—30° C. iagttog *Beijerinck*, at der efter nogle Dages Forløb dannedes en Bakteriehinde, der efterhaanden udviklede sig til en tyk Belægning paa hele Vædskeoverfladen. Mikroskopisk Undersøgelse af Belægningen viste, at denne overvejende er dannet af en enkelt, meget karakteristisk Bakterieform, som *Beijerinck* benævnte *Azotobacter chroococcum*. *Azotobacter*hinden eller, som den almindelig benævnes, *Azotobacter*vegetationen, der i Begyndelsen er hvidlig, antager efterhaanden en mørkere og mørkere Farve og kan undertiden blive helt sort.

Azotobacter chroococcum er en Bakterie af temmelig uregelmæssig Form. I ganske unge Kulturer er den korte, plumpe Stavform dog den dominerende, hvorimod Bakterien i ældre Kulturer oftest er af uregelmæssig Kugleform*). I unge Kulturer kan man, om end sjældent, se enkelte Celler bevæge sig langsomt. Bevægelsen foregaar ved Hjælp af en enkelt polar Svingtraad. I ældre Kulturer er Bakterierne ganske ubevægelige, og de findes her sædvanlig sammenhobede i *Sarcinapakker***).

I Vand fra Delft fandt *Beijerinck* en anden *Azotobacter*art, som han gav Benævnelsen *Azotobacter agilis*. Denne adskiller sig særlig fra *Az. chrooc.* ved sin udtalte Bevægelighed og ved at være i Besiddelse af flere Svingtraade, samlede i et Bundt ved den ene eller undertiden ved begge Ender af Bakterie-

*) Jvf. Fig. 18 og 19 i Tidsskrift for Landbrugets Planteavl, 12. Bd., Side 161 og 162.

**) Det kan paa dette Sted anføres, at *Benecke* og *Keutner* (22) har fremsat den Anskuelse, at *Azotobacter* snarere maa henregnes til de blaagrønne Alger (*Cyanophyceerne*) end til Bakterierne og muligvis maa opfattes som en farveløs *Aphanocapsa*.

legemet*) samt ved under visse Forhold at danne et fluorescerende Farvestof (17).

Foruden disse to Arter er der nu af Amerikanerne *Lipmann* og *Voorhees* (16) beskrevet to nye, kvælstofbindende *Azotobacter*-former: *Azotobacter vinelandii* og *Azotobacter Beijerincki*.

Azotobacter vinelandii. I den almindelige Mannitopløsning danner denne Bakterie en tyk, hvid Hinde paa Vædskeoverfladen. Rystes Kolben med den unge Kultur, synker Hinden til Bunds, og efter nogen Tids Forløb fremkommer da atter en ny Bakteriehinde. Dette kan gentage sig adskillige Gange. Det, der dog særlig karakteriserer denne *Azotobacter*-form, er Dannelsen af et lyst, gult Farvestof, der diffunderer ud i Næringssubstratet og ofte meddeler dette en ret kraftig gul Farve. I ældre Kulturer farves Substratet gullig-rødt. Bakterien bevæger sig i Reglen særdeles livligt. *Az. vinelandii* er, saa vidt vides, aldrig fundet i Jorder uden for Amerika. Ifølge *Lipmann* og *Voorhees* er den stærkt udbredt i de dyrkede Jorder i Staten New-Jersey. Nogle fornylig offentliggjorte Undersøgelser af *F. Löhnis* og *T. Westermann* (17) har gjort det sandsynligt, at *Az. vinel.* er identisk med *Beijerincks Az. agilis*.

Azotobacter Beijerincki. Ligesom *Az. vinel.* danner denne Bakterie en hvid Belægning paa Mannitopløsningens Overflade. Den producerer derimod ikke noget Farvestof. Kulturen holder sig stadig hvid. Bevægelse som hos *Az. chrooc.* *Azotobacter Beijer.* er ogsaa karakteristisk ved sine meget store Celler. En *Azotobacter*-form, der minder meget om *Az. Beijer.* og vistnok er identisk med denne, er af Forf. isoleret fra Jord fra Askov Forsøgsstation. At *Az. Beijer.* forekommer her i Landet, er for øvrigt paavist af dens Opdager, *Lipmann*, New-Jersey, der har isoleret den fra en *Azotobacter*-kultur, stammende fra Jord i Landbohøjskolens Have (17).

En af *Löhnis* fra Jord ved Leipzig isoleret, farveløs og ubevægelig *Azotobacter*-form er af *Löhnis* og *Westermann* (17) opstillet som en ny Art, der har faaet Benævnelsen *Azotobacter vitreum*. Denne adskiller sig fra alle de øvrige *Azotobacter*-former ved, at der i dens Kulturer aldrig optræder stavformige Individer; Bakterien er altid kugleformig.

Ved sammenlignende Undersøgelser over de forskellige *Azotobacter*-formers kvælstofbindende Evne fandt *Lipmann*, at denne var langt større hos *Azotobacter vinel.* end hos *Azotob.*

chrooc. og *Azotob. Beijerincki*. I enkelte Tilfælde fandt man ogsaa for den førstes Vedkommende, at der var bundet ikke mindre end ca. 14 Mgr. Kvælstof for hvert Gr. Mannit, der var til Stede i Næringsvædsken. *Azotob. chrooc.* og *Azotobacter Beijerincki* evner sædvanlig kun at binde fra 2—7 Mgr. Kvælstof pr. Gr. Mannit eller Druesukker; i enkelte Tilfælde er der dog for *Azotob. chrooc.*s Vedkommende paavist en noget større kvælstofbindende Evne, saaledes er der af *Gerlach* og *Vogel* (18) med en Renkultur af denne Bakterie indvundet ca. 12 Mgr. Kvælstof pr. Gr. Druesukker.

Det var egentlig først efter *Beijerincks* Meddelelser om *Azotobacter*, at Interessen for Kvælstofbinding ved frit levende Organismer blev almindelig, og vel naturligt nok, thi saa længe man kun kendte anaerobe, kvælstofbindende Bakterier, maatte man stille sig noget tvivlende over for frit levende, kvælstofbindende Mikrobers Betydning for almindelig dyrket Jord.

Beijerincks foran nævnte Afhandling blev nu hurtigt efterfulgt af et meget stort Antal andre Afhandlinger fra forskellige Forfattere, der dels beskæftigede sig med *Azotobacters* Forekomst, Udbredelse og Livsbetingelser og dels med dens Morfologi og Fysiologi, og Litteraturen vedrørende denne interessante Bakterie er allerede nu saa omfattende, at den er vanskelig at overse.

Allerede Aaret efter Fremkomsten af den første Meddelelse om oligonitrophile Mikrober offentliggør *Beijerinck* sammen med *van Delden* (19) Resultaterne fra fortsatte Undersøgelser over *Azotobacter* og andre oligonitrophile Mikrober, og meddeler nu her, at *Azotobacter* ikke i ren Tilstand kan binde elementært Kvælstof, men kun naar den er sammen med visse andre Bakterier, som *Granulobacter*, *Aerobacter aerogenes* og *Bacillus radiobacter*, der sædvanlig forekommer i *Azotobacter*raakulturen (*Azotobacter*vegetationen). Adskillige andre Undersøgelser, saaledes af *Gerlach* og *Vogel* (20), *Koch* og *Krøber* (21) og senere af mange andre, har dog vist, at *Beijerincks* første Angivelse om, at *Azotobacter* i Renkultur er kvælstofbindende, var rigtig nok.

Med Henblik paa den formentlige Betydning, *Azotobacter* har for Jordens Frugtbarhed, var det af den største Interesse at faa oplyst, hvilken Udbredelse denne Bakterie har i de forskellige Jorder. *Beijerinck* meddeler herom (15), at han har

fundet den i saa godt som alle de Jorder, han har undersøgt, dog aldrig i sur Hedesand. — Undersøgelser af et større Antal danske Jorder af Forf. (22) har imidlertid vist, at *Azotobacter* ikke er saa almindelig udbredt, som det hidtil har været antaget, og endvidere kunde det med stor Sikkerhed paavises, at den særlig forekommer i saadanne Jorder, som indeholder basisk Kalk, medens den sjældnere optræder i meget kalkfattige Jorder og aldrig i Jorder, som indeholder blot Spor af fri Syre. I Kalkforsøg optræder *Azotobacter* saaledes ofte i stor Mængde i de kalkede Parceller, medens den ganske kan mangle i de ukalkede, et Forhold, som foruden ved Forf.s Undersøgelser ogsaa er traadt frem ved Undersøgelser af *Hugo Fischer* (23), og sidst har nu ogsaa *Voorhees*, *Lipmann* og *Brown* (24) meddelt, at *Azotobacter* ingenlunde forekommer i alle Kultunjorder, og at den mest almindelig træffes i Jorder, der er tilført Kalk. *A. Koch* (25) har i sin Forsøgsmark i Göttingen paavist, at den der forekommer indtil en Dybde af 80 Cm., og *v. Freudenreich*, *Bern* (11), fandt den stadig i en Dybde af indtil 50 Cm., medens den i 1—2 M. Dybde var fortrængt af *Clostridium*former. For nylig har *Beijerinck* (26) meddelt, at han har fundet *Azotobacter* i særlig stor Mængde i den mellem Bælgplanternes Rødder værende Jord.

Benecke og *Keutner* (27) fandt *Azotobacter chroococcum* i Slam og paa Plankton i Østersøen, og den forekommer her sædvanlig sammen med *Clostridium Pasteurianum*. Senere har *Keutner* (28) fundet disse kvælstofbindende Bakterier paa forskellige Steder i Øster- og Nordsøen samt i det indiske Hav, ved de afrikanske Kyster og i det malayiske Archipel, og ogsaa paa Ferskvandsplankton har han konstateret Forekomsten af disse Organismer. Interessant er den Iagttagelse af *Keutner*, at *Azotobacter* ofte forekommer i saa stor Mængde paa visse Hav-Alger (Tang), at den i den fra disse afskrabede Slim direkte kan paavises under Mikroskopet.

Undersøgelser over Betingelserne for *Azotobacter*s Kvælstofbinding har vist, at denne Bakterie for at kunne udvikle sig kræver Tilstedeværelse af en let tilgængelig Kulstofnæring og af forskellige Salte samt Fraværelse af en større Mængde let opløselige Kvælstofforbindelser.

Af Kulstofforbindelser kan *Azotobacter* saaledes udnytte Druesukker, Frugtsukker, Galaktose, Rørsukker, Maltose, Pen-

toser, opkvædet Stivelse, endvidere Salte af Smørsyre, Mælke-Citronsyre, Mannit, Glycerin og flere andre Forbindelser*) (se senere).

Kvælstofassimilationen staar inden for visse Grænser i ligefremt Forhold til Mængden af tilstedeværende, for Bakterierne tilgængelig Kulstofnæring. Følgende Tal fra en Undersøgelse af *Gerlach* og *Vogel* (18) viser dette.

Mængden af Druesukker pr. L. Næringsvædske	Kvælstoftilvækst
Gr.	Mrg.
1	7.4
2	13.5
3	17.3
4	31.4
5	39.4
7	59.9
10	91.4
12	127.9

A. *Krainsky* (31) har undersøgt en *Azotobacter*renkulturs Forhold over for forskellige Kulstofforbindelser. 1 Gr. af hver af de nedennævnte Stoffer opløstes i 100 Kcm. Vædske (Vand og de nødvendige Salte). Efter Podningen henstilledes Kolberne i 4 Uger ved en Temperatur af 30° C., hvorefter Kulturernes Indhold af Kvælstof bestemtes. Resultaterne fremgaar af Tabel 1.

Tabel 1.

Kulstofforbindelse	Assimileret Kvælstof Mgr.	Kulstofforbindelse	Assimileret Kvælstof Mgr.
Inulin	5.8	Æthylalkohol	1.0
Mannit	5.7	Mælkesukker	0.8
Frugtsukker	5.6	Galaktose	0.7
Eddikesur Kalk	3.2	Arabinose	0.6
Maltose	2.8	Stivelse	0.4
Glycerin	2.4	Smørsur Kalk	0
Citronsur Kalk	1.6	Rørsukker	0
Druesukker	1.4	Methylalkohol	0
Dextrin	1.2	Erytrit	0

*) Ifølge en nylig fremkommen Meddelelse af *Orla Jensen* (29) kan *Azotobacter* nøjes med Æthylalkohol som eneste Kulstofkilde, medens Knoldbakterierne (*Bacillus radicola*) forlanger højere Alkoholer eller Kulhydrater.

Paa Grund af de meget smaa Kvælstofmængder, der her — som Følge af Anvendelsen af for ringe Mængder Kulstofforbindelser — er Tale om, kan denne Undersøgelse dog kun siges at give en Antydning af de enkelte Kulstofforbindelsers Værdi for Azotobacters Kulstofforsyning.

For øvrigt synes det, som om forskellige Azotobacterstammer forholder sig forskelligt over for de enkelte Kulstofforbindelser. Medens saaledes Rørsukker ved *Krainskys* Forsøg slet ikke har kunnet udnyttes af Azotobacter, har denne Kulstofforbindelse ved *S. Krzemieniewskys* (32) Undersøgelser vist sig at være en ganske udmærket Kulstofnæring for denne Organisme — endog bedre end Mannit.

Löhnis og *Pillai* (30 og 50) har undersøgt forskellige Kulstofforbindelsers Brugbarhed som Kulstofnæring for Jordbundens frit levende, kvælstofbindende Bakterier, betragtet under eet. 1 Gr. af de paagældende Stoffer opløstes i 100 Kbcm. Jord-ekstrakt, hvortil der var sat lidt fosforsur Kali. De enkelte Kolber podedes med 10 Gr. Jord. Efter 10 Dages Forløb bestemtes Kvælstoftilvæksten. Resultatet fremgaar af Tabel 2.

Tabel 2.

Kulstofforbindelse	Kvælstof-tilvækst Mgr.	Kulstofforbindelse	Kvælstof-tilvækst Mgr.
Mannit	9.96	Druesukker	4.36
Xylose	9.40	Stivelse	3.50
Mælkesukker	8.88	Natriumtartrat	2.82
Frugtsukker	8.80	Natriumsuccinat	2.82
Inulin	7.58	Mælkesur Kalk	2.22
Galaktose	7.44	Glycerin	1.98
Maltose	7.86	Citronsur Natron	1.00
Arabinose	7.84	Propionsur Natron	0.96
Dextrin	7.58	Oxalsur Kali	0.28
Rørsukker	5.90	Smørsur Kalk	0.16

I Overensstemmelse med den foran refererede Undersøgelse samt Undersøgelser af *Beijerinck* og andre Forskere har Mannit vist sig at være i ganske særlig Grad egnet til Fremkaldelsen af en kraftig Kvælstofassimilation. Af ikke ringe Interesse er det, at Pentosanerne, der i saa stor Mængde forekommer i Planternes Stængler og Blade, efter at være overførte i Pentoser,



Fig. 1. Vegetationsforsøg med Havre 1906. Jorden i Karret til højre blev i December 1905 blandet med 2 pCt. Rørsukker.
(Efter Journal für Landwirtschaft 1907.)

som Xylose og Arabinose, er udmærket egnede som Kulstofnæring for de kvælstofbindende Bakterier. I Kolberne med Mannit, Xylose, Arabinose, Frugtsukker, Mælkesukker, Maltose, Inulin, Dextrin og Galaktose fremkom der en yppig Azotobactervegetation, medens Azotobacter derimod ikke udviklede sig i Kolberne med de øvrige Kulstofforbindelser*).

Forsøg af Koch (33) (se Fig. 1) og Remy (34) har vist, at man ved Indblanding af Sukker i Jord kan opnaa en betydelig Forøgelse i Planteproduktionen, der utvivlsomt skyldes den fremmede Indflydelse, som denne for de kvælstofbindende Mikroorganismer direkte tilgængelige Kulstofnæring udøver paa disses Udvikling**). Forsøgene er ogsaa interessante derved, at de viser, at det af Bakterierne indvundne Kvælstof ret hurtigt kan udnyttes af de højere Planter, og Remy mener endog at kunne slutte, at dette Kvælstof i Virkning staar paa Højde med Kvælstoffet i de virksomste, organiske Kvælstofgødninger. At der i en saadan sukkerblandet Jord virkelig foregaar en meget betydelig Kvælstofbinding, er ogsaa gentagne Gange — saaledes af Koch (33), Remy (34) og Schneider (35) — med Sikkerhed paavist ad analytisk Vej.

Det Forhold, at Kvælstofbindingen ved de foran omtalte Bakteriers Virksomhed i saa overvejende Grad er afhængig af Tilstedeværelsen af opløselige Kulstofforbindelser, gør det Spørgsmaal naturligt, fra hvilke Kilder i Jordbunden disse forsynes med Kulstofnæring og dermed med Energi til Kvælstofbindingen.

Der kan her være Tale om de i enhver Jord i større eller mindre Mængder forekommende Planterester, ved hvis Ned-

*) Under Sætningen af denne Afhandling er der fremkommen en særdeles vigtig Meddelelse fra H. Pringsheim (32 a) om, at ogsaa Cellulose er et brugeligt Energimateriale for Kvælstofbinding ved Bakterieraakulturer. Rimeligvis er det dog ikke Cellulosen som saadan men de ved dens Sønderdeling ved Cellulosebakterier fremkomne Spaltningssprodukter, der har tjent de kvælstofbindende Bakterier som Energikilder.

**) Ved Kochs og hans Medarbejderes Undersøgelser viste det sig i Overensstemmelse med de lagttagelser, der fra mange forskellige Sider er gjorte vedrørende Kulhydraternes eller kulhydratrige Stoffers (som Halmens) skadelige Indflydelse paa Plantevæksten, at Sukkeret i den første Tid hemmede Plantevæksten, men at denne Periode dog var kort. Foretoges Sukkerindblandingen 4 Maaneder før Saaningen, mærkedes den hemmende Indflydelse overhovedet ikke.

brydning der vil dannes Kulstofforbindelser, der er tilgængelige for de kvælstofbindende Mikrober. Ved Nedpløjning af Grøngødning maa man saaledes antage, at der efterhaanden frigøres et betydeligt Kvantum tilgængelig Kulstofnæring, og det er ret sandsynligt, at den heldige Virkning af Grøngødskning med ikke kvælstofsamlende Planter i hvert Fald for en Del maa tilskrives dette Forhold. Efter Iagttagelser af *Heinze* (36) skal *Azotobacter* til en vis Grad kunne udnytte og forarbejde Humusstoffer*), og *Remy* (37) kommer gennem en Beregning, hvis Grundlag dog maa siges at være meget usikkert, til det Resultat, at en Jord med ca. 2 pCt. Humus aarlig vil kunne afgive ca. 6000 Kg. for *Azotobacter* tilgængelige organiske Stoffer, Gaar man nu ud fra, at der (som ved mange Laboratorieforsøg) til Binding af 8 Dele Kvælstof medgaar 1000 Dele organisk Stof, vil der paa Grundlag af den anførte Mængde Kulstofforbindelser pr. Aar og pr. Ha. kunne bindes 48 Kg. Kvælstof.

En stor Betydning for de frit levende, kvælstofbindende Bakteriers Kulstofforsyning har under visse Forhold Algerne, og det synes, som der her er Tale om en Art Samliv, ved hvilken Algerne, der, som senere omtalt, ikke er i Stand til at assimilere elementært Kvælstof, leverer de for Kvælstofbindingen nødvendige Kulstofforbindelser, medens de da til Gengæld forsynes med Kvælstofforbindelser fra Bakterierne. Noget sikkert vedrørende dette indbyrdes Forhold ved man dog ikke, men den tidligere omtalte Iagttagelse af *Keutner* (se Side 310), efter hvilke *Azotobacter chroococcum* ofte forekommer i meget stor Mængde paa visse, store Hav-Alger samt ogsaa en Iagttagelse af *Hugo Fischer* (38), hvorefter *Azotobacter* ofte forekommer sammen med jordbeboende *Oscillariæ*, tyder dog stærkt hen paa et Samliv af den omtalte Art. Ved et Forsøg, som *Hellriegel* (39) anstillede med udglødet og altsaa ganske kvælstoffrit Sand, der var anbragt i Glasbeholdere, bemærkede han, at der i de Sandlag, der blev belyste, efter nogen Tids Forløb optraadte en ret kraftig Algevegetation, og Kvælstofbestemmelsen viste, at der i disse Lag var foregaaet en betydelig Kvælstofbinding.

*) Denne Iagttagelse finder dog formentlig sin rigtige Forklaring ved de senere omtalte Undersøgelser af *S. Krzemieniewski* om Humusstoffernes Indflydelse paa *Azotobacters* Udvikling og Kvælstofbinding.

Dækkede man Glaskarret til for Lyset, var der ikke Tale om nogen Kvælstofophobning og naturligvis heller ikke om nogen Algevegetation. I de belyste Kar fandtes indtil 50 Mgr. Kvælstof pr. 4 Kg. Sand, og i de alleryderste, belyste Lag fandtes 3 Mgr. Kvælstof pr. 100 Gr. Sand (svarende til 30 Mgr. pr. Kg. Sand). Lignende Iagttagelser er før *Hellriegel* gjorde af andre Forskere, saaledes af *Schloesing* og *Laurent* (40) samt *Deherain* og *Demoussy* (41). Herefter maa man altsaa antage, at Lyset, der er en Betingelse for Udviklingen af Alger, spiller en væsentlig Rolle for Kvælstofbindingen i Jorden.

En for kort Tid siden offentliggjort Undersøgelse af *Wilfarth* og *Wimmer* (42), der ligesom *Hellriegel* arbejdede med rent Sand, viser ligeledes med stor Tydelighed Kvælstofbindingens Afhængighed af Algeudviklingen. Endelig har ogsaa *Bouilhac* og *Giustiniani* (43) ved nogle Forsøg med Sennep, Majs og Boghvede, dyrkede i steriliseret Jord, paavist Algernes Indflydelse paa Kvælstofassimilationen. I de Kar, i hvilke der enten gennem tilfældig Infektion eller ved Udsæd af Algekulturer var fremkommet en Algevegetation, udviklede Planterne sig godt. Størst var Kvælstofbindingen i de med Algekulturer podede Kar.

Gerlach og *Vogel* (44) har anstillet ret indgaaende Undersøgelser over *Azotobacter chroococcum* Krav til mineralske Plantenæringsstoffer og paa Grundlag deraf angivet, at denne Bakterie, for at kunne udvikle sig og udøve sin kvælstofbindende Virksomhed, kræver Tilstedeværelsen af Fosforsyre og Kalk, hvorimod den efter disse Undersøgelser synes at kunne undvære Kali og Natron. En Undersøgelse af *H. Krzemieniewska* (45) har dog vist, at ogsaa Kali er et nødvendigt Næringsstof for *Azotobacter*, selv om det kun behøver at være til Stede i forholdsvis ringe Mængde. Forsøg af samme Forsker med at erstatte Kalium med Rubidium gav et negativt Resultat. Kalk og Fosforsyre maa være til Stede i forholdsvis rigelig Mængde for at *Azotobacter* skal kunne udvikle sig; men den Form, hvori disse Næringsstoffer forefindes, er dog her af væsentlig Betydning. Ifølge Undersøgelser af Forf. (22) afgiver kulsur Kalk, sekundært Kalciumfosfat samt Kalk i Forbindelse med organiske Syrer, som Citron- og Mælkesyre, en udmærket Kalknæring for en *Azotobacter*raakultur, hvorimod Gibbs (svovlsur Kalk), Klorkalcium og trebasisk fosforsur Kalk ikke synes at

kunne udnyttes af denne. Kulsur Magnesia synes fuldt ud at kunne erstatte kulsur Kalk, medens de kulsure Alkalier ikke i ringeste Grad kan erstatte Kalcium- eller Magniumkarbonat. Af tilsvarende Undersøgelser over Azotobacters Evne til at udnytte forskellige Fosforsyreforbindelser fremgik det, at Kalium-, Natrium- og Ammoniumfosfat samt tobasisk fosforsur Kalk og Fosforsyren i Thomasmel meget let udnyttes af Azotobactervegetationen, medens Jærniltefosfat (Ferrifosfat), Lerjordsfosfat og trebasisk fosforsur Kalk er meget tungt tilgængelige for denne.

Særlig karakteristisk er Azotobactervegetationens Forhold over for basisk Kalk, hvad der dog maaske ofte mere beror paa denne Kalkforms Evne til at mætte frie Syrer og forlene Substratet med en alkalisk Reaktion end paa dens direkte Virkning som Kalknæring, og det er af Forf. (22) endog forsøgt paa Grundlag af Iagttagelser herover at anvende Azotobactervegetationen som Reagens for Tilstedeværelsen af basisk Kalk eller andre basiske Stoffer i Jorden. Den anvendte Fremgangsmaade er følgende: Til 50 Kcm. af en Næringsvædske, bestaaende af destilleret Vand, Mannit (2 pCt.) og lidt Dikaliumfosfat (0.02 pCt.) og anbragt i 300 Kcm. Erlenmeyerkolber, tilsættes 5 Gr. af den godt sammenblandede Jordprøve. Ved Hjælp af en Platinøse føres nu lidt af en ung og kraftig Azotobacterraakultur over i Vædsken, og Kolben henstilles derpaa i en Termostat, hvor Temperaturen til Stadighed er ca. 25° C. Efter 2 à 3 Dages Forløb iagttages Azotobacterudviklingen i Kolben, og man fortsætter daglig med denne iagttagelse indtil 5 Dage efter Podningen, efter hvilken Tid Udviklingen saa godt som altid vil have naaet sit Maksimum. Nu vil man ved nogle Jorder se, at der fremkommer en kraftig, slimet og i Reglen foldet Hinde paa Vædskeoverfladen, ved andre ses en mere eller mindre sparsom Bakterieudvikling, og ved atter andre fremkommer der overhovedet ikke nogen Belægning. At denne Forskel hidrører fra et forskelligt Indhold af basiske Stoffer kan ses deraf, at naar man (i Laboratoriet) tilsætter lidt kulsur Kalk til de Jorder, der har vist sig ikke at kunne fremkalde nogen Azotobactervegetation, kommer der i alle Tilfælde en kraftig Vegetation. Det er muligt at skelne mellem 3 à 4 Grader i Vegetationens Udvikling, og der er altsaa her i Virkeligheden Tale om en mikrobiologisk Bestemmelse af en

bestemt, for Jordbundens Tilstand vigtig Stofgruppe*). Ogsaa en senere offentliggjort Undersøgelse af *Ashby* (47) har med stor Tydelighed vist, at *Azotobacter*udviklingen i en kalkfri Mannitopløsning (der podedes ikke her, som ved de foran beskrevne Forsøg, med *Azotobacter*) staar i nøje Sammenhæng med den anvendte Podejords Indhold af kulsur Kalk, og endvidere viser ogsaa Undersøgelser af *Hugo Fischer* (23), *Ph. Schneider* (35), *Th. Remy* (34 og 48) og sidst af *T. Westermann* (48 a) Kalkens Betydning for *Azotobacters* Forekomst og Udvikling.

Som foran berørt, trives *Azotobacter* ikke ved Tilstedeværelse af større Mængder opløselige Kvælstofforbindelser. Paa almindelig Kødpeptongelatine eller -bouillon udvikler den sig enten meget daarligt eller slet ikke.

Efter Iagttagelser af Forf. faar man ved til den almindelig anvendte Næringsvædske for *Azotobacter* (Mannit + Kalifosfat + Kalk) at tilføje en ringe Mængde Salpetersyre og pøde denne Vædske med lidt af en *Azotobacter*raakultur en Vegetation frem, som makroskopisk minder noget om *Azotobacter*vegetationen, men i hvilken *Azotobacter* enten slet ikke eller kun ganske sparsomt er repræsenteret. Vegetationen bestaar derimod sandsynligvis af salpeterassimilerende Bakterier, der under disse Vækstbetingelser har fortrængt *Azotobacter*. I Renkulturer kan denne Bakterie dog godt udvikle sig ved Tilstedeværelsen af smaa Mængder Nitrater, og overstiger Mængden heraf ikke 1 pro Mille, skal disse endog ifølge *Beijerinck* udøve en gunstig Virkning paa Bakteriens Udvikling. Ammoniaksalte og Asparagin virker mindre gunstig, og Pepton udnyttes kun langsomt. Ved Podning af Mannitnæringsvædsken med meget kvælstofrige Jorder indtræffer ifølge Iagttagelser af Forf. undertiden det samme Fænomen som ved Salpetertilsætning, idet der kan fremkomme en kraftig Vegetation, der overvejende bestaar af smaa, stav- eller kugleformede Bakterier, medens *Azotobacter* helt er fortrængt eller kun findes i forholdsvis ringe Mængde. Rimeligvis bestaar ogsaa her Vegetationen af salpeterassimilerende eller andre æggehvidedannende Bakterier.

*) Foruden denne biologiske Kalkbestemmelse har Forf. ogsaa gjort Forsøg paa ved Hjælp af *Azotobacter*vegetationen at faa et Udtryk for Mængden af let tilgængelig Fosforsyre i Jordbunden (22) samt for Jordbundens Indhold af Alkalikarbonater (46).

Med Henblik paa *Azotobacters* almindelige Forekomst i Havvand har *Keutner* (28) undersøgt dennes Forhold over for større Koncentration af Kogsalt og fundet, at den i en Vædske med et Indhold af ikke mindre end 8 pCt. Kogsalt endnu er i Stand til at udøve sin kvælstofbindende Virksomhed.

Humusstoffer virker ifølge Undersøgelser af *S. Krzemieniewski* (49 og 32) i høj Grad fremmende paa *Azotobacter chroococcums* Kvælstofassimilation. Medens der i 200 Kcm. Næringsvædske med et Indhold af 4 Gr. Druesukker kun indvandt 1.4 Mgr. Kvælstof, blev der ved rigelig Tilførsel af humussur Kali, fremstillet af Jord, i den samme Næringsvædske og i samme Tid indyndet indtil 13.4 Mgr. Kvælstof. Saavel opløselige som uopløselige Humusstoffer virker fremmende paa Kvælstofbindingen. Humusstoffernes Funktion ved denne Proces er dog endnu ganske gaadefuld; om nogen Virkning som Kvælstofnæring kan der efter *S. Krzemieniewski* (32) ikke være Tale. Humus, fremstillet ad kunstig Vej ved Indvirkning af varm Syre paa Rørsukker, er ifølge Undersøgelser af *Warmbold* (6) og *Pillai* (50) uegnet som Kulstofnæring for de kvælstofbindende Jordbakterier, og ved *S. Krzemieniewskis* Undersøgelser har det vist sig, at en saadan Sukkerhumus i Modsætning til Humus, fremstillet af Jord, heller ikke udøvede nogen fremmende Indflydelse paa *Azotobacters* Kvælstofbinding i den almindelige Næringsopløsning. Efter samme Forfatter svækkes de naturlige Humusstoffers Virkning paa Kvælstofbindingen ved at koges med Saltsyre, og af betydelig Interesse er det endvidere, at Humuspræparater, fremstillede af forskellige Jorder, langt fra virkede lige fremmende paa *Azotobacters* Kvælstofbinding.

Den Lethed, hvormed Luften har Adgang til det Substrat, hvori *Azotobacter* og andre aerobe, kvælstofbindende Jordbakterier lever, er af væsentlig Betydning for Kvælstofbindingens Omfang. Allerede inden Luftens Iltindhold er bragt ned til Halvdelen af det normale, er *Azotobacter chroococcums* Aandingsintensitet ifølge *S. Krzemieniewski* (49) betydelig formindsket, og efter samme Forfatter forløber denne Bakteries intramolekulære Aanding overmaade svagt. Ved fuld Luftadgang er *Azotobacters* Aandingsvirksomhed derimod meget livlig. *Stoklasa* (51) har saaledes fundet, at 1 Gr. Bakteriemasse (beregnet som Tørstof) i Løbet af 24 Timer gennemsnitlig udaander ikke mindre end 1.278 Gr. Kulsyre, og Azoto-

bacters Aandingsenergi er herefter større end alle andre hidtil undersøgte Bakteriearters. *Koch* (25) har undersøgt, hvilken Indflydelse en hyppig Omskovling af Jorden og den deraf følgende rigelige Lufttilførsel udøver paa Jordens Evne til at berige sig med atmosfærisk Kvælstof, og fundet, at denne Behandling i ret betydelig Grad fremmede Kvælstofbindingen, og i lignende Retning gaar ogsaa Undersøgelser af *Löhnis* (52), hvorefter stubpløjet Jord viste sig i Besiddelse af større kvælstofbindende Evne end ikke stubpløjet Jord.

Angaaende Temperaturens Indflydelse paa Kvælstofbindingen er Oplysningerne ret sparsomme. Optimumstemperaturen for *Azotobacter chroococcum* ligger ifølge *Thiele* (53) omkring ved 25° — 30° C., men ogsaa ved almindelig Stuetemperatur kan denne Bakterie, om end forholdsvis langsomt, udvikle sig kraftigt. *Warmbold* (6) anfører, at *Azotobacters* Optimumstemperatur ligger mellem 18 og 31° C. og at dens Minimumstemperatur ligger over 5° C., og endelig angives det af *S. Krzemieniewski* (32), at Optimumstemperaturen for *Azotobacter* er ca. 28° , at den ikke udvikler sig ved en Temperatur af 9° , og at allerede en Temperatur af 33° C. virker stærkt hemmende paa dens Udvikling.

Af *Berthelot* er der meddelt, at der i Jord ikke foregaar nogen Kvælstofbinding, naar Temperaturen er under 10° og over 40 — 45° C.; i Modstrid hermed staar dog Angivelser af *Deherain* (54) og *Koch* (4), der har kunnet konstatere en betydelig Kvælstofbinding i Jord ogsaa i Vintermaanederne.

Over for Indtørring er *Azotobacter* meget modstandskraftig og kan, efter *Heinze* (36), endog taale flere Maaneders Indtørring.

Over de af *Azotobacter* dannede Stofskifteprodukter foreligger et betydeligt Antal Undersøgelser, hvoraf her kun skal omtales enkelte af de vigtigste.

Efter *S. Krzemieniewski* (49) er Renkulturer af *Azotobacter* ikke i Stand til hverken at danne Alkoholer eller Syrer, og af Luftarter producerer den kun Kulsyre. *Stoklasa* (51) bestrider dog disse Angivelseres Rigtighed og meddeler, at *Azotobacters* Kvælstofbinding altid er ledsaget af Brintudvikling, og at den endvidere danner meget smaa Mængder Æthylalkohol, Myresyre, Eddikesyre, Smørsyre og Mælkesyre.

Af ikke ringe Interesse er det, at *Azotobacter* efter *Beije-*

rincks og *van Deldens* Undersøgelser (19) er en udpræget Alkalidanner. *Heinze* (36) har paavist, at *Azotobacter* er i Stand til at danne Glykogen og igen omsætte denne under Dannelse af Druesukker, og han antager, at Glykogenet kan blive af Betydning for Bakterien, naar der i Jorden indtræder Mangel paa tilgængelige Kulstofforbindelser, idet *Azotobacter* da selv vil nedbryde den oplagrede Glykogen og derved forsynes med Energi til Udfoldelsen af sin kvælstofbindende Virksomhed.

Stoklasa (51) angiver fra *Azotobacter*kulturer at have isoleret et zymaselignende Enzym og endvidere ogsaa her at have konstateret Forekomsten af Oxydaser og Peroxydaser.

Spørgsmaalet, om *Azotobacter* er i Stand til at udskille opløselige Kvælstofforbindelser, kan ikke betragtes som løst. *Beijerinck*, *Gerlach* og *Vogel* samt *Stoklasa* angiver, at det assimilerede Kvælstof er bundet til *Azotobacter*-Cellerne. *S. Krzemieniewski* (32) har imidlertid paavist, at ca. 13 pCt. af Kvælstoffet i en *Azotobacter*kultur forefandtes i opløst Tilstand, men hvorvidt den her stedfundne Diffusion af Kvælstofforbindelser er foregaaet fra levende eller døde Celler, er dog endnu ikke afgjort med Sikkerhed. Spørgsmaalet er imidlertid, som *S. Krzemieniewski* gør opmærksom paa, i biologisk Henseende af den største Betydning, thi hvis Udskillelsen af Kvælstofforbindelser er en normal Funktion hos *Azotobacter*, er der Mulighed for, at denne Organisme allerede i sin Levetid kan spille en Rolle som Kvælstofleverandør for højere Planter.

Foruden de foran omtalte *Clostridium*- og *Azotobacter*-former er der i de sidste Aar isoleret og beskrevet forskellige andre, frit levende, kvælstofbindende Bakterier. I sin anden Afhandling om kvælstofbindende Organismer (19) angiver *Beijerinck* og *van Delden*, at blandt de i *Azotobacter*raakulturerne forekommende Bakteriearter er de saakaldte *Granulobacter*arter i Besiddelse af kvælstofbindende Evne, medens en saadan derimod ikke kunde paavises hos *Bact. radiobacter* og *Aerobacter aërogenes* (*Bac. lactis aërogenes*), af hvilke særlig den første altid synes at optræde i betydelig Mængde i *Azotobacter*-vegetationen.

Af *Löhnis* (52) er det blevet godtgjort, at et ret stort Antal dels ny opdagede og dels tidligere kendte, aerobe Bakterieformer har Evne til at udnytte elementært Kvælstof. I Tabel 3 er

angivet Navnene paa en Del af de af *Löhnis* og samme Forfatter i Forening med *Pillai* (56) og *T. Westermann* (17) undersøgte, kvælstofbindende Bakterierformer samt meddelt Resultaterne af Undersøgelser vedrørende deres kvælstofbindende Evne. Som Næringssubstrat anvendtes Jorddekøkt med Til sætning af fosforsur Kali og de i Tabellen nævnte Kulstof forbindelser.

Tabel 3.

Bakteriens Navn	Kvælstofnæringens Art og Mængde	Kvælstoftilvækst i 100 Ccm. Vædske Mgr.
<i>Bact. pneumoniae</i>	1 pCt. Mannit	2.26
<i>Bact. lactis viscosum</i>	1 pCt. Druesukker	0.84
<i>Bact. radiobacter</i> (Stamme Nr. I)....	do.	0.84
<i>Bact. radiobacter</i> (Stamme Nr. II)....	do.	1.08
<i>Bact. radicicola</i> (fra Kløver).....	do.	1.12
<i>Bact. radicicola</i> (fra Vikke).....	do.	0.56
<i>Bact. prodigiosum</i>	do.	1.40
<i>Bac. malabarensis</i>	1 pCt. Mannit	2.12
<i>Micrococcus sulfureus</i>	1 pCt. Druesukker	2.82
<i>Bact. turcosum</i>	do.	1.56
<i>Bact. chrysogloca</i>	do.	1.42
<i>Bac. danicus</i>	1 pCt. Mannit	1.05

Som det fremgaar af Tabel 3, har baade Kløveren og Vikkens Knoldbakterie, *Bact. radicicola*, der for øvrigt, ifølge *Beijerinck* og *Löhnis*, saavel morfologisk som fysiologisk minder meget om *Bact. radiobacter* og muligvis er identisk med denne, vist sig i Stand til i fri Tilstand at kunne binde smaa Mængder Kvælstof fra Luften, et Forhold, der dog allerede tidligere er godtgjort af *Beijerinck* (57) og *Mazé* (58). At *Bact. radicicola* fra Lucerne kan opnaa en betydelig Udvikling paa de ved Dyrkningen af frit levende, kvælstofbindende Bakterier almindelig anvendte og ofte omtalte, kvælstoffrie Substrater, har Forf. hyppigt haft Lejlighed til at iagttage.

Ogsaa *Bact. radiobacter* har ved disse Undersøgelser i Mod sætning til *Beijerincks* vist sig i Besiddelse af en tydelig kvælstofbindende Evne. Denne Bakterie er for øvrigt ogsaa interessant derved, at den, foruden at være Kvælstofbinder, ogsaa

er en udpræget Denitrifikant, der med stor Energi reducerer tilstedeværende Salpetersyre under Udvikling af frit Kvælstof.

Bacillus malabarensis er en hidtil ukendt Bakterief orm. Den blev af Löhnis og Pillai isoleret fra Jord, der stammede fra en Rismark i Sydindien, i hvilken Azotobacter ikke forefandtes. Det er en meget stor, sporedannende Bakterief orm, der under Mikroskopet undertiden kan minde noget om Azotobacter (se Fig. 2 og 3). Dyrket paa Mannitagar ligger Stavene

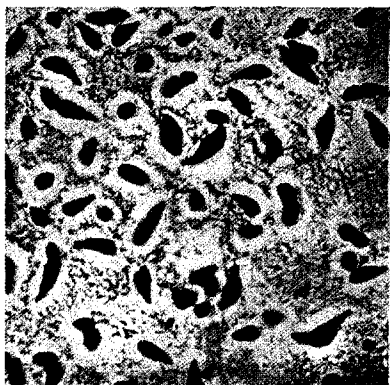


Fig. 2.

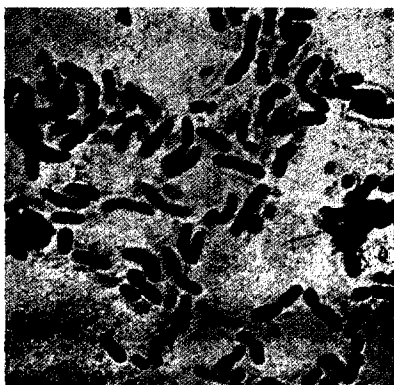


Fig. 3.

Bacillus malabarensis. (ca. $800/\mu$).

(Efter Centralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten. Bd. 19. 1907.)

indlejrede i en sejt Slim; de kan her svulme betydeligt op og antager da ofte Roe- eller Tenform (Fig. 2). Bakterien trives udmærket paa et saa kvælstofholdigt Substrat som Kødsuppegelatine. Dens kvælstofbindende Evne er, som det ses, ret betydelig.

Ogsaa *Bacillus sulfureus* ses at være udrustet med en ret betydelig kvælstofbindende Evne.

Bact. turcosum og *Bact. chrysogloea* fandtes sammen med *Bacillus malabarensis* i den omtalte Jord fra Sydindien.

Bac. danicus, der isoleredes af Löhnis og Westermann, er en sporedannende Bakterief orm, som minder meget om *Bac. malabarensis*. I den kvælstoffrie Mannitopløsning optræder den dels som store Diplo- og Streptokokker (2—3 μ brede og 2—8 μ lange) og dels som lige, slanke Stave (1 μ brede og 3—5 μ lange)

(se Fig. 4 og 5). Ligesom ved *Bac. malabarensis* optræder der i Kulturerne af denne Bakterie hyppigt ejendommelige, roe- og pæreformede Individer (Fig. 5). Bakterien skal for øvrigt ofte, saavel makroskopisk som mikroskopisk, have en skuffende Lighed med *Azotobacter*.

I 1907 fremkom der fra *Kaserer*, Wien (59), Meddelelse om, at han havde isoleret en kvælstofbindende Bakterie, der indtager en Særstilling blandt de hidtil kendte, kvælstofsamlende

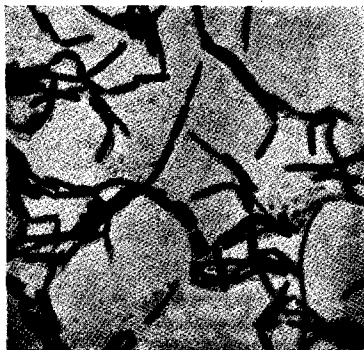


Fig. 4.

Bacillus danicus. (⁸⁰⁰/₁).

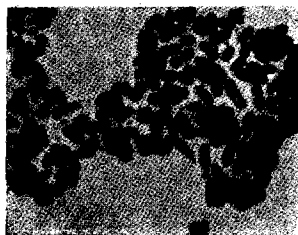


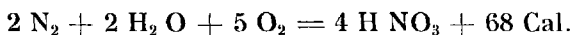
Fig. 5.

(Efter Centralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten. Bd. 22. 1908.)

Organismer. Denne Bakterie, der har faaet Navnet *Bacillus azotofluorescens* (den danner et fluorescerende Farvestof), er i Stand til at ilte kulsur Ammoniak til Myresyre og frit Kvælstof og omvendt — ved Fraværelse af Kvælstofforbindelser — af Myresyre og frit Kvælstof at danne kulsur Ammoniak og benytte denne som Kvælstofkilde. Poder man en kvælstoffri Vædske, der indeholder Natriumformiat, med Jord, faar man allerede efter nogle Dages Forløb *Bacillus azotofluorescens* næsten i Renkultur. Vi har altsaa her et Eksempel paa en Organisme, der er i Stand til at overføre det elementære Kvælstof i en ren uorganisk og for Planterne særdeles let tilgængelig Forbindelse og uden hertil at kræve anden Kraftkilde end Myresyre. Ogsaa med Sukker som Kraftkilde binder denne Bakterie frit Kvælstof, hvilket da sker under stærk Syredannelse. Et foreløbigt Forsøg viste, at der pr. Gr. Druesukker efter 25 Dage var bundet 4.6 Mgr. Kvælstof.

Kaserer angiver endvidere (l. c.) at have isoleret en Bakterie, der sønderdeler Cyanider i Kulsyre og frit Kvælstof og omvendt i sukkerholdig Vædske udøver en kraftig kvælstofbindende Virksomhed. Nærmere Undersøgelser over denne Bakterie, der benævnes *Bacillus Hiltneri* er for Øjeblikket i Gang. Man ophober den ved at henstille Kalkkvælstof med Jord og Vand.

I Slutningen af sin Afhandling gør *Kaserer* opmærksom paa, at følgende Reaktion:



er exotherm, ♂: ledsaget af Varmeudvikling, og at der derfor er stor Sandsynlighed for, at der findes Organismer, der autotropht (♂: udelukkende ved Hjælp af uorganiske Næringsstoffer) er i Stand til at kunne ilte elementært Kvælstof, og han anfører, at hans i den Retning anstillede Undersøgelser i Virkeligheden har givet overmaade opmuntrende Resultater. Paa det Stadium, som disse Undersøgelser endnu befinder sig, synes der inden for de forskellige Jorder at være typiske Forskelle med Hensyn til den Lethed, hvormed Kvælstofiltningen foregaar, idet Ler- og Kalkjorder begunstiger Processen, Sandjorder derimod ikke. Da Jordbakterierne dog først, naar alt andet forbrændeligt er opbrugt, tager deres Tilflugt til den sidste Energikilde, Luftkvælstoffet, er det en Selvfølge, at den omtalte Proces kun vil kunne foregaa under bestemte Forhold.

Man maa med Interesse afvente nærmere Meddelelser om disse af *Kaserer* omtalte, kvælstofbindende Organismer, hvis særegne og ejendommelige Forhold det vil være af den største Betydning at faa nærmere belyste, hvorigennem det da mulig vil kunne lykkes paa væsentlige Punkter at faa uddybet vor i Virkeligheden ret mangelfulde Viden om Kvælstoffets Kredsløb i Naturen.

En autotropht, kvælstofbindende Bakterie mener *Guido Volpino* (60) at have fundet. Der meddeles om denne Bakterie, at den gennem flere Generationer kan udvikle sig i Substrater, der ikke med Hensigt er tilsat Kulstofforbindelser, og som kun indeholder minimale Spor af disse, men at den hurtig mister sin kvælstofbindende Evne, naar den dyrkes i fuldstændig ammoniakfri Luft. Bakteriens Evne til autotropht at kunne

binde atmosfærisk Kvælstof kan dog næppe endnu betragtes som bevist.

Spørgsmaalet, om Mikrober uden for Bakteriernes Verden er i Stand til at binde det frie Kvælstof, har været drøftet endog flere Aar, før der var bragt et sikkert Bevis for Eksistensen af frit levende, kvælstofbindende Bakterier. Saaledes meddelte *Frank* (61) i 1888, at Sand, der udsættes for Sollyset, bedækker sig med Alger, og at dets Kvælstofindhold derved tiltager, og han drager deraf den Slutning, at Algerne er i Stand til at assimilere elementært Kvælstof. *Schloesing* og *Laurent* (40) førte disse Undersøgelser videre og paaviste gennem fine, luft-analytiske Undersøgelser, at det virkelig var det frie Kvælstof, der optoges af en saadan algebevokset Jord.

Hvorvidt det er selve Algerne eller andre Organismer, der har bevirket den paaviste Kvælstofbinding, afgøres naturligvis ikke af disse Undersøgelser, ved hvilke der ikke er arbejdet med Renkulturer af Algerne. Undersøgelser af *Kossowitsch* (62) og af *Krüger* og *Scheidewind* (63) har vist, at Renkulturer af følgende Algeformer: *Cystococcus*, *Stichococcus*, *Chlorella* og *Chlorothecium* ikke havde Evne til at tilegne sig det frie Kvælstof, og Algernes Rolle ved Kvælstofbindingen i Naturen maa da herefter indtil videre antages udelukkende at være den at levere de kvælstofbindende Mikrober de nødvendige Kulstof-forbindelser.

I sin første Afhandling om oligonitrophile Mikrober angiver *Beijerinck* (15), at visse blaagrønne Alger (*Cyanophyceer*) er i Besiddelse af kvælstofbindende Evne, uden at han dog har leveret det afgørende Bevis herfor gennem kvantitative Undersøgelser*). I en Næringsvædske, bestaaende af Vand og

*) Ogsaa blandt Gærsvampene findes oligonitrophile Former. En rød Gærsvamp, som jeg isolerede fra amerikansk Nitragin (*Moore's*), udviklede sig saaledes paafaldende kraftigt paa den almindelige Mannit-agar, og ogsaa i den kvælstoffrie Mannitopløsning naaede den en betydelig Udvikling. Desuagtet kunde der ved Analysen ikke paavises Kvælstofbinding i Næringsvædsken. Jeg kan saaledes give *Vogel* Ret, naar han anfører (64), at den Yppighed, hvormed en Organismes Vækst foregaar i en kvælstoffri Næringsvædske, paa ingen Maade kan betragtes som et Udtryk for Størrelsen af Organismens kvælstofbindende Energi. De paa

Kalifosfat og inficeret med lidt Havejord, opstaar der efter nogle Ugers Forløb en karakteristisk Flora, sammensat af flere Arter af *Cyanophyceer* (blaa grønne Alger). I Begyndelsen udvikler *Cyanophyceerne* sig som Enkeltkolonier, senere opstaar svømmende Hinder, der overvejende bestaar af *Anabena catenula*. Paa Kiselsyregeleé og stærkt udvadsket Agar lykkedes det at faa Renkulturer frem af de oligonitrophile *Cyanophyceer*. *Beijerinck* udkaster i sit Arbejde den Tanke, at disse *Cyanophyceer*, der altsaa skulde være i Stand til at udvikle sig paa Grundlag af Jordbundens Indhold af Mineralstoffer og Luftens Indhold af Kulsyre, Ilt og frit Kvælstof, mulig er Jordklodens Urbeboere; men Beviset for, at disse Organismer i Virkeligheden er i Stand til at binde Kvælstof, foreligger dog — som nævnt — endnu ikke.

For flere Skimmelsvampes Vedkommende har det gentagne Gange været paastaet, at de kan udnytte elementært Kvælstof. *Berthelot* (2) angiver saaledes at have konstateret Kvælstofbinding i Kulturer af *Aspergillus niger*, *Alternaria tenuis* og *Gymnoascus* (af hvilke dog kun *Alternariakulturen* var sikker ren). *Puriewitsch* (65) meddeler, at *Aspergillus niger* og *Penicillium glaucum* kan binde frit Kvælstof, naar de dyrkes i en Vædske med et ringe Indhold af Ammoniumnitrat, og ifølge *Saida* (66) skal *Phoma betae*, *Mucor stolonifer* og *Aspergillus niger* være kvælstofbindende, derimod ikke *Acrostalagmus cinnabarinus*, *Monilia variabilis* og *Fusisporium moschatum* — og *Endococcus purpurascens* kun ved Tilstedeværelse af bestemte Kvælstofforbindelser.

De sikre Beviser for forskellige Svampes kvælstofbindende Evne kan dog formentlig først siges at være givne gennem *Charlotte Ternetz's* (67) indgaaende og smukt gennemførte Undersøgelser.

Ch. Ternetz undersøgte Kvælstofbindingen hos 5 forskellige *Phoma*-Arter, som var isolerede fra Rødder af *Eriaceer* samt endvidere hos *Aspergillus niger* og *Penicillium glaucum*. Til Sammenligning inddroges i Undersøgelsen følgende 3 kvælstof-

kvælstoffattige Næringssubstrater fremvoksede Kulturer indeholder, ifølge *Vogel*, ofte kun overordentlig lidt Kvælstof, undertiden ikke engang 1 pCt. af den tørrede Kulturmasse, medens de samme Organismer, naar de ernæres paa normal Vis, sædvanlig indeholder 10—12 pCt. Kvælstof i Tørstoffet.

Forf.

bindende Bakterier: *Clostridium Pasteurianum*, *Clostridium americanum* og *Azotobacter chroococcum*. Svampene dyrkedes i en ganske kvælstoffri Næringsvædske, hvis Sammensætning sædvanlig var følgende: 100 Gr. destilleret Vand, 7 pCt. Druesukker, 0.5 pCt. primært fosforsurt Kali, 0.01 pCt. svovlsur Magnesia, 0.01 pCt. kulsur Kalk, Spor af Kogsalt og svovlsur Jærnforsilte. Gennem Kulturerne ledes uafbrudt en langsom og for Kvælstofforbindelser befriet Luftstrøm.

Resultaterne af Kvælstofbindingsforsøgene findes sammenstillede i Tabel 4.

Tabel 4.

Organismens Navn	1	2	3	4	5	6
	For- søgets Varig- hed Dage	Druesukker i Nærings- vædsken		For- brugt Drue- sukker	Kvælstof- Gevinst	Assimileret Kvælstof pr. Gr. forbrugt Druesukker
		Gr.	pCt.	Gr.	Mgr.	Mgr.
<i>Clostridium Pasteurianum</i>	20	40	4	40	53.6	1.34
—	20	20	2	20	24.4	1.22
<i>Clostridium americanum</i> .	30	1.25	0.25	1.25	4.6	3.7
—	30	5	1	3.01	8.2	3.01
<i>Azotobacter chroococcum</i>	35	5	0.5	5	42.7	8.56
—	35	12	1.2	12	127.0	10.66
<i>Aspergillus niger</i>	28	7	7	1.1	1.9	1.71
<i>Penicillium glaucum</i>	28	7	7	0.7	2.3	3.8
<i>Phoma radicis Oxycocci</i> .	28	7	7	0.85	15.3	18.08
<i>Phoma radicis Andromedae</i>	28	7	7	0.67	7.8	10.92
<i>Phoma radicis Vaccinii</i> *).	28	7	7	0.71	15.7	22.14
<i>Phoma radicis Tetralicis</i> .	28	7	7	1	4	3.99
<i>Phoma radicis Ericae</i> ...	28	7	7	1.1	2.3	2.17

Betragter man Tabellens 5. Kolonne, vil man se *Azotobacter chroococcum*s og *Clostridium Pasteurianum*s Overlegenhed med Hensyn til kvælstofbindende Energi. *Clostridium americanum* staar langt tilbage for disse. Ser man derimod paa Forholdet mellem det assimilerede Kvælstof og det forbrugte Druesukker (6. Kolonne) bliver Rækkefølgen en ganske anden. Tre af de undersøgte *Phoma*-Arter har assimileret mere Kvælstof for hvert Gram forbrugt Druesukker end *Azotobacter*, og *Clostridium Pasteurianum* kommer her sidst i Rækken, hvad der utvivlsomt

*) Ikke ganske bakteriefri.

hænger sammen med dennes strengt anaerobe Levevis. To af *Phoma*-Arterne har vist sig at sidde inde med en betydelig større kvælstofbindende Energi end *Clostridium americanum*.

Særlig økonomisk har *Phoma rad. Oxyc.* og *Phoma rad. Vacc.*, der har assimileret henholdsvis 18 og 22 Mgr. Kvælstof pr. Gr. forbrugt Druesukker, været. Ingen af de undersøgte Svampearter har i Modsætning til Bakterierne Evne til at forgære Druesukker, og man maa sikkert særlig i denne Omstændighed søge Forklaringen paa deres i Forhold til Mængden af assimileret Kvælstof ringe Forbrug af Kulstofnæringen.

For øvrigt viste det sig for alle de undersøgte Svampes Vedkommende, at jo større den producerede Mængde organisk Stof var, desto lavere var i Almindelighed Kvælstofprocenten, og den samlede Mængde assimileret Kvælstof var altsaa slet ikke proportional med den dannede Tørstofmængde.

For *Aspergillus nigers* og *Penicillium glaucum*s Vedkommende blev der undersøgt Betydningen af at gennemluften Kulturerne, og det viste sig da, at Kvælstofbindingen, der ved disse Svampe i alle Tilfælde var ringe, i ikke gennemluftede Kulturer blev betydelig mindre.

Hos *Phoma*-Arterne paaviste *Ch. Ternetz*, at det assimilerede Kvælstof altid kun for en ringe Del indeholdtes i Mycelet, medens den største Mængde fandtes i den filtrerede Næringsvædske, hvor den er bundet til de talløse Pykiosporer, der er saa smaa, at de med Lethed passerer Filtrets Porer. Hele den assimilerede Kvælstofmængde er altsaa bundet til Svampelegemet.

Omregnet paa Tørstoffet indeholdt *Phoma rad. Andr.* og *Phoma rad. Oxyc.* 17—18 pCt. Kvælstof, medens *Azotobacter* kun indeholdt 10—12 pCt.

Udviklingen af de enkelte *Phoma*-Arter i den omtalte kvælstoffrie Næringsopløsning var meget forskellig. *Phoma rad. Oxyc.* og *Phoma rad. Tetr.* danner allerede efter 3 Ugers Forløb tykke, sorte, geléagtige Puder. *Phoma rad. Andr.* og *Phoma rad. Vacc.* danner et betydeligt svagere, lysebrunt Mycel, der udvikler sig under Vædskeoverfladen, og endelig udvikler *Phoma rad. Ericae* et lysebrunt Mycelslør, i hvilket der er indlejret sortbrune Knuder, der ved mikroskopisk Undersøgelse viser sig at være løse Sammenhobninger af Pyknider.

Kort efter Fremkomsten af *Ch. Ternetz's* ovenfor refererede Undersøgelser over kvælstofbindende Svampe har *H. Frölich* (68) meddelt, at han har konstateret kvælstofbindende Evne hos følgende 4 Skimmelsvampe (2): *Macrosporium commune*, *Alternaria tenuis*, *Cladosporium herbarum* og *Hormodendron cladosporioides*. Den kvælstofbindende Energi var meget forskellig hos de enkelte Former. For hvert Gram forbrugt Druesukker var der bundet følgende Mængder frit Kvælstof:

<i>Macrosporium commune</i>	8.92	Mgr. Kvælstof	
<i>Alternaria tenuis</i>	5.02	—	—
<i>Cladosporium herbarum</i>	4.88	—	—
<i>Hormodendron cladosporioides</i> ...	2.56	—	—

Disse Svampe, der i Naturen almindeligt forekommer paa Substrater, der er fattige paa Kvælstof, men rige paa Kulhydrater, er i Stand til at udvikle sig ved forholdsvis lav Temperatur (0—10° C.). De er obligat aerobe og foretrækker Druesukker som Kulstofnæring; men ogsaa paa Cellulose, som ude i Naturen jo er det Kulhydrat, som særlig staar dem til Raadighed, vokser de meget godt, hvorimod de meget daarligt udnytter Pentosaner og fleratomige Alkoholer. Ingen af dem er i Stand til at forgære Druesukker.

Endelig kan det anføres, at *Löhnis* og *Pillai* (30) har konstateret kvælstofbindende Evne hos *Dematium pullulans*.

Den Maade, hvorpaa Kvælstofbindingen foregaar hos de frit levende, kvælstofbindende Organismer, er gentagne Gange diskuteret. *Gerlach* og *Vogel* (18) antager, at der i Cellens Plasma foregaar en direkte Sammenlejring af Kvælstof og organiske Kulstofforbindelser, hvorved der dannes amidagtige Forbindelser, der da forarbejdes videre til æggehvideagtige Stoffer. *Winogradsky* anser det for sandsynligt, at den af *Clostridium Pasteurianum* udviklede Brint *in statu nascendi* inde i Cellen forener sig med Kvælstof under Dannelsen af Ammoniak, og ogsaa *Reinke* (69) antager, at Ammoniak er det primære Produkt ved Kvælstofbindingen, ikke alene hos *Clostridium Past.*, men hos alle kvælstofbindende Organismer. At der ogsaa kan være Mulighed for, at Kvælstoffet kan bindes ved Iltning, har *Gautier* og *Drouin* (70) og, som alt tidligere omtalt, *Kaserer* (59) gjort opmærksom paa. Muligheden af

Enzymers Medvirken ved Bakteriernes Kvælstofbinding er antydnet af *Loew* og — for Knoldbakteriernes Vedkommende — af *Hiltner* (4).

Stilles det Spørgsmaal, hvorledes man i Praksis kan drage den størst mulige Nytte af de frit levende, kvælstofbindende Organismer, maa Svaret blive dette: ved at skaffe dem de bedst mulige Livsbetingelser, og Studiet af disse fortjener derfor overalt at indgaa som et vigtigt Led i Jordbunds-forskningen.

De Midler, man allerede nu kan henlede Jorddyrkerens Opmærksomhed paa som egnede til at fremme disse smaa, nyttige Organismers Virksomhed, er: god og grundig Bearbejdning i den Hensigt at skaffe rigeligt af Luft og Lys til Jorden og Tilførsel af mineralske Plantenæringsstoffer, særlig Kalk og Fosforsyre, til de Jorder, som indeholder for lidt heraf, — Foranstaltninger, som jo heldigvis ganske falder sammen med god Praksis. Til Fremme af Algeudviklingen (og dermed af Kvælstofassimilationen, se foran) har *Cöster* (71) foreslaaet, om Foraaret, naar Jorden begynder at tørre, eller om Efteraaret efter Høsten at strø en ganske ringe Mængde Ammoniakgødning og Superfosfat paa den raa Fure uden at nedfælde den. Ifølge *Cöster* vil Furens Overflade da ved gunstigt Vejr hurtigt blive grøn af Alger.

Podning af Jorden med *Azotobacter*kulturer har enkelte Gange været forsøgt, saaledes af *Gerlach* og *Vogel* (44) og *Lipman* (72), uden dog at have vist nogen Virkning. Derimod angiver *Stoklasa* (73), at han i flere Tilfælde har opnaaet en betydelig Virkning ved en saadan Podning og giver endog en udførlig Vejledning for Udførelsen af Podningen i Praksis. Forholdet synes imidlertid at være dette, at disse smaa Organismer efterhaanden indfinder sig af sig selv, naar Betingelserne for deres Virksomhed er til Stede, hvorfor det imidlertid langt fra er udelukket, at man, samtidig med at man bringer Betingelserne til Veje, ved Podning, — hvad enten denne saa sker med Kulturer, fremstillede i Laboratoriet, eller, hvad der mulig er bedre, med Jord, som ved en foregaaende Undersøgelse har vist sig at indeholde rigeligt af de Bakterier, man vil tilføre, — vil kunne opnaa, at Jordens Bakteriefloora hurtigere ændrer sig i heldig Retning og Planteproduktionen forøges. Markforsøg over dette Spørgsmaal vilde være særdeles ønskelige, og de

mange mislykkede Podningsforsøg, der for en Del Aar siden, særlig i Tyskland, anstilledes med den da stærkt omtalte, men nu vistnok ikke mere udbudte Bakteriekultur Alinit*), der for øvrigt viste sig slet ikke at være i Besiddelse af kvælstofbindende Evne, bør ikke kunne afskrække fra paany at tage saadanne Forsøg op.

At anvise Plantedyrkeren Veje til i den Grad, det behøves, at kunne øse af Lufthavets umaadelige og uudtømmelige Indhold af Kvælstof er et af den moderne Jordbrugsmykologis største Maal. Paavisningen af Bælgplanternes Kvælstofbinding ved Samlivet med Knoldbakterierne og de indgaaende Undersøgelser over Betingelserne for denne har, som bekendt, allerede ført os et mægtigt Skridt fremad mod dette Maal; men ogsaa ved et indgaaende Studium af den ved frit levende, kvælstofbindende Organismers Livsvirksomhed foraarsagede Kvælstofbinding, hvis Betydning i Naturen sandsynligvis langt overgaar Bælgplanternes Kvælstofbinding, vil det sikkert kunne lykkes at anvise Midler til paa en økonomisk Maade at tvinge nye og store Mængder af Luftkvælstoffet ind i Menneskets Tjeneste.

København, i Maj 1909.

Fortegnelse over den benyttede Litteratur.

1. *Winogradsky: Clostridium Pasteurianum*, seine Morphologie und seine Eigenschaften als Buttersäureferment. Centralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten. Abt. II. Bd. 9. 1902. S. 43.
2. *M. Berthelot: Fixation de l'azote atmospherique de la terre et des végétaux.* Chimie végétale et agricole. Bd. I. 1899.
3. *Br. Tacke: Ueber den Stickstoffverlust bei der Nitrifikation und den Stickstoffgewinn im vegetationsfreien Erdboden.* Landw. Jahrbücker. 1889. Bd. 18. S. 438.
4. *A. Koch: Die Bindung von freiem Stickstoff durch frei lebende Organismen.* Lafars Handbuch der technischen Mykologie. Bd. 3. S. 18.
5. *Ph. Schneider: Studien über die Stickstoffsammlung im Ackerboden.* Landw. Jahrb. 1906. S. 70.

*) Om Alinitbakterien (*Bacillus ellenbachensis* α), der isoleredes af en Godsejer Caron fra hans i Nærheden af Kassel liggende Jorder, foreligger der en overmaade umfangrig Litteratur, der dog nu — efter at Kulturens Værdiløshed er ganske godtgjort — næppe kan paaregne større Interesse. En udførlig Redegørelse for de forskellige Undersøgelser vedrørende denne Organisme er givet af Jacobitz (a).

6. *H. Warmbold*: Untersuchung über die Biologie stickstoffbindende Bakterien. Landw. Jahrb. 1906.
7. *H. Warmbold*: Über Stickstoffbindung im Ackerboden. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 20.
8. *J. Kühn*: Die Assimilation des freien Stickstoff durch Bodenbakterien ohne Symbiose mit Leguminosen. Frühlings landw. Zeitung. 1901. S. 2.
9. *Henry*: L'azote et la végétation forestière. Journal d'agriculture pratique. 1897. Bd. 2. S. 411.
10. *Hornberger*: Nochmals Streu und Stickstoff. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. 1906. Heft 12.
11. *v. Freudenreich*: Ueber stickstoffbindende Bakterien. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 10. S. 514.
12. *Haselhoff* og *Bredemann*: Untersuchungen über anaerobe stickstoffbindende Bakterien. Landw. Jahrb. 1906.
13. *G. Bredemann*: Regeneration der Fähigkeit zur Assimilation von freiem Stickstoff des *Bacillus amylobacter* A. M. et Bredemann und der zu dieser Species gehörenden bisher als Granulobacter, Clostridium u. z. w. bezeichneten anaëroben Bakterien. Ber. d. deutsch. botan. Gesellschaft. Bd. 26 a. 1908. S. 362.
14. *H. Pringsheim*: Ueber ein Stickstoff assimilieren des Clostridium. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 26. S. 795.
15. *M. W. Beijerinck*: Ueber oligonitrophile Mikroben. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 7. 1901. S. 561.
16. *Lipmann* og *Voorhees*: Soil bacteriological studies. Annual report of the »New Jersey State Agricultural Experiment Station«. New Brunswick. 1904. S. 237.
17. *F. Löhnis* og *T. Westermann*: Ueber stickstofffixierende Bakterien. IV. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 22. 1908. S. 234.
18. *Gerlach* og *Vogel*: Weitere Versuche mit stickstoffbindende Bakterien. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 9. S. 817.
19. *M. W. Beijerinck* og *A. van Delden*: Ueber die Assimilation des freien Stickstoffs durch Bakterien. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 9. S. 3.
20. *Gerlach* og *Vogel*: Stickstoffsammelnde Bakterien. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 8. 1902. S. 669.
21. *A. Koch*: Verhandlung d. Gesellschaft Deutsch. Naturforscher und Aerzte. 1902. Algem. Theil. Refereret i 4.
22. *Harald R. Christensen*: Om nyere Principper i Jordbundsforskningen, Kap. III: Undersøgelser over *Azotobacter chroococcums* Forekomst og Udbredelse i forskellige Jorder. Tidsskrift for Landbrugets Planteavl. 13. Bd. 1906. S. 172.
23. *Hugo Fischer*: Ein Beitrag zur Kenntnis der Lebensbedingungen von Stickstoff sammelnden Bakterien. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 14. 1905. S. 33 og Bd. 15. S. 235.
24. *Edv. B. Voorhees*, *Jacob G. Lipmann* og *Percy E. Brown*: Some chemical and bacteriological effects of liming. New Jerseys Agricultural Experiment Stations Bulletin 210.
25. *A. Koch*: Bodenbakteriologische Forschungen und ihre praktische Bedeutung. Foredrag holdt i Oekonom. Gesellsch. im Königreich Sachsen 4. Decbr. 1903.
26. *M. W. Beijerinck*: Bindung van vrije atmosferische stickstof door Azotobacter in reinkultur. Verslag der wisen natuurk. afd. kon. Akad. van Wetenschappen. Amsterdam. 1908. S. 46.
27. *Benecke* og *Keutner*: Ueber stickstoffbindende Bakterien aus der Ostsee. Berichte d. deutsch. botan. Gesellschaft. Bd. 21. 1903.
28. *Keutner*: Ueber das Vorkommen und die Verbreitung stickstoffbindender Bakterien im Meere. Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen. Neue Folge. Bd. 8. 1904.

29. *Orla Jensen*: Hovedlinierne i det naturlige Baktoriesystem. Oversigt over det kgl. danske Videnskabernes Selskabs Forhandling 1908. Nr. 5.
30. *F. Löhnis* og *N. K. Pillai*: Ueber stickstofffixierende Bakterien. III. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 20. S. 781.
31. *A. Krainsky*: *Azotobacter chroococcum* und seine Wirkung im Boden. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 20. 1908. S. 725.
32. *S. Krzemieniewski*: Untersuchungen über *Azotobacter chroococcum* Beij. Extrait du bulletin de l'academie des sciences de cracovie. (Classe des sciences mathematiques et naturelles.) 1908.
- 32 a. *H. Pringsheim*: Ueber die Verwendung von Cellulose als Energiequelle zur Assimilation des Luftstickstoffs. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 23. 1909. Heft 10—13. S. 300.
33. *A. Koch, Litzendorf, Krull* og *Alves*: Die Stickstoffanreicherung des Bodens durch frei lebende Bakterien und ihre Bedeutung für die Pflanzenernährung. Journal für Landwirtschaft. 1907. S. 355.
34. *Th. Remy*: Untersuchungen über die Stickstoffsammlingsvorgänge in ihrer Beziehung zum Bodenklima. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 22. S. 561.
35. *Ph. Schneider*: Studien über die Stickstoffsammlung im Ackerboden. Landw. Jahrb. 1906. Ergänzungsband IV. S. 63.
36. *B. Heinze*: Ueber die Bildung und Wiederverarbeitung von Glykogen durch niedere pflanzliche Organismen. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 12. 1904. S. 357.
37. *Th. Remy*: Die gegenwärtige Stand und die künftigen Aufgaben der Bodenbakteriologie. Illustr. landw. Zeitung. 1903. Nr. 93—96.
38. *Hugo Fischer*: Ueber Symbiose von *Azotobacter* mit *Oscillarien*. Centralblatt f. Bakt. II. Bd. 12. 1904. S. 267.
39. *Hellriegel*: Beiträge zur Stickstofffrage. Zeitschrift des Vereins der Deutschen Zuckerindustrie. Bd. 47. 1897. Heft 493. S. 141. Refereret i 4.
40. *Schloesing* og *Laurent*: Sur le fixation de l'azote libre par les plantes. Compt. rend. de l'acad. Bd. 113 og Bd. 115.
41. *Deherain* og *Demoussy*: Sur la culture des lupins bleus. Compt. rend. de l'acad. 1900. Bd. 130. S. 465.
42. *H. Wilfarth* og *G. Wimmer*: Ueber den Einfluss der Mineraldüngung auf die Stickstoffbindung durch niedere Organismen im Boden. Landw. Versuchsstationen. Bd. 67. 1907. S. 28.
43. *Bouilhac* og *Giustiniani*: Sur des cultures des diverses plantes supérieures en présence d'un mélange d'algues et de bactéries. Compt. rend. de l'acad. Bd. 138. S. 293.
44. *Gerlach* og *Vogel*: Weitere Versuche mit stickstoffbindenden Bakterien. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 10. 1903. S. 636.
45. *H. Krzemieniewska*: Zur Ernährung des *Azotobacters*. Extrait du bulletin de l'acad. des sciences de cracovie. (Classe des sciences mathematiques et naturelles. Maj 1908.)
46. *Harald R. Christensen*: En biologisk Metode til Bestemmelse af Alkali-karbonater i Jordbunden. (En foreløbig Meddelelse.) Tidsskrift for Landbrugets Planteavl. 14. Bd. S. 292.
47. *S. F. Ashby*: Some observations on the assimilation of atmospheric nitrogen by a free living organism — *Azotobacter chroococcum* of Beijerinck. The journal of agricultural science. 1907. Vol. II. Part I. S. 34. Cambridge of the university press.
48. *Th. Remy*: Bodenchemische und -bakteriologische Studien. Landw. Jahrbücher 1906. Ergänzungsband IV. S. 1.
- 48 a. *T. Westermann*: Om kemiske og biologiske Omsætninger i Brakjorden. Ugeskrift for Landmænd 1909. S. 228.
49. *S. Krzemieniewski*: Physiologische Untersuchungen über *Azotobacter chroococcum* Beij. Extrait du bulletin de l'acad. des sciences de cracovie. (Classe des sciences mathematiques et naturelles.) 1907.

50. *N. K. Pillai*: Untersuchungen über den Einfluss der Düngung und anderer Faktoren auf die Tätigkeit der Mikroorganismen des Bodens. Inaugural Dissertation. Leipzig 1908.
51. *J. Stoklasa*: Beitrag zur Kenntniss der chemischen Vorgänge bei der Assimilation des elementaren Stickstoffs durch *Azotobacter* und *Radiobacter*. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 21. 1908. S. 484.
52. *F. Löhnis*: Ein Beitrag zur Methodik der bakteriologischen Bodenuntersuchung. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 12. 1904. S. 461.
53. *R. Thiele*: Die Verarbeitung des atmosphärischen Stickstoffs durch Mikroorganismen. Landw. Versuchsstationen. Bd. 63. 1906. S. 218.
54. *P. P. Deherain*: Sur la fixation et la nitrification de l'azote dans les terres arables. Compt. rend. de l'acad. 1897. Bd. 125. S. 278.
55. *F. Löhnis*: Beiträge zur Kenntnis der Stickstoffbakterien. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 14. 1905. S. 582.
56. *F. Löhnis* og *N. K. Pillai*: Ueber stickstofffixierende Bakterien. II. Ref. Centralblatt f. Bakt. II. Bd. 19. 1907. S. 87.
57. *M. W. Beijerinck*: Over ophooping van atmosferische stikstof in Culturen van *Bacillus radicola*. Versl. en Mededeel. der Koninkl. Akad. van Wetensch. zu Amsterdam. Afd. Natuurkunde III. 8. 1891. Refereret i Centralbl. f. Bakt. Bd. 12. 1892. S. 687.
58. *Mazé*: Fixation de l'azote libre par le bacille des nodosités des légumineuses Ann. de l'Inst. Pasteur. 1897. S. 44. 1898. S. 1.
59. *H. Kaserer*: Ueber einige neue Stickstoffbakterien mit autotropher Lebensweise. (Vorläufige Mitteilung.) Zeitschrift für das landw. Versuchswesen in Oesterreich. 10. Aargang. 1907.
60. *Guido Volpino*: Sopra un interessante microorganismo radunatore d'azoto isolato dal terreno. Estratto dalla Rivista d'igiene e sanità pubblica Anno XVI. 1905. Refereret i Centralbl. f. Bakt. Bd. 15. S. 70.
61. *Frank*: Untersuchungen über die Ernährung der Pflanze mit Stickstoff und über den Kreislauf desselben in der Landwirtschaft. Landw. Jahrb. Bd. 17. 1888. S. 421.
62. *P. Kossowitsch*: Untersuchungen über die Frage, ob die Algen freien Stickstoff fixieren. Botanische Zeitung. Bd. 52. 1894. S. 97.
63. *Krüger* og *Schneidewind*: Sind niedere chlorophyllgrüne Algen imstande den freien Stickstoff der Atmosphäre zu assimilieren und den Boden an Stickstoff zu bereichern? Landw. Jahrb. Bd. 29. 1900. S. 771.
64. *J. Vogel*: Die Assimilation des freien Stickstoffes durch Mikroorganismen. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 15. 1906. S. 175.
65. *Puriewitsch*: Ueber die Stickstoffassimilation bei den Schimmelpilzen. Ber. d. deutsch. bot. Gesellschaft. 1895. S. 342.
66. *Saida*: Ueber die Assimilation freien Stickstoffes durch Schimmelpilze. Ber. d. deutsch. bot. Gesellschaft. 1901. S. 107.
67. *Ch. Ternetz*: Über die Assimilation des atmosphärischen Stickstoffes durch Pilze. Jahrb. f. wissensch. Botanik. Bd. XLIV. 1907. Heft 3. S. 353.
68. *H. Frölich*: Stickstoffbindung durch einige auf abgestorbenen Pflanzen häufige Hyphomyceten. Jahrb. f. wissensch. Botanik. Bd. XLV. 1907. S. 256.
69. *Reinke*: Symbiose von *Volvox* und *Azotobacter*. Ber. d. deutsch. bot. Gesellschaft. Bd. 21. 1903.
70. *Gautier* og *Drouin*: Compt. rend de l'acad. 1892. Bd. 114. S. 19. Refereret i 4.
71. *P. Cöster*: Bewirtschaftung des schweren Bodens. Jarbuch der deutschen Landwirtschaftsgesellschaft. Bd. 15. 1900. S. 55.
72. *J. G. Lipman*: Inoculation experiments with *Azotobacter*. Report of the soil chemist and bacteriologist of the New Jersey Agricultural college experiment station. 1907. S. 141.

73. *Stoklasa*: Beitrag zur Kenntnis des Stickstoffanreicherungs des Bodens durch Bakterien und ihre Bedeutung für die Pflanzenernährung. Deutsche landw. Presse. 1908. Nr. 25—27.

Endvidere henvises til følgende sammenfattende Oversigter:

- a. *E. Jacobitz*: Die Assimilation des freien elementaren Stickstoffes. Centralblatt f. Bakt. II. Bd. 7. 1901.
- b. *A. Koch*: Die Bindung von freiem Stickstoff durch frei lebende niedere Organismen. Handbuch der technischen Mykologie. Bd. 3. 2te Lieferung. 1904. S. 1.
- c. *J. Vogel*: Die Assimilation des freien elementaren Stickstoffes durch Mikroorganismen. Centralbl. f. Bakt. II. Bd. 15. 1906.
- d. *E. B. Voorhees* og *J. G. Lipman*: A review of investigations in soil bacteriology. U. S. Departement of agriculture. Office of experiment stations. Bulletin 194. Washington 1907.
- e. *P. Vageler*: Die Bindung des atmosphärischen Stickstoffs in Natur und Technik. Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn. Braunschweig 1908.