

Undersøgelser over Forholdet mellem Jordens Kulsyreproduktion, kemiske Tilstandsform og mikrobiologiske Aktivitet. I.

Ved Erik J. Petersen.

202. Beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

I 1925 optog *Statens Planteavls-Laboratorium* Spørgsmaalet om Jordens Kulsyreproduktion paa sit Arbejdsprogram, idet Hovedvægten foreløbig blev lagt paa at undersøge Forholdet mellem den i Laboratoriet bestemte Kulsyreproduktion og den paagældende Jordprøves kemiske og mikrobiologiske Egenskaber. Til dette Formaal blev gennemprøvet forskellige tidligere anvendte Fremgangsmaader til Bestemmelse af Jordens Kulsyreudvikling, men da imidlertid ingen af disse Metoder viste sig egnede til Serieundersøgelser, opstod Ønsket om Udarbejdelsen af en hertil egnet Metodik. I det foreliggende Arbejde gives en Meddelelse om en saadan Metode samt Resultaterne af nogle systematisk gennemførte Undersøgelser under varierende Forsøgsbetingelser. Arbejdet, der i Hovedsagen er af metodisk Art, er saaledes nærmest tænkt som en første Meddelelse, der vil blive fortsat i en mere indgaaende Beretning bl. a. vedrørende Forholdet mellem Jordens Kulsyreproduktion og Indhold af forskellige Plante-næringsstoffer.

Undersøgelsen, der er planlagt og ledet af Afdelingsbestyrer, mag. scient. *Erik J. Petersen*, er udført under Medvirkning af Assistenterne, Landbrugskandidat *H. L. Jensen* og Fru *P. Eiby*. Beretningen er udarbejdet af *Erik J. Petersen*.

Forsøgslederne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

Siden *Saussures* Undersøgelser (1804) har det været kendt, at Jorden i naturlig Tilstand forbruger Ilt. I 1852 paaviste *Boussingault* og *Levy*, at Kulsyrekoncentrationen i Jordluften

fra almindelig Agerjord var højere end i atmosfærisk Luft, og da der samtidig konstateredes en tilsvarende Formindskelse af Jordens Iltmængde, sluttedes heraf, at den høje Kulsyrekoncentration i Jordluften maatte hidrøre fra Iltning af de i Jorden forekommende organiske Stoffer. I de nærmest følgende Aar foretog *Pettenkofer* en Række omhyggelige Undersøgelser over Jordluftens Indhold af Kulsyre og mente at kunne fastslaa, at Jordluftens Kulsyre hidrører fra de organiske Stoffers Nedbrydning; alle Faktorer, der begunstiger disse Processer (højere Temperatur, passende Fugtighedsgrad o. s. v.), medfører en forøget Kulsyrekoncentration i Jordluften, idet dog ogsaa Diffusion og Ventilation af Jorden kommer til at spille en Rolle. En væsentlig Forbedring af de anvendte Undersøgelsesmetoder fremkom ved et Arbejde af *P. Petersen* (1871), der ved at lede kulsyrefri Luft gennem en Beholder med den paagældende Jordprøve og derefter ved Titring bestemme Kulsyren i den udstømmende Luft fremskaffede et sikkert kvantitativt Maal for Kulsyreproduktionen, selv under Anvendelse af smaa Jordprøver paa 30—50 g. Kulsyreproduktionen benyttedes som Maal for Humusstoffernes Nedbrydning, der efter talrige Forsøg viste sig at forøges stærkt ved Kalktilsætning. Af ældre Forfattere skal endvidere nævnes: *Wollny* (1880), der under Anvendelse af en noget lignende Metodik som *Pettenkofer* og *Petersen* paaviste, at Jordens Kulsyreproduktion under ensartede ydre Betingelser stiger og falder med Jordens Rigdom paa organiske Stoffer. Kulsyreproduktionen foregaar under Medvirkning af den atmosfæriske Luft, men selv i en ren Brintatmosfære kan der dog endnu ske en svag Kulsyreudvikling. Behandles Jordprøverne forinden Forsøget med Chloroform, nedsættes Kulsyreproduktionen stærkt uden dog helt at kunne bringes til Ophør. Heraf sluttes, at Kulsyreproduktionen foregaar under Medvirken af Mikroorganismer, og naar Chloroformbehandlingen ikke fuldstændig har standset denne, antages det at bero enten paa en ufuldstændig Ødelæggelse af Jordbundens Mikroflora og -fauna (altsaa hvad vi med et moderne Udtryk benævner »Partiel Sterilisation«), eller ogsaa foregaar der foruden den mikrobiologiske tillige en rent kemisk Sønderdelingsproces — »ohne Mithilfe von Fermenten« (l. c. p. 391).

En noget anden Metodik end de nysnævnte Forfatters benyttedes af *Dehérain* og *Demoussy* (1896), der anbragte afvejede

Jordportioner i en lukket Beholder paa 100 cm³, der under Forsøget holdtes ved konstant Temperatur. Ved Forsøgets Afslutning blev Luften i Forsøgsbeholderen pumpet ud, hvorpaa Jordprøvens Kulsyreproduktion og Iltforbrug bestemtes ved en Luftanalyse. Som Hovedresultat af disse Undersøgelser fremgik, at Nedbrydningen af de i Jorden værende organiske Stoffer delvis beror paa en rent kemisk Iltningsproces, der ved lavere Temperatur er uden synderlig Betydning og først tager rigtig Fart omkring 65° C. for derpaa at stige stærkt med Temperaturen; hertil kommer de mikrobiologiske Sønderdelingsprocesser, der dominerer ved de sædvanlige Temperaturer og endnu foregaar ved 65° C. I øvrigt er de sidstnævnte Processer afhængige af forskellige ydre Faktorer, bl. a. Jordprøvernes Struktur og Fugtighedsgrad.

Samme Aar fremkom *Wollny's* klassiske Arbejde: »Die Zersetzung der Organischen Stoffe«. Som Hovedresultater af *Wollny's* Arbejder fremgaar, at dyriske organiske Stoffer nedbrydes lettere end saadanne, der hidrører fra Planterverden. Organiske Stoffer med stort Kvælstofindhold nedbrydes lettere end saadanne med lav Kvælstofprocent. Nedbrydningens Intensitet varierer i grove Træk med Mængden af den tilstedeværende Ilt — ved fuldstændig Udelukkelse af Ilt nedsættes Kulsyreproduktionen temmelig stærkt uden dog helt at bringes til Ophør. Tilstedeværelsen af Ozon synes i nogle Tilfælde at medføre en Forøgelse, i andre Tilfælde en Formindskelse af Kulsyreproduktionen. En Forøgelse af Temperaturen saavel som af Vandindholdet medfører indtil en vis Grænse en Forøgelse af Kulsyreudviklingen. En ringe Tilsætning af Kaliumhydroxyd virker forøgende, mineralske Syrer derimod formindskende paa Nedbrydningsintensiteten. Alkalikarbonater virker forøgende, Kalciumhydroxyd og -karbonat derimod i modsat Retning, saafremt der til Forsøget som Kulstofkilde anvendes organiske Stoffer i frisk Tilstand; hvis derimod de anvendte organiske Stoffer tidligere har været udsatte for en partiel Sønderdeling, medfører ogsaa Kalciumhydroxyd og -karbonat en livligere Kulsyreudvikling.

Omkring Aarhundredeskiftet var man altsaa naaet til følgende Standpunkt: Jordens Kulsyreproduktion skyldes ved lavere Temperaturer fortrinsvis Mikroorganismernes Aandingsintensitet, der varierer med Beskaffenheden af de forskellige

Jorder. En Forudsætning for en livlig Kulsyreproduktion er Tilstedeværelsen af organiske Stoffer, der kan tjene som Kulstofkilde for Mikroorganismernes Aandingsproces; ikke alle Kulstofkilder er i saa Henseende lige velegnede. Endvidere er Temperaturen samt Jordens kemiske Beskaffenhed og Vandindhold aabenbart af største Betydning for Intensiteten af Kulsyreproduktionen.

I 1905 fremkom to hver paa sin Vis betydelige Arbejder. *Russells* (1905) Undersøgelse er bemærkelsesværdig, idet det heri for første Gang foreslaas at bestemme Jordens Iltoptagelse, der i grove Træk forløber parallelt med Kulsyreproduktionen, om end disse to Størrelser ikke i ethvert Tilfælde behøver at svare fuldstændig til hinanden. Ved den af *Russell* foreslaaede Metodik anbringes Jorden i en lukket Beholder, forsynet med en mindre Sidekolbe, indeholdende Kaliumhydroxyd. Efterhaanden som Kulsyren dannes, fjærnes den af Kaliluden; ved det samtidig foregaaende Ilthforbrug opstaar saaledes i Forsøgsbeholderen et hertil svarende Undertryk, der maales ved Højden af Kvægsølv søjlen i et med Hovedbeholderen forbundet Glasrør, som fornedet staar i Forbindelse med en aaben Kvægsølvbeholder. *Russells* Metodik giver ikke direkte absolute Maal for Iltoptagelsen men kun relative Værdier, der dog, naar Forsøgene anstilles under ensartede ydre Forsøgsbetingelser, tillader en Sammenligning mellem de forskellige Jordbundsformers Iltoptagelse, der er et Maal for den samlede Virkning af Jordbundens Mikroorganismer, »which, by producing enzymes and in other ways, hasten decomposition in the soil. Plant food is thus produced and the general conditions are rendered more favourable for plant life. *Ceteris paribus*, the more rapid these changes the more productive the soil will be« (l. c. p. 279). Vistnok for første Gang udtales altsaa klart den Tanke, at Jordens Luftstofsifte skulde være et direkte Maal for dens Frugtbarhed — en Tanke, der videre uddybes i et senere Arbejde af *Darbishire* og *Russell* (1908) og genfindes hos en Række senere Forskere lige til den seneste Tid, og hvis Berettigelse vi senere vil faa Lejlighed til at diskutere.

Samme Aar (1905) optog *Stoklasa* og hans Medarbejdere en Række meget indgaaende Laboratorieundersøgelser. Den benyttede Metodik svarer principielt til den af *Petersen* (1870) fore-

slaaede: ca. 1 kg Jord anbringes i en Glas cylinder, hvorigennem suges en uafbrudt Strøm af kulsyre-fri, steril Luft. Efter at have passeret denne Jordprøve, ledes Luften gennem forskellige Absorptionsbeholdere, hvorved Kulsyren absorberes og bestemmes fra Dag til Dag. Forsøgsbeholderen med Jordprøven findes anbragt i en Termostat, og ved et særligt Arrangement er det muligt ligeledes at bestemme Kulsyreproduktionen under anaerobe Forsøgsbetingelser. For at muliggøre en indbyrdes Sammenligning af de forskellige Jordtyper benytter *Stoklasa* og *Ernest* (1905) som Enhed den Kulsyremængde, der udvikles af 1 kg Jord i 1 Døgn ved en Temperatur af 20° C. Forsøgene strækker sig som Regel over et Tidsrum af 8—10 Dage, og den ovenfor omtalte Værdi tages som et Gennemsnitstal for hele Forsøgsperioden. For Sammenligningens Skyld bestemmes endvidere Aandingsintensiteten i forskellige af de i Jordbunden almindeligt forekommende Mikroorganismer i Renkultur. Endelig fremhæver Forfatterne, at den mikrobiologiske Kulsyreproduktion bidrager til at bringe tungt opløselige Mineralstoffer over i en for de højere Planter let tilgængelig Form og derved spiller en lignende Rolle for Planterne som Kulsyresekretionen gennem Rodsystemet.

I nogle senere Arbejder uddyber *Stoklasa* (1911) yderligere vor Viden om Forholdet mellem Jordens kemiske Beskaffenhed, mikrobiologiske Aktivitet og Kulsyreproduktion. Hans tidligere udarbejdede Metodik suppleres, idet han foreslaar tillige at maale Kulsyreproduktionen af 1 kg autoklaveret Jord, som derpaa er podet med 10 g Kogødning. Ogsaa *van Suchtelsens* første Arbejde (1910) kan betragtes som en Fortsættelse af *Stoklasa* og *Ernests* — den anvendte Metodik saavel som Hovedtankerne i Arbejdet svarer i store Træk til *Stoklasas*. Af særlig Interesse er hans Paavisning af, at Kulsyreproduktionen forøges meget stærkt ved Forøgelse af Luftstrømmens Hastighed, ligesom den er størst ved Forsøgets Begyndelse og derefter aftager temmelig hurtigt, indtil der opnaas en konstant Minimumsværdi. Til Trods for den Usikkerhed, hvormed Metoden aabenbart er behæftet, hævder Forfatteren dog — og vel ikke med Urette — at den giver et bedre Udtryk for den mikrobiologiske Aktivitet end Kimtællinger, der foretages ved sædvanlige Pladespredninger. I Overensstemmelse med tidligere Undersøgelser viste det sig endvidere,

at navnlig Jordens Fugtighed og Rigdom paa organiske Stoffer samt Næringsalte er af Betydning for Processens Intensitet.

I de sidste 10—15 Aar er Litteraturen angaaende Jordens Kulsyreproduktion forøget meget væsentlig og skal her kun behandles summarisk. (Sml. i øvrigt senere)¹⁾. — Undersøgelserne synes fortrinsvis at foregaa efter to Retningslinier. Nogle Forfattere har i Laboratoriet undersøgt Aandingsintensiteten af forskellige Jordprøver under varierende Forsøgsbetingelser — eksempelvis skal nævnes *Potter* og *Snyder* (1916), *Gainey* (1919), *König* og *Hasenbäumer* (1921), *Lundegårdh* (1923), *Waksman* og *Heukelikian* (1924), *Waksman* og *Starkey* (1924) o. a. Endelig har *van Suchtelen* (1923) søgt at lede Undersøgelserne ind paa helt nye Baner, idet han undersøger Spørgsmaalet om Jordens mikrobiologiske Aktivitet ud fra et energetisk Synspunkt; den Varmemængde, der produceres af en Vægtenhed Jord pr. Tidsenhed under bestemt fastlagte ydre Betingelser, tages som et Maal for den paagældende Jordprøves mikrobiologiske Aktivitet. Hvorvidt denne Metode, der teoretisk set synes tiltalende, vil have Fremtid for sig, turde dog være tvivlsomt. Ved Serieundersøgelser vil den sikkert ikke være anvendelig i større Udstrækning, og Forsøgene vil næppe kunne gennemføres i ret mange bakteriologiske Laboratorier med de sædvanlige for Haanden værende Apparater.

Medens de nysnævnte Arbejder fortrinsvis tager Sigte paa Undersøgelsen i Laboratorierne, har andre Forfattere (*Russell* og *Appleyard* 1915, *Jodidi* 1911) belyst Problemet ved Undersøgelser af Jordluftens Sammensætning i forskellige Jordbundsformer og under forskellige ydre Betingelser²⁾. I nær Tilknytning hertil kan nævnes et stort Arbejde af *Romell* (1922), der behandler hele Spørgsmaalet ud fra et mere alment økologisk Synspunkt. For Undersøgelsen af Jordaandingen under naturlige Forhold er det af stor Betydning, at vi nu, takket være *Lundegårdhs* Arbejde (1921) paa dette Felt, er sat i Stand til at bestemme denne Størrelse direkte i Marken: en Zinkbeholder af bestemt Flade- og Rummaal drives ned i den paagældende Jordbund,

¹⁾ En udførlig Litteraturfortegnelse findes hos *Potter* og *Snyder* (1916), *Bornemann* (1920) samt *Lundegårdh* (1924), der giver en udførlig kritisk Sammenstilling af hele Kulsyrespørgsmaalet.

²⁾ Sml. ogsaa *Potter* og *Snyder* (1916).

og ved en Luftanalyse, der sædvanligvis bør foretages efter 20—30 Minutters Forløb, sættes man i Stand til at beregne Kulsyreproduktionen fra det af Beholderen omsluttede Areal. En noget lignende Fremgangsmaade er foreslaaet af *Bornemann* (1920), der dog foretrækker at bestemme Kulsyreproduktionen ved Titring; Resultaterne ved Anvendelse af disse to sidstnævnte Metoder synes dog ikke at være i synderlig god indbyrdes Overensstemmelse (sml. *Lundegårdh* 1924, Side 214).

Sluttelig skal nævnes, at hele Spørgsmaalet om Jordens Kulsyreproduktion i de senere Aar har faaet en forøget Interesse, ikke mindst fra et rent landøkonomisk Synspunkt, idet forskellige Forhold tyder paa, at det under visse Betingelser vil være muligt at forøge de højere Planters Assimilationsintensitet — og hermed deres Stofproduktion — ved en Forøgelse af Kulsyrekoncentrationen i Assimilationsorganernes Højde. Dette vil i Praksis være muligt ved en Forøgelse af den af Jordbunden udaandede Kulsyre, af hvilken største Parten afgives til Atmosfæren ved Diffusion. I gunstigste Tilfælde kan Jordens Kulsyreproduktion og Plantedækkets Kulsyreassimilation holde hinanden nogenlunde i Ligevægt. Er Kulsyreprocenten i Assimilationsorganernes Højde større end CO_2 -Procenten i den frie Atmosfære, gaar en Del af den af Jorden udaandede Kulsyre tabt ved Diffusion op i de højere Luftlag. I modsat Fald foregaar der en Diffusionsstrøm fra den frie Atmosfære ned til Assimilationsorganerne. Ved Tilførsel af Gødningstoffer til Jordbunden vil man være i Stand til at forøge Jordaandingen; herved forøges Kulsyrefaktoren og dermed Høstudbyttet (sml. *Lundegårdh* 1924). — Hele Problemet træder hermed ind i en ny Fase; Kulsyreproduktionen betragtes ikke længere som et mere eller mindre sikkert men økonomisk værdiløst Maal for Jordens »Frugtbarhed« — den er i sig selv en Vækstfaktor, der er medbestemmende for Størrelsen af Planteproduktionen. Som Talsmænd for denne Opfattelse skal nævnes *Bornemann* (1920), *Reinau* (1920) og *Lundegårdh* (1924), af hvilke navnlig den sidstnævnte stiller Problemet i en alsidig Belysning. Hele denne Side af Sagen, der endnu er i sin første Udvikling, bør utvivlsomt følges med Opmærksomhed.

Til Trods for den righoldige Litteratur, der her kun er refereret i grove Hovedtræk, lader det store Antal Enkelt-iagttagelser sig kun vanskeligt forene til et paalideligt Helhedsbillede. Da Statens Planteavls-Laboratorium — bl. a. foranlediget ved *Lundegårdhs* interessante Resultater — optog Spørgsmaalet om Jordens Kulsyreproduktion paa sit Arbejdsprogram, maatte den første Opgave blive at anstille en systematisk gennemført metodisk Undersøgelsesrække — først derefter bliver man i Stand til at vurdere Enkeltresultaterne, sammenligne dem med Resultater fra Undersøgelser med andre Metoder og eventuelt stille dem i Relation til Jordens Frugtbarhed.

I. Den anvendte Metodik.

Ønsker man et Maal for Intensiteten af de i Jorden foregaaende mikrobiologiske Sønderdelingsprocesser, kan man — som ved ethvert andet »Stofskiftforsøg« — benytte saavel Kulsyreproduktionen som Størrelsen af det til Forbrændingen medgaaende Iltforbrug.

Som ovenfor omtalt, har *Russell* (1905) bestemt Jordens Iltforbrug og ment at kunne benytte dette som et Maal for »Frugtbarheden«. — Efter samme Princip anstillede jeg de første orienterende Forsøg, idet Iltforbruget dog bestemtes under Anvendelse af det af Professor *Aug. Krogh* konstruerede Mikro-respirationsapparat (sml. *Krogh* 1914): En lille Portion (2—5 g) af den paagældende Jordprøve anbringes i en Pose af Gazestof og ophænges i en Glasbeholder af kendt Rumfang, indeholdende nogle faa cm³ Kalilud. Denne Glasbeholder sættes i Forbindelse med den ene Gren af et Kapillarmanometer (Manometervædske: Petroleum), hvis anden Gren er forsynet med en Kompensationsbeholder. Den af Jordprøverne producerede Kulsyre absorberes af Kaliluden, og det tilsvarende Iltforbrug kan bestemmes ved Manometerudslagene. — Metoden har den Fordel, at man ved passende Valg af Forsøgsbeholdere kan gennemføre et Forsøg paa 1—2 Timer selv under Anvendelse af meget smaa Jordportioner (2—5 g), men til Trods for disse Fordele er denne Fremgangsmaade dog ikke egnet til Serieundersøgelser med et større Antal Enkeltbestemmelser.

Den Metode, der hidtil har vundet mest Indpas ved de laboratoriemæssige Undersøgelser, svarer i Principet ganske til den, der vistnok første Gang bragtes i Anvendelse af *Petersen* (1871), og som i øvrigt svarer til det fra Fysiologien velkendte *Pettenkoferske* Apparat til Stofskifteundersøgelser: En Strøm af kulsyrefri Luft ledes konstant gennem (eller hen over) den paagældende Jordprøve, der saaledes bestandig befries for den producerede Kulsyre. Den CO_2 -holdige Luft ledes derpaa gennem et Absorptionsmiddel, hvor Kulsyren afgives, og ved Forsøgets Afslutning kan da den samlede CO_2 -Produktion bestemmes ved Vejning eller Titration. — Nogle indledende Forsøg, udførte efter dette »Gennemluftningsprincip«, men under Anvendelse af den af *Gainey* (1919) foreslaaede Modifikation, gav fuldt tilfredsstillende Resultater, men de Krav, der stilles til Apparat og Pladsforhold, gør dog ogsaa denne Metode uegnet til Masseundersøgelser.

Disse Ulemper har *Lundegårdh* (1923) søgt at undgaa ved følgende Metodik: Jordprøverne anbringes paa Bunden af en Beholder med kendt Rumfang, og efter 24 Timers Henstand i Termostaten foretages en volumetrisk Analyse af Luften i Forsøgsbeholderen; paa Grundlag af dette Procenttal udregnes den samlede Kulsyreproduktion pr. Døgn uden Hensyntagen til Iltoptagelsen. Prøverne udtages i forskellig Dybde med et særligt Jordbor, og CO_2 -Produktionen beregnes ikke efter Jordprøvens Vægt, men efter Rumfang. — Denne Metode har været anvendt saavel til Kontrolforsøg af forskellig Art som navnlig til selvstændige Undersøgelserækker, hvor det drejede sig om at bestemme saavel Jordprøvernes Kulsyreproduktion som Ilthforbrug. Luftanalyserne udførtes under Anvendelse af et *Haldane*-Apparat med Tryk- og Temperaturkorrektions samt *Lindhards* Absorptionspipetter.

Imidlertid er ogsaa denne Metode behæftet med visse Ulemper (sml. Side 641—44). Hvor det drejer sig om et gennem Maaneder fortsat Arbejde med et stort Antal daglige Fællesbestemmelser, vil en Titreringsbestemmelse som Regel være at foretrække fremfor en luftvolumetrisk. — Hvor det ikke netop gælder om at maale Iltoptagelsen, vil CO_2 -Bestemmelsen sikkert og hurtigt kunne gennemføres under Anvendelsen af følgende Metodik:

Efter Tilsætning af en passende Vandmængde (eventuelt iblandet passende Kulstofkilder og Mineralstoffer, sml. senere)

til den i Forvejen lufttørrede Jord afvejes mindre Prøver paa 50 eller 100 g, der anbringes i en lille poseformet Beholder af fin Metaltvist. Som Forsøgsbeholdere anvendes Erlenmeyerkolber af Jenaglas med et Rumfang paa $1\frac{1}{2}$ Liter, i hvis Bund anbringes 25 eller 50 cm³ Barytvand; de omtalte Metaltraadsposer ophænges i en Kautschukprop, der samtidig tjener som lufttæt Lukke for Kolberne. Den af Jordprøven producerede Kulsyre passerer med Lethed gennem Metaltraadsbeholderen og afgives til Barytvandet, der ved Forsøgets Afslutning titreres med Oxalsyre eller Saltsyre under Anvendelse af Fenolftalein som Indikator. Dette Titreringstal trækkes fra en Blindbestemmelse, der udføres under lignende Forsøgsbetingelser. Herved bortelimineres Laboratorieluftens Kulsyreindhold, der veksler fra Dag til Dag, og ved passende Valg af Normalvædsdens Styrke foretages Enkelbestemmelsen saaledes med en Nøjagtighed paa $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{20}$ mg CO₂. Metoden er meget let og bekvem — med et Par Timers dagligt Arbejde kan man saaledes gennemføre Serieundersøgelser med indtil 50 Enkelbestemmelser.

II. Kritik af Metoden.

En Række Luftanalyser har vist, at Absorptionen af Kulsyren praktisk talt er fuldstændig, saafremt man umiddelbart før Forsøgets Afslutning gennemryster Beholderen let og derpaa yderligere lader den henstaa nogle Minutter forinden Titringen.

Derimod kunde man paa Forhaand være tilbøjelig til at formode, at Kulsyrediffusionen gennem selve Jordprøverne foregik saa langsomt, at der i Jorden vilde ophobes en større Kulsyremængde, der ikke lod sig bestemme ved Titringen. Saafremt dette var Tilfældet, vilde en lille Jordmængde give en relativt stærkere CO₂-Produktion end en større. At dette dog ikke er Tilfældet, fremgaar af et Forsøg, foretaget med en Jordprøve fra et Kalkforsøg paa Askov Forsøgsstation (fra en Parcel, tilført 16 000 kg kulsur Kalk pr. ha). Til den lufttørrede og pulveriserede Jord sættes en Vandmængde, svarende til 75 pCt. af Vandkapaciteten, samt 0.5 pCt. Mannit. Forsøget udføres ved 25° C. og under Anvendelse af henholdsvis 100,

50 og 25 g Jord. Hver Forsøgsserie indbefatter 5 Fællesbestemmelser, og Kulsyreproduktionen er overalt beregnet pr. 100 g Jord. Resultaterne, der er sammenstillede i Tabel 1 og Fig. 1, viser, at Jordmængden inden for de Grænser, der kommer i Betragtning ved Laboratorieforsøg, er uden Betydning. Den indbyrdes Overensstemmelse mellem Fællesbestemmelserne maa overalt betragtes som tilfredsstillende (sml. i øvrigt senere).

Tabel 1. Forsøg til Belysning af Jordmængdens Indflydelse.

Enkeltbestemmelse	mg CO ₂ pr. 100 g Jord							
	1 Døgn		2 Døgn		3 Døgn		5 Døgn	
	Forøgelse	Sum	Forøgelse	Sum	Forøgelse	Sum	Forøgelse	Sum
100 g Jord								
a	36.1	36.1	37.1	73.2	35.2	108.4	—	—
b	36.0	36.0	34.9	70.9	32.9	103.8	43.8	147.6
c	36.2	36.2	36.9	73.2	33.7	106.9	44.8	151.7
d	35.9	35.9	34.7	70.7	33.2	103.9	48.2	152.1
e	35.8	35.8	35.2	71.0	33.3	104.3	49.2	153.5
Middel	36.0	36.0	35.8	71.8	33.6	105.4	46.5	151.9
50 g Jord								
a	37.9	37.9	34.6	72.5	33.2	105.7	44.8	150.5
b	38.5	38.5	34.1	72.6	31.8	104.4	48.2	152.6
c	38.2	38.2	33.8	72.0	31.3	103.3	46.0	149.3
d	38.5	38.5	34.4	72.9	31.3	104.2	44.2	148.4
e	37.8	37.8	33.8	71.6	32.0	103.6	51.6	155.2
Middel	38.2	38.2	34.1	72.3	31.9	104.2	47.0	151.2
25 g Jord								
a	37.8	37.8	31.7	69.5	29.9	99.4	49.8	149.2
b	36.2	36.2	33.6	69.8	28.9	98.7	45.4	144.1
c	35.8	35.8	33.2	69.0	30.4	99.4	45.0	144.6
d	38.5	38.5	33.2	71.7	30.4	102.1	44.8	146.7
e	38.1	38.1	32.6	70.7	29.4	100.1	43.8	143.9
Middel	37.3	37.3	32.9	70.2	29.8	100.0	45.7	145.7

I Tilknytning hertil er der foretaget nogle Undersøgelser til Belysning af Jordstrukturens Indflydelse paa Kulsyreproduktionen. Til dette Forsøg anvendtes en ret svær lermuldet Jord fra Forsøgsstationen ved Tystofte (alsidig Kunstgødning) med Reaktionstallet 6.80. Til hver Portion lufttørret Jord à 50 g sættes 0.5 g Druesukker samt 8 cm³ af en vandig Opløsning, indeholdende 0.2 pCt. NaNO₃ + 0.5 pCt. Na₂HPO₄. I den

ene af Forsøgsserierne blev Jorden lejret paa normal Vis uden særlig Sammenpresning, i Serie Nr. 2 anbragt i Metaltraadsposerne i tæt sammenpresset Tilstand og i Serie Nr. 3 lejret saa løst som muligt og efter hver Titring rystet ud i et fladt Lag paa et Stykke Papir og umiddelbart derefter paany anbragt i Metaltraadsposerne i løs Lejring. Efter 1 Døgn's Forløb var CO_2 -Produktionen henholdsvis 81.3, 77.8 og 83.6 mg

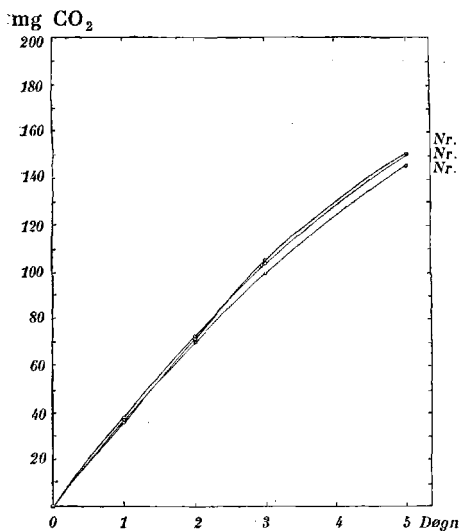


Fig. 1. Jordmængdens Indflydelse paa Kulsyreproduktionen.
Nr. 1. 100 g Jord. Nr. 2. 50 g Jord.
Nr. 3. 25 g Jord.

CO_2 pr. 50 g Jord. Dette ringe Udslag udjævnedes dog allerede den følgende Dag (sml. Tabel 2)¹⁾, og ved Forsøgets Afslutning var den samlede Kulsyremængde praktisk talt ens i alle 3 Serier.

Da næsten alle de i det følgende omtalte Forsøg er udførte under Tilsætning af passende Kulstofkilder, kunde man tænke sig, at den heraf følgende stærkt forøgede Bakterieaktivitet let vilde kunne medføre en skadelig Iltmangel i Forsøgskolberne. Der anstilledes derfor en Forsøgsserie med varierende Tryk i Forsøgsbeholderne, som iværksattes ved Udpumpning gennem et i Kautschukproppen

anbragt Glasrør. Efter Tilsætning af 0.5 pCt. Druesukker fugtes Jordprøverne, der stammer fra Askov Lermark, med en Vandmængde, svarende til 75 pCt. af Vandkapaciteten, og i hver Serie foretages 3 Parallelbestemmelser. Efter et Døgn's Forløb er de fundne Forskelligheder kun smaa og usikre,

¹⁾ De i Tabellen opførte Middeltal fremkommer ved at lægge Middeltallet af den daglige Forøgelse til det tilsvarende Middeltal fra den foregaaende Dag. — I den midterste Forsøgsserie gik en Bestemmelse tabt ved Titringen den 3. Dag, og den samlede Kulsyreproduktion i denne Kolbe (c) lader sig derfor ikke bestemme. De følgende Dage (5 og 6 Døgn) er Undersøgelsen fortsat paa normal Vis, og Middeltallene hidrører her fra de sædvanlige 3 Parallelbestemmelser.

Tabel 2. Jordstrukturens Indflydelse paa Kulsyreproduktionen.

Struktur	Enkeltbestemmelse	Samlede Kulsyreproduktion (mg CO ₂) pr. 50 g Jord					pH ved Forsøgets Afslutning
		1 Døgn	2 Døgn	3 Døgn	5 Døgn	6 Døgn	
Normal	a	81.0	176.4	251.5	360.0	404.2	7.20
	b	81.3	175.5	253.5	362.7	402.9	7.25
	c	81.7	173.9	251.3	358.5	399.8	7.21
	Middel	81.3	175.2	252.0	360.3	402.0	
Tæt Lejrings	a	78.2	174.2	255.6	372.8	413.8	7.37
	b	79.7	174.1	252.3	356.2	408.5	7.48
	c	75.6	178.8	Tabt	—	—	7.46
	Middel	77.8	172.3	252.1	367.6	409.8	
Løs Lejrings	a	82.7	174.8	253.2	361.8	399.6	7.06
	b	84.0	176.0	253.9	360.2	398.1	6.96
	c	84.1	177.5	256.5	365.3	401.8	7.14
	Middel	83.6	176.1	255.5	363.4	400.1	

men Resultaterne de følgende Dage viser et Optimum ved 300 mm Tryk, formodentlig fordi der under disse Forsøgsbetingelser indtræder en delvis anaerob Sønderdeling med deraf følgende forøget Stofomsætning (sml. Tabel 3). Ved yderligere formindsket Iltspænding aftager Kulsyremængden paany, aabenbart fordi kun et mindre Antal af de i Jorden forekommende Mikroorganismer er i Stand til at trives ved

Tabel 3. Kulsyreproduktionen ved vekslende Tryk i Forsøgsbeholderne.

Tryk i Forsøgsbeholderne (mm Hg)	Samlede Kulsyreproduktion (mg CO ₂) pr. 100 g Jord				
	1 Døgn	2 Døgn	4 Døgn	5 Døgn	6 Døgn
760	66.5	127.1	234.3	286.8	321.5
600	62.6	117.5	224.8	276.3	315.1
500	69.2	123.1	231.7	277.3	323.6
400	68.8	126.6	234.2	277.6	316.5
300	69.3	143.5	337.1	377.3	396.4
200	64.1	128.5	285.1	339.3	370.9
100	67.2	128.7	262.9	315.9	355.6
40	62.0	110.7	190.1	253.6	310.7

lavere Iltspændinger. — Regner vi den respiratoriske Kvotient = 1, vil en simpel Udregning vise, at vi selv med en meget stærkere CO_2 -Produktion, end den her konstaterede, ikke overskrider de Grænser, inden for hvilke Iltspændingen er betydningsløs. — I det store og hele bekræfter dette Resultat tidligere Forfatteres Angivelser. *Schlösing* (1873) fandt saaledes, at et Indhold af 6 Volumenprocent Ilt var tilstrækkelig til at opretholde Jordens fulde Aktivitet ved $14-25^\circ \text{C}$., medens *Wollny*

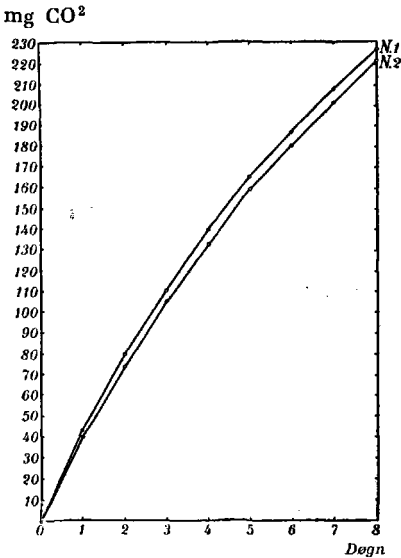


Fig. 2. Sammenligning af CO_2 -Produktionen ved Gennemluftning og i »Hængende Poser«. 100 g Jord.

Nr. 1. Hængende Poser.

Nr. 2. Konstant Luftgennemledning.

(1889) dog angiver en ringe Nedsættelse af CO_2 -Produktionen, naar Iltmængden formindskes til 15 pCt.

Til Sammenligning med andre Metoder er udført forskellige Kontrolforsøg:

I den ene af disse Kontrolserier bestemtes Kulsyreudviklingen ved Gennemluftning under Anvendelse af den af *Gainey* (1919) udarbejdede Fremgangsmaade. Til Forsøget benyttedes en let Lermuld fra Virumgaard med Til sætning af 0.5 pCt. Mannit, 0.5 pCt. CaCO_3 , 0.1 pCt. K_2HPO_4 samt optimal Fugtighedsgrad (ca. 70 pCt. af Vandkapaciteten). Som Forsøgsbeholdere anvendtes Klorkalciumtaarne, der anbragtes i et Lokale med temmelig konstant Døgn-temperatur paa ca. 18°C . Umiddelbart ved Siden af disse Behol-

dere henstilledes Kolber med Jorden i »Hængende Poser«; en eventuelt indtrædende mindre Temperatursvingning vil saaledes gøre sig lige stærkt gældende i begge Forsøgsserier. Af Resultaterne, der er grafisk fremstillede i Fig. 2, fremgaar, at CO_2 -Produktionen praktisk talt er ens i begge Serier; efter 10 Døgns Forløb er Forskellen kun 4.8 mg CO_2 (henholdsvis 263.8 og 258.8 mg CO_2 , — sml. Tabel 4). Resultatet er for saa vidt bemærkelsesværdigt, som man ellers ofte ser den Anskuelse fremsat, at selv en moderat Gennemluftning skulde foraarsage en abnorm høj Kulsyreudvikling. Ved Forsøgsanordningen

med »Hængende Poser« kommer vi i ethvert Fald de naturlige Forhold saa nær som muligt, idet vi herved undgaar saavel en abnorm stærk Kulsyreophobning som den stærke konstante Gennemluftning.

Tabel 4. Sammenligning af Kulsyreproduktionen ved Luftgennemledning og i hængende Poser.

		mg CO ₂ pr. 100 g Jord					
		Gennemluftning			Hængende Poser		
		Enkeltbestemmelser		Gennemsnit	Enkeltbestemmelser		Gennemsnit
		a	b		a	b	
1 Døgn	Forøgelse..	38.3	40.0	39.2	42.6	42.8	42.7
	Sum	—	—	39.2	—	—	42.7
2 Døgn	Forøgelse..	34.2	35.0	34.6	37.8	37.0	37.3
	Sum	72.5	75.0	73.8	80.2	79.8	80.0
3 Døgn	Forøgelse..	32.2	31.9	32.1	31.9	31.8	31.9
	Sum	104.7	106.9	105.9	112.1	111.6	111.9
4 Døgn	Forøgelse..	25.6	27.0	26.3	26.7	27.5	27.1
	Sum	130.3	133.9	132.2	138.8	139.1	139.0
5 Døgn	Forøgelse..	26.5	25.8	26.2	25.6	26.2	25.9
	Sum	156.8	159.7	158.4	164.4	165.3	164.9
6 Døgn	Forøgelse..	20.5	22.0	21.3	23.2	19.8	21.5
	Sum	177.3	181.7	179.7	187.6	185.1	186.4
7 Døgn	Forøgelse..	20.5	22.0	21.3	23.2	19.8	21.5
	Sum	197.8	203.7	201.0	210.8	204.9	207.9
8 Døgn	Forøgelse..	20.5	20.0	20.3	19.6	18.5	19.1
	Sum	218.3	223.7	221.3	230.4	223.4	227.0
9 Døgn	Forøgelse..	19.5	19.0	19.3	18.2	19.8	19.0
	Sum	237.8	242.7	240.6	248.6	243.2	246.0
10 Døgn	Forøgelse..	17.2	19.2	18.2	17.3	17.8	17.6
	Sum	255.0	261.9	258.8	265.9	261.0	263.6

I flere andre Kontrolserier er Kulsyreproduktionen i hængende Poser sammenlignet med luftvolumetriske Kulsyrebestemmelser i lukkede Beholdere efter *Lundegårdhs* Metode. Saafremt Forsøgene foretages med Jord uden Næringsstofftilførsel af nogen Art, er Overensstemmelsen mellem de to Metoder som Regel mindre tilfredsstillende, idet den luftvolumetriske Bestemmelse næsten overalt i de første Dage giver lavere Værdier end de, der findes i Parallelserien med hængende Poser. Selv om Forskellen absolut set kun andrager faa (2—5) mg, kan den procentvise Afvigelse paa Grund af den ringe Kulsyreproduktion

dog beløbe sig til over 100 pCt. Dette Forhold bliver navnlig fremtrædende ved stærkt kalkholdige Jorder. Eksempelvis skal nævnes et Forsøg med en stærkt brusende, lermuldet Jord med Reaktionstallet 7.8, udtaget i den naturlige, fugtige Tilstand og undersøgt umiddelbart efter Prøveudtagningen. Efter 1 Døgns Forløb er Forskellen paa de to Metoder stærkt fremtrædende (sml. Tabel 5), men formindskes dog de følgende to

Tabel 5. Forsøg med frisk, kalkrig Jord uden Tilsætning. Sammenligning mellem Kulsyreproduktionen i hængende Poser og i lukkede Beholdere efter *Lundegårdhs* Metode.

Bestem- melses- metode	Kolbe Nr.	Kulsyreproduktion pr. 100 g fugtig Jord pr. Døgn (cm ³ ved 0° og 760 mm)			Sum
		1 Døgn	2 Døgn	3 Døgn	
Hængende Poser	a	6.0	3.0	2.0	11.0
	b	5.9	2.8	2.0	10.7
	Middel	6.0	2.9	2.0	10.9
<i>Lundegårdhs</i> Metode	a	1.2	1.1	1.6	3.9
	b	1.0	1.2	1.4	3.6
	Middel	1.1	1.2	1.5	3.8

Døgn, idet navnlig Kulsyreproduktionen i de hængende Poser aftager stærkt.¹⁾ — I Tabel 6 er opført Resultaterne fra en Forsøgsserie, anstillet under Anvendelse af lufttørret, pulveriseret Jord og Tilsætning af Vand til optimal Fugtighedstilstand. Jordprøven fra Landbohøjskolen (omtrent neutral Reaktion—ingen Brusning med Syre) udviser noget bedre Overensstemmelse mellem de to Bestemmelsesmetoder end den kalkholdige, stærkt brusende Havejord. Det bemærkes, at vi ogsaa i sidstnævnte Serie paa Forsøgets 2. Dag iagttager et Fald af CO₂-Produktionen i Kolberne med hængende Poser, medens de tilsvarende Værdier, bestemt efter *Lundegårdhs* Metode, udviser en lille Stigning.

¹⁾ Det maa her erindres, at de friske Jordprøver kan indeholde adsorberet Kulsyre, der i Serierne med hængende Poser vil afgives i de første Forsøgsdage og derved forårsage de relativt høje Forsøgsresultater (*Raman* 1911, Side 381). — Sml. i øvrigt Værdierne for Iltoptagelsen, Side 643.

Tabel 6. Forsøg med to tørrede Jordprøver uden Tilsætning. Sammenligning mellem Kulsyreproduktionen i hængende Poser og i lukkede Beholdere efter *Lundegårdhs* Metode.

Jordprøve	Bestemmelsesmetode	Kolbe Nr.	cm ³ CO ₂ (0° og 760 mm) pr. 50 g fugtig Jord		
			1 Døgn	2 Døgn	Sum
I. Jord fra Landbohøjskolens Mark	Hængende Poser	a	5.0	2.7	7.7
		b	5.0	3.0	8.0
		c	4.0	2.8	6.8
		Middel	4.7	2.8	7.5
	<i>Lundegårdhs</i> Metode	a	3.6	2.1	5.7
		b	1.5	1.4	2.9
		c	—	1.8	—
		Middel	2.6	1.8	4.4
II. Stærkt kalkholdig Havejord	Hængende Poser	a	3.6	3.7	7.3
		b	4.7	3.1	7.8
		c	5.0	3.8	8.8
		Middel	4.4	3.5	7.9
	<i>Lundegårdhs</i> Metode	a	—	0.8	—
		b	0.5	0.8	1.3
		c	0.3	0.9	1.2
		Middel	0.4	0.8	1.2

Arbejder man derimod med Tilsætning af passende Kulstofkilder, er Overensstemmelsen mellem de to Metoder som oftest nogenlunde tilfredsstillende. I Tabel 7 er sammenstillet nogle enkelte af Forsøgsresultaterne; det vil ses, at for den kalkholdige Havejords Vedkommende (III) udviser Resultaterne fra de to første Døgn en ret betydelig Forskel, der dog er udjævnet noget de følgende Dage. I de to Forsøgsserier med Jord fra Landbohøjskolens Mark (I og II) er Overensstemmelsen mellem de to Metoder tilfredsstillende i de to første Forsøgsdage. Serie II blev derefter standset, men i Serie III, der fortsattes i 5 Dage, ses mærkeligt nok en indbyrdes Afvigelse paa Forsøgets 3. Dag. Dette er dog kun af forbigaaende Karakter, og ved Forsøgets Afslutning (5. Dag) er den samlede Kulsyreproduktion i de to Forsøgsserier praktisk talt ens (henholdsvis 195.2 og 197.4 cm³ CO₂).

Tabel 7. Kulsyreproduktion ved Tilsætning af Kulstofkilder. — Sammenligningsforsøg.

Jord-prøve	Bestemmelses-metode	Kolbe Nr.	Samlede Kulsyreproduktion ($\text{cm}^3 \text{CO}_2$ ved 0° og 760 mm) pr. 50 g Jord		
			1 Døgn	2 Døgn	3 Døgn
I.	Hængende Poser	a	32.6	59.0	77.6
		b	32.7	58.5	76.0
		c	33.0	58.4	75.6
		Middel	32.8	58.7	76.5
	Lundegårdhs Metode	a	31.6	61.3	94.9
		b	31.8	56.8	83.8
		c	31.3	61.0	90.1
		Middel	31.6	59.7	89.6
II.	Hængende Poser	a	24.2	47.3	—
		b	23.7	45.7	—
		c	24.9	47.6	—
		Middel	24.3	46.9	—
	Lundegårdhs Metode	a	23.1	45.3	—
		b	22.6	44.4	—
		c	22.7	43.4	—
		Middel	22.8	44.4	—
III.	Hængende Poser	a	60.6	144.7	170.4
		b	61.1	142.8	172.7
		c	62.7	141.1	170.2
		Middel	61.5	142.9	171.1
	Lundegårdhs Metode	a	49.2	120.9	159.6
		b	48.5	121.2	156.4
		c	47.8	118.2	154.6
		Middel	48.5	120.1	156.9

Nr. I: Jord fra Landbohøjskolens Mark (fuldgødet). Tilsætning af 1 pCt. Druesukker og Vand til 65 pCt. af Vandkapaciteten.

Nr. II: Samme Jord. 1 pCt. Druesukker. Fugtighedsgrad: 75 pCt. af Vandkapaciteten.

Nr. III: Stærk kalkholdig Havejord. 1 pCt. Druesukker + vandig Op-løsning af 0.2 pCt. NH_4NO_3 + 0.5 pCt. Na_2HPO_4 til 70 pCt. af Vandkapa-citeten.

Forklaringen paa de ovenfor omtalte Forskelligheder maa vistnok søges i Forhold af ret kompliceret Natur, der endnu ikke er tilstrækkelig klarlagt. Naar *Lundegårdhs* Metode undertiden giver lidt lavere Resultater, kunde man være tilbøjelig til at formode, at Kulsyren, der ved denne Metode ikke fjærnes, efterhaanden som den dannes, kunde virke væksthæmmende, muligvis endog dræbende, paa de paagældende Jordprøvers Mikrofauna og -flora. Dette er dog vistnok ikke Tilfældet, idet Bakterier og Svampe uden Skade synes at kunne taale stærke Kulsyrekoncentrationer. Saaledes angiver *Plummer* (1917), at de Mikroorganismer, der fortrinsvis er virksomme ved de kvælstofholdige organiske Forbindelsers Omdannelse til Ammoniak og videre Nitrificering, først hæmmes ved Tilstedeværelsen af 30 Volumenprocent CO_2 . Efter *Browns* Undersøgelser (1922) hæmmes de i Jorden hyppigt forekommende *Fusarium*arter kun svagt ved Tilstedeværelsen af 10 pCt. CO_2 , ja, efter *Lundegårdh* (1923) skal Væksten af *Gibberella saubinetii* og *Fusarium culmorum* endog forøges betydeligt ved et Indhold af 2—3—7 pCt. CO_2 . At Aarsagen heller ikke kan søges i Iltmangel i Kolberne, fremgaar af det Side 637—38 anførte. Derimod synes det — som ovenfor berørt — at vi ved Anvendelse af *Lundegårdhs* Metode hyppigst støder paa afvigende Resultater, naar vi arbejder med kalkholdige Jorder. Dette kan muligvis bero paa, at Overskudet af Kulsyre, der ved sidstnævnte Metode ikke fjærnes, efterhaanden som det produceres, gaar i Forbindelse med den uomsatte Kalk under Dannelsen af Bikarbonat. Naar vi ikke desto mindre selv ved kalkrige Jorder hyppigt opnaar praktisk talt ensartede Slutresultater, maa dette forklares derved, at det sure Kalciumkarbonat mod Forsøgets Slutning, hvor den mikrobiologiske Kulsyreproduktion næsten er ophørt, vil kunne afgive den paa et tidligere Tidspunkt optagne Kulsyre, der saaledes vil komme til at indgaa i Forsøgets Slutresultat.

Denne Hypothese understøttes i nogen Grad ved Maaling af Iltforbruget. Under Anvendelse af Jorden fra Landbohøjskolen med Til sætning af 1 pCt. Druesukker findes følgende Iltforbrug:

Lukkede Kolber: 22.8 cm^3 pr. 50 g (Enkeltbest. 23.0, 23.0 og 22.5).

Hængende Poser: 25.2 — — (Enkeltbest. 24.2, 25.4 og 26.0).

For den kalkrige Havejord var de tilsvarende Resultater:

Lukkede Kolber: 43.1 cm^3 (Enkeltbest. 43.6, 42.7 og 43.0).

Hængende Poser: 49.3 — (Enkeltbest. 50.8, 48.3 og 48.7).

Af sidstnævnte Tal fremgaar, at der m. H. t. Iltforbruget er en noget bedre Overensstemmelse end den, der fandtes ved Maaling af Kulsyreproduktionen. Et lignende Resultat naas under Anvendelse af den samme Jord uden Til sætning af nogen Art. Resultaterne efter 2 Døgn Henstand var her:

Lukkede Kolber: 3.6 cm^3 (Enkeltbest. 3.6, 3.9 og 3.4).

Hængende Poser: 6.2 — (Enkeltbest. 6.8, 5.0 og 6.6).¹⁾

¹⁾ Sml. de tilsvarende Tal for Kulsyreproduktionen: 1.3 og 8.9 cm^3 (Tabel 5).

Disse Tal, sammenlignede med de tilsvarende Maalinger af Kul-syreproduktionen, viser, at Hypotesen om Dannelsen af Bikarbonat i de stærkt kalkrige Jorder ikke er tilstrækkelig til helt at forklare de fundne Forskelligheder. Flere Undersøgelserækker med Maalinger af Iltforbruget, som det vilde føre for vidt her at komme nærmere ind paa, synes at tyde paa, at der gennemgaaende sker en lidt stærkere Sønderdeling, saafremt Jordprøverne ophænges i Forsøgsbeholderne, indesluttet i Poser, og Kulsyren fjernes efterhaanden, end naar Jorden anbringes paa Bunden af Kolberne. Det er da formodentlig tillige den bedre Gennemluftning i de hængende Poser, der bevirker de ovenfor omtalte Forskelligheder.

Som tidligere omtalt, kan Enkelbestemmelserne foretages med en Nøjagtighed paa $1/10 - 1/20$ mg CO_2 . For nu at afgøre, hvor meget Parallelbestemmelserne i en Forsøgsserie kan afvige indbyrdes, foretoges et Forsøg med en let Lermuld med Tilsætning af 0.5 pCt. Druesukker og optimal Fugtighedsgrad (70 pCt. af Vandkapaciteten) samt under Anvendelse af 9 Fællesbestemmelser. Tabel 8 viser, at den indbyrdes Afvigelse

Tabel 8. Overensstemmelsen mellem Parallelbestemmelserne i en Forsøgsserie med hængende Poser.

Kolbe Nr.	mg CO_2 pr. 50 g fugtig Jord											
	1 Døgn		2 Døgn		3 Døgn		4 Døgn		5 Døgn		6 + 7 Døgn	
	For- øgelse	Sum	For- øgelse	Sum	For- øgelse	Sum	For- øgelse	Sum	For- øgelse	Sum	For- øgelse	Sum
1	26.0	—	34.2	60.2	31.2	91.4	30.9	122.3	28.4	150.7	51.3	202.0
2	26.3	—	33.4	59.7	32.6	92.3	30.5	122.8	28.2	151.0	49.7	200.7
3	26.4	—	34.1	60.5	31.4	91.9	30.7	122.6	28.6	151.2	48.0	199.2
4	26.8	—	34.0	60.8	31.9	92.7	31.2	123.9	30.2	154.1	49.5	203.6
5	25.6	—	33.6	59.2	32.0	91.2	31.4	122.6	29.7	152.3	50.1	202.4
6	26.4	—	33.9	60.3	32.0	92.3	32.0	124.3	30.2	154.5	51.4	205.9
7	26.2	—	33.9	60.1	32.3	92.4	32.6	125.0	28.8	153.8	50.2	204.0
8	26.3	—	33.4	59.7	31.6	91.3	32.0	123.3	29.1	152.4	50.7	203.1
9	25.8	—	33.7	59.5	29.5	89.0	29.1	118.1	27.4	145.5	58.3	203.8
Middel	26.2 ± 0.1	—	33.8 ± 0.1	60.0	31.6 ± 0.1	91.6	31.2 ± 0.3	122.8	29.0 ± 0.1	151.8	51.0 ± 1.0	202.8

er ganske ringe. Dette Materiale er derpaa ordnet i to Serier, A og B, med 3 Parallelbestemmelser i hver, saaledes at Serie A indeholder de 3 Enkelbestemmelser med største, Serie B de 3 Enkelbestemmelser med laveste Slutresultat (sml. Tabel 9). Det vil af disse Resultater fremgaa, at vi nok tør regne med

Tabel 9. Sikkerheden paa Bestemmelsen af Kulsyrekurven i Serier med 3 Fællesbestemmelser.

Døgn	M ₉ (mg CO ₂)	Serie A (Nr. 6, 7, 9)			Serie B (Nr. 1, 2, 3)		
		M ₃ (mg CO ₂)	Afgivelse fra M ₉		M ₃ (mg CO ₂)	Afgivelse fra M ₉	
			mg CO ₂	pCt.		mg CO ₂	pCt.
1	26.2	26.1	÷ 0.1	0.38	26.2	0.0	0.00
2	60.0	60.0	0.0	0.00	60.1	+ 0.1	0.17
3	91.6	91.2	÷ 0.4	0.44	91.5	÷ 0.1	0.11
4	122.8	122.5	÷ 0.3	0.24	122.6	÷ 0.2	0.16
5	151.8	151.3	÷ 0.5	0.33	151.0	÷ 0.8	0.53
6 + 7	202.8	204.6	+ 1.8	0.89	200.6	÷ 1.8	0.89

en Nøjagtighed paa ± 2 pCt. I Betragtning af den Usikkerhed, med hvilken enhver biologisk Proces er behæftet, maa dette Resultat siges at være fuldt ud tilfredsstillende. Alle de i det følgende omtalte Forsøg er derfor overalt udførte i Serier med 3 Parallelbestemmelser.

Sluttelig blev det undersøgt, med hvor stor Sikkerhed »Kulsyrekurven« lader sig reproducere for een og samme Jordprøve. I alt er der udført Forsøg med to Jorder. Til det første Forsøg benyttedes en Jord fra Forsøgsstationen ved Tystofte med Til sætning af 1 pCt. Druesukker og en Fugtighedsgrad, svarende til 70 pCt. af Vandkapaciteten. Forsøgene, der er grafisk fremstillede i Fig. 3, viser en fuldt tilfredsstillende indbyrdes Overensstemmelse (sml. tillige Tabel 10). Det andet Forsøg foretoges under tilsvarende Forsøgsbetingelser med en Jord fra Landbo-

Tabel 10. Reproduktion af Kulsyrekurven.

Jord- prøvens Nr.	Forsøgs- serie	Samlede Kulsyreproduktion (mg CO ₂) pr. 50 g fugtig Jord				
		1 Døgn	2 Døgn	3 Døgn	4 Døgn	5 Døgn
I	1	34.5	71.1	106.6	144.3	197.9
	2	30.6	66.3	100.7	139.0	196.1
II	1	59.0	—	145.2	179.6	219.0
	2	61.6	99.5	145.2	181.6	226.3
	3	64.4	—	150.5	183.1	229.5

Jordprøve Nr. I: Jord fra Forsøgsstationen ved Tystofte.

— II: — — Landbohøjskolens Forsøgsmark.

højskolens Mark; Kulsyrekurven bestemtes i 3 forskellige Forsøgsserier med en indbyrdes Afstand af 10 Dage. Ogsaa i dette Tilfælde fandtes en smuk indbyrdes Overensstemmelse mellem de tre saaledes bestemte Kulsyrekurver (se Tabel 10).

mg CO₂ pr. 100 g Jord

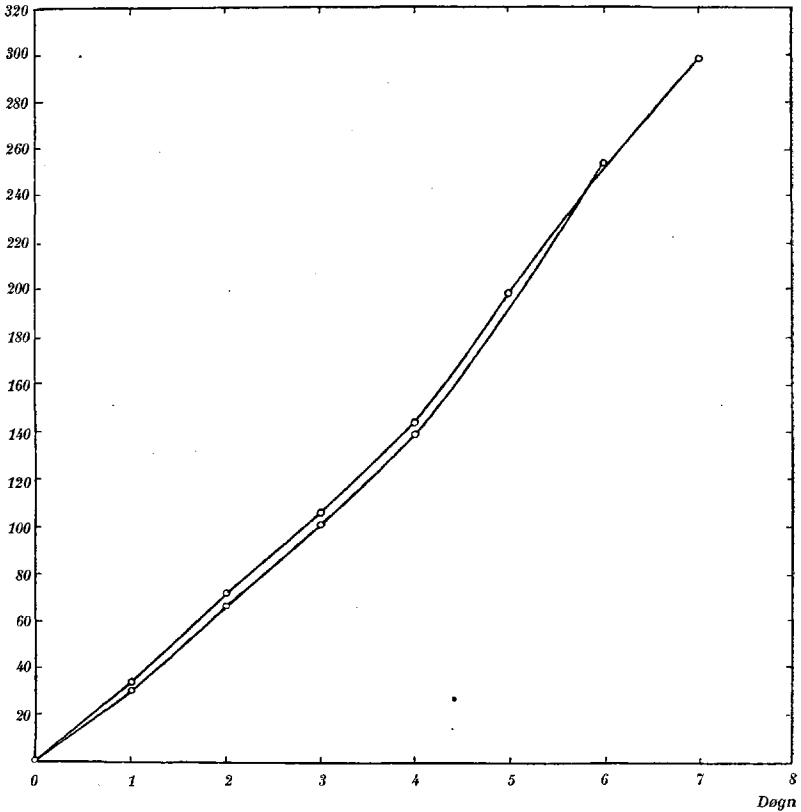


Fig. 3. Reproduktion af Kulsyrekurven.

III. Forskellige Faktorer Indflydelse paa Kulsyreproduktionen.

Det vil af det ovenfor fremførte fremgaa, at den benyttede Metode tilfredsstiller ethvert Krav til en hurtig, nøjagtig og sikker Bestemmelse af Kulsyreproduktionen. Herunder er lejlighedsvis omtalt Betydningen af Iltspændingen (sml. Side 636) og Jordprøvernes Lejring i Forsøgsbeholderne (sml. Side 635).

CO₂-Produktionen vil dog selvfølgelig være afhængig af en hel Række andre Forsøgsbetingelser, hvis Betydning nærmere maa klarlægges.

1. Vandindholdet.

Allerede *Wollny* (1881) undersøgte Vandindholdets Indflydelse paa Bakterieaktiviteten, idet han bestemte Kulsyrekoncentrationen i Prøver af den naturlige Jordluft, udtaget under vekslende Fugtighedsforhold. Tilsvarende Undersøgelser foretoges senere af en Række andre Forfattere, der ligesom *Wollny* finder en stærk Stigning af Jordluftens Kulsyrekoncentration med stigende Vandindhold (sml. f. Eks. *Jodidi* 1911). — Regnskyl bevirker saaledes en stærk Stigning af Jordluftens Kulsyrekoncentration (*Potter* og *Snyder* 1916, Side 280), der endog skal kunne indtræde næsten momentant (*Lundegårdh* 1924, Side 177). *Russel* og *Appleyard* (1915) finder, at Jordens Kulsyreindhold i Maanederne Maj—November forløber parallelt med Nedbørskurven; ifølge sidstnævnte Forfattere skulde Nedbørens Virkninger dog delvis søges i, at der med Regnen tilføres Ilt, der virker forøgende paa Intensiteten af de i Jorden foregaaende biokemiske Processer¹). Ogsaa *Lundegårdh* (1924, Side 178) finder (ved Forsøg i Juni—September) en vidtgaaende Overensstemmelse mellem Nedbøren og Jordluftens Kulsyrekoncentration, men ved en samtidig foretaget direkte Bestemmelse af den pr. Fladeenhed udaandede Kulsyre findes en Kurve, der omtrent forløber efter en ret Linie og ikke synes at være i Korrelation til Nedbørskurverne. Ifølge sidstnævnte Forfatter beror dette paa, at Jordens Diffusionstal aftager med stigende Fugtighedsgrad; i stærk fugtig Jord ophobes derfor let Kulsyre i Jorden, og en Analyse af Jordluftens Sammensætning er derfor intet sikkert Maal for Størrelsen af Kulsyreproduktionen.

Imidlertid tyder ogsaa de i Laboratoriet foretagne Forsøg paa en nøje Forbindelse mellem Fugtighedsgrad og Kulsyreproduktion. Dette paavistes allerede af *Dehérain* og *Demoussy* (1896), der fandt, at det for CO₂-Produktionen optimale Vandindhold var forskelligt for de forskellige Jordprøver. Ogsaa

¹) Det bør i denne Forbindelse nævnes, at Regnvand ifølge *Richards* Undersøgelser (1917) næsten er mættet med Ilt.

Stoklasa og *Ernest* (1905) omtaler Vandindholdets Betydning for Kulsyreproduktionen, og *van Suchtelen* paaviser i sit første Arbejde (1910), at Kulsyreproduktionen stiger med stigende Vandindhold til en Maksimumsværdi, der naas ved et Vandindhold, svarende til ca. 75 pCt. af Vandkapaciteten, for derpaa at falde ved fortsat Stigning af Fugtighedsgraden. Disse Resultater fastslaas ved Undersøgelser fra de senere Aar. — Sml. saaledes *Gainey* (1919) og *König* og *Hasenbäumer* (1921). Eksempelvis angiver sidstnævnte Forfattere følgende Optimumsværdier:

Humusholdig Sandjord	7.9 pCt. Vand
Lerblandet Sandjord.....	10 —
Lerjord.....	over 14 —

Paa Grundlag heraf formodes i Almindelighed: »Die Grenze des Wassergehaltes für die günstigste Kohlensäure-Entwicklung liegt anscheinend um so höher, je grösser die wasserhaltende Kraft des Bodens ist« (l. c., Side 200).

Tabel 11. Kulsyreproduktionen og Jordprøvernes Vandindhold (Mannitsønderdeling).

Jord- prøvens Nr.	Fugtighedsgrad (pCt. af Vand- kapaciteten)	Samlede CO ₂ -Produktion (mg CO ₂) pr. 100 g Tørjord				
		1 Døgn	2 Døgn	3 Døgn	4 Døgn	5 Døgn
I	40	38.3	77.1	112.3	—	169.4
	60	37.9	83.2	119.6	—	177.2
	70	37.1	82.5	119.8	—	180.7
	80	38.8	84.0	143.3	—	299.3
	100	16.0	43.6	105.9	—	258.9
II	40	61.2	153.3	237.4	310.5	362.7
	60	77.2	170.9	277.9	366.0	405.7
	70	72.0	164.3	308.3	409.3	452.7
	80	33.2	83.8	189.8	337.8	403.9
	100	22.1	62.4	158.2	269.2	326.4

Jordprøve Nr. I: Jord fra Askov. 0.5 pCt. Mannit + 0.15 pCt. K₂HPO₄.
 — II: Svær Lerjord. do. do. do.

Da hele dette Spørgsmaal aabenbart er af allerstørste Betydning, er det blevet gjort til Genstand for en indgaaende Undersøgelse. I Tabel 11 er sammenstillet Resultaterne fra to Forsøgsserier, anstillede med en Sandjord og en Lerjord. — Det bemærkes, at den optimale Fugtighedsgrad for Sandjordens

Vedkommende ligger omkring 80 pCt. af Vandkapaciteten, medens vi for Lerjorden finder Optimumsværdi omkring 70 pCt. af Vandkapaciteten. Ved et Vandindhold, svarende til henholdsvis 40 og 100 pCt. af Vandkapaciteten, findes i begge Tilfælde en relativt ringere Kulsyreudvikling. Ret ejendommeligt finder vi for Sandjordens Vedkommende fra og med 3. Forsøgsdag en stejl Stigning af Kurverne for de to Jordprøver med størst Vandindhold — et Forhold, der i øvrigt ogsaa er iagttaget ved andre Forsøg, og som muligvis kan bero paa, at Ilten i disse Forsøgsserier er helt eller delvis fortrængt af de store Vandmængder, hvorfor Sønderdelingsprocessen temmelig hurtigt antager en delvis anaerob Karakter (sml. foran Side 637). — I andre Forsøgsserier findes Lerjorder derimod at have Optimum for Kulsyreproduktion beliggende ved et større Vandindhold end lettere Jorder. Som Eksempel herpaa skal henvises til Tabel 12.

Tabel 12. Kulsyreproduktionen og Jordprøvernes Vandindhold. (Cellulosesønderdeling).

Jordprøvens Nr.	Fugtighedsgrad (pCt. af Vandkapaciteten)	Samlede Kulsyreproduktion (mg CO ₂) pr. 100 g Tørjord							
		18/11	15/11	17/11	20/11	24/11	29/11	8/12	17/12
I	40	12.2	22.7	29.5	38.5	48.2	59.5	75.7	91.3
	60	13.8	28.0	42.3	72.1	127.2	178.4	232.6	272.8
	70	17.9	37.7	77.7	157.8	211.6	261.8	325.1	366.7
	80	16.8	42.3	79.4	114.8	151.8	196.0	281.1	366.2
	100	11.3	32.2	51.5	74.3	102.6	143.6	217.1	283.0
II	40	19.7	36.3	47.4	59.7	73.1	86.7	104.5	121.2
	60	24.0	45.9	60.0	76.4	93.5	109.0	132.1	150.9
	70	29.1	58.2	79.1	111.7	168.5	215.9	268.9	307.9
	80	34.4	67.9	102.2	176.0	234.6	293.0	378.7	440.4
	100	25.3	53.9	90.2	116.7	162.6	219.7	330.6	427.7

Jordprøve Nr. I: Havejord + 2.5 pCt. Cellulose + 0.1 pCt. K₂HPO₄.

— II: Svær Lerjord. — Samme Tilsætning.

Forsøgene er udførte med 2.5 pCt. finmalet Cellulose som eneste Kulstofkilde, idet der dog til hver Jordprøve er sat 0.1 pCt. K₂HPO₄. Efter 5 Ugers Forløb findes for den temmelig lette Havejord et Optimum beliggende mellem 70 og 80 pCt. af Vandkapaciteten, medens det for den svære Lerjords

Vedkommende snarere ligger mellem 80 og 100 pCt. — Endskønt dette sidste Forsøg er i Overensstemmelse med *Königs* og *Hasenbäumers* ovenfor citerede Formodning, har denne dog ikke ved de hidtil foretagne Forsøg fundet en almen Bekræftelse, idet Resultaterne fra de hidtil foreliggende Forsøg

mg CO₂ pr. 100 g Jord

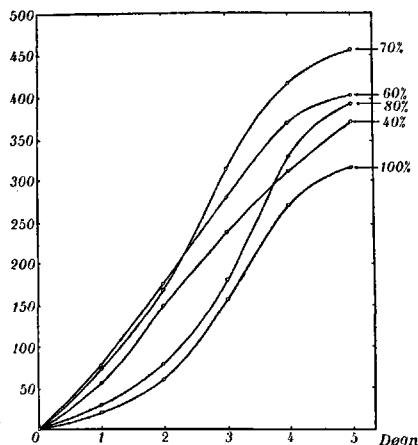


Fig. 4. Kulsyreproduktionens Afhængighed af Fugtighedsgraden. Sml. Tabel 11, II.

næppe lader sig generalisere. Men Forsøgene viser med Sikkerhed, at en ringe Ændring af Fugtighedsgraden medfører en betydelig Ændring i Kulsyreproduktionen (sml. Fig. 4). For at opnaa reproducerbare Kulsyrekurver er det altså nødvendigt at arbejde med største Nøjagtighed ved Vandtilsætningen.

2. Temperaturen.

Af de i Litteraturen foreliggende Angivelser vedrørende Kulsyreproduktionen, maalt direkte i Marken ved forskellige Temperaturer, skal anføres, at *Fodor* (1882) bestemte Jordluftens

CO₂-Koncentration i forskellig Dybde og til forskellige Aars-tider; Kulsyrekoncentrationen steg med Dybden og var størst i Sommermaanederne. I Overensstemmelse hermed fandt *Pettenkofer*, at CO₂-Procenten i Jordluft steg og faldt med Jordtemperaturen (se *Bornemann* 1920, Side 61). Af nyere Undersøgelser skal nævnes, at *Russell* og *Appleyard* (1915) ved at bestemme CO₂-Koncentrationen i Jordluften i 15 cm Dybde fandt et Maksimum i Foraarsmaanederne (April, Maj), derpaa et Fald i Sommermaanederne, en ny Stigning i Efteraarsmaanederne og endelig et udpræget Minimum i Vintermaanederne. En lignende Periodicitet iagttages ved Bestemmelsen af Kimtallet og Nitrifikationsevnen. I Maanederne Maj—November er der nøje Overensstemmelse mellem Temperaturkurver og Kulsyrekurver, og det om Vinteren konstaterede Minimum beror aabenbart paa en Temperaturvirkning. Den lave Kulsyreprocent i Sommermaanederne skulde derimod skyldes en

stærk Forøgelse af de i Jordbunden levende Protozoer, der ved at æde Bakterierne nedsætter den samlede Aktivitet. — Rent bortset fra det uhensigtsmæssige i at bestemme Intensiteten af Kulsyreproduktionen ved Analyse af Jordluften er disse Resultater altsaa intet rent Udtryk for Temperaturvirkningen. Noget lignende gælder *Jodidi's* Undersøgelser (1911), der med stigende Temperatur viser en stigende CO_2 -Procent i Jordluften. *Lundegårdh* bestemmer derimod direkte den »frie Jordaanding« i Maanederne Juni—September; Lufttemperaturen svinger i dette Tidsrum mellem ca. 10 og 21° C., uden at der dog synes at være nogen større Overensstemmelse mellem Kulsyrekurven og Temperaturkurven. Spørgsmaalet er aabenbart svært at faa fyldestgørende belyst ved Forsøg direkte i Marken, idet vi ikke opnaar noget rent Udtryk, men kun et Slutresultat, i hvilket begge de to klimatiske Hovedfaktorer, Nedbør og Temperatur, indgaar som bestemmende Faktorer. Spørgsmaalet løses derfor bedst ved Laboratorieforsøg.

Allerede *Petersen* (1870, Side 170) foretog Forsøg ved forskellige Temperaturer og fandt følgende Værdier: 12.5° — 18.16 mg, 21° — 45.95 mg og 35° — 70.34 mg CO_2 . Ogsaa *Wollny* (1881) fandt med stigende Temperaturer en Stigning af Kulsyreproduktionen. *Dehérain* og *Demoussy* (1896) anstillede ret omfattende Undersøgelser og fandt, at Intensiteten af den mikrobiologiske Sønderdeling stiger med stigende Temperatur indtil 65°. — Ved højere Temperaturer, indtil 90° C., aftager Kulsyreproduktionen, men stiger derpaa stærkt ved Temperaturer omkring 100° C., idet Kulsyreproduktionen ved disse høje Temperaturer skyldes rent kemiske Processer. Eksempelvis skal nævnes en Undersøgelsesrække, foretaget med en Havejord; ved Temperaturer paa 22, 44, 55, 65, 80, 90, 96, 100 og 110° C. fandtes en Kulsyreudvikling paa henholdsvis 9.4, 13.6, 46.8, 88.0, 42.0, 75.0, 87.0, 188.0, 266.0 $\text{cm}^3 \text{CO}_2$ pr. Døgn pr. 100 g Jord.

Det maa forekomme overraskende, at Optimumstemperaturen skulde være beliggende ved 65° C., idet Flertallet af de i Jordbunden i tempererede Egne forekommende Mikroorganismer har Temperatur-Optimum for Vækst ved ca. 20° C. og Maksimumsværdi omkring 40° C. (sml. *Löhnis* 1913, Side 73). Beklageligvis angiver Forfatterne ingen Værdier for Kulsyreproduktionen mellem 22 og 40° C., netop de Temperaturer,

der i denne Forbindelse er af størst Betydning. Det kan derfor være af Interesse at henvise til nogle af *Stoklasa* (l. c. 1926) angivne Værdier, sammenstillede i Tabel 13. — Om end Temperaturkurven for *Bac. mycoides* med sin ujævne Stigning og to »Trappeflader« gør et usandsynligt Indtryk, viser den dog en langt stejlere Stigning end den af *Dehérain* og *Demoussy* angivne.

Tabel 13. Kulsyreproduktionen ved forskellige
Temperaturer af Bakterier i Renkultur.
(Efter *Stoklasa*).

Temperatur, (C.°)	Kulsyreproduktion (mg CO ₂) pr. 24 Timer pr. 1 g Bakteriemasse (Tørstof)		
	Azotobacter	Bac. mycoides	Bact. Hartlebi
5	60	52	24
10	200	102	100
15	750	106	207
20	1020	205	311
25	1272	213	487
30	1324	224	528
35	1208	372	602

Fra de senere Aar foreligger vistnok ingen systematisk gennemførte Undersøgelser over Kulsyreproduktionen ved forskellige Temperaturer. Problemet søgtes derfor belyst ved Forsøg med en Havejord med optimal Fugtighedsgrad og Til sætning af 1 pCt. Druesukker. I hver Forsøgsserie fandtes 3 Parallelkolber, der henstilledes i elektriske Termostater, fint indstillede paa de paagældende Temperaturer. Indskrænkes Forsøgets Varighed til en Dag, faar man det sikreste Billede af Temperaturens Betydning for den paagældende Jordprøves aktuelle Mikroflora og CO₂-Produktion. En saadan Temperaturkurve er gengivet i Fig. 5. Ved Temperaturer under ca. 17° C. er Kulsyreproduktionen kun ringe om end stigende med Temperaturen. Ved ca. 17° C. har Kurven et Vendepunkt, og i Intervallet 17—32° C. vil en Temperaturstigning paa blot 1/2—1° C. medføre en betydelig Forøgelse af Kulsyreproduktionen. Naar Temperaturen stiger 10° C., fra 22 til 32° C., forøges CO₂-Produktionen fra ca. 70 til 153 mg. Uden at komme nærmere ind paa en detailleret Drøftelse af dette Forhold skal

her erindres om, at Kurven mg CO₂

kun giver en summarisk Oplysning om Slutresultatet af en Proces, i hvilken saavel Bakteriernes Nedbrydningsintensitet (Enzymvirkning) som deres Formeringshastighed ved vekslende Temperaturer indgaar som bestemmende Faktorer. — Fortsættes Forsøget derimod i flere Dage, antager det Karakteren af en Slags Ophobningsforsøg — naar CO₂-Produktionen allerede efter to Dages Forløb er stærkest ved 42° C. (sml. Tabel 14), beror det formodentlig paa en begyndende Ophobning af en særlig termofil Bakterieflo-
ra, idet der normalt i enhver Jord forekommer Bakterier med Optimum for Vækst ved 50—65° C. og Minimum ved ca. 35° C.

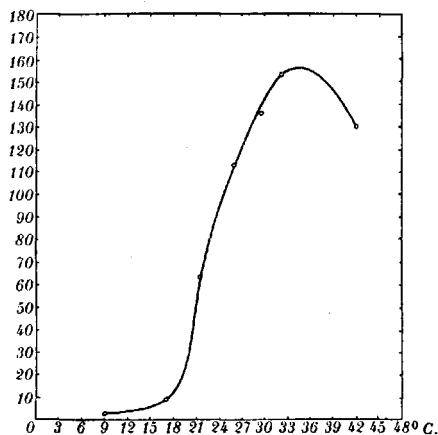


Fig. 5. Temperatures Indflydelse paa Kulsyreproduktionen.

Tabel 14. Temperatures Indflydelse paa Kulsyreproduktionen.

Temperatur, (C. ^o)	Samlede Kulsyreproduktion (mg CO ₂) pr. 50 g Jord			
	1 Døgn	2 Døgn	3 Døgn	4 Døgn
9—10	2.9	7.5	—	51.7
17	9.6	90.2	177.4	253.3
21—22	63.3	—	—	—
26	112.9	205.7	272.7	333.3
29—30	136.8	—	—	—
32	153.5	243.0	345.1	414.1
42	130.4	269.6	366.8	420.9

Temperaturer over 42° C. har ikke været inddragne i Undersøgelsen; derimod har der været udført flere Forsøg med Autoklavering af Jordprøver ved 120° C. i 20 Minutter. I Overensstemmelse med *Dehérain* og *Demoussy* (1896), *Severin* (1904 og 1910) og *Hesselmann* (1910) fandtes efter Autoklaveringen i flere Tilfælde en ret betydelig CO₂-Produktion, der dog aftager stærkt efter ca. 1 Døgn's For-

løb. I andre Tilfælde fandtes tilsvarende Forhold, som omtalt af *Russell* (1905, Side 268): CO_2 -Produktionen nedsættes stærkt uden helt at bringes til Ophør. Forholdene er formentlig forskellige for de forskellige Jordarter og lader sig ikke generalisere, men i ethvert Fald i visse Jordtyper kan ved højere Temperaturer foregaa en ret stærk Sønderdeling af rent kemisk Art.

Det vil af det ovenfor omtalte Forsøg fremgaa, at en sikker Reproduktion af Kulsyrekurven kræver en fint indstillet og paalideligt virkende Termostat.

3. Brintionkoncentrationen.

Allerede *Petersen* (1870) paaviste Kalkens stærkt forøgende Virkning paa Kulsyreproduktionen — ved Tilsætning af $\frac{1}{2}$ pCt. CaCO_3 til en ufrugtbar, svagt sur Lerjord steg Kulsyreproduktionen saaledes fra 57.2 til 163.6 g CO_2 pr. m^3 Jord pr. 24 Timer.¹⁾ *Wollny* (1897) kommer efter flere indgaaende Undersøgelser til det Resultat, »dass die Verwesung unzersetzer organischen Substanzen auf Zusatz von Kalkhydrat (oder Kalkkarbonat) verzögert, dagegen jene der bereits in Zersetzung übergegangen und mit mehr oder weniger grossen Mengen von Humussäuren versehenen Materialien unter solchen Umständen gefördert zu werden scheint«. Ogsaa *Kossowitsch* og *Tretjekow* (1902) mener at konstatere, at Kalciumkarbonat virker hæmmende paa Sønderdelingen af organiske Stoffer i Jorden. *Raman* (1911) refererer *Wollnys* Resultater og omtaler *Kostytshews* Forsøg, ifølge hvilke en Tilsætning af kulsur Kalk til forraadnende Stoffer enten er uden Virkning eller endog nedsætter Sønderdelings hastigheden. Foranlediget af disse Forsøg underkaster *Lemmermann*, *Aso*, *Fischer* og *Fresenius* (1911) hele Spørgsmaalet en fornyet Undersøgelse. Forsøgene foretoges efter Gennemluftningsprincippet med det Resultat, »dass sowohl der Ätzkalk als auch der kohlen saure Kalk die Zersetzung der Kohlenstoffverbindungen (organischen Substanz) im Boden erhöhte« (l. c., Side 256). Lignende Resultater opnaaedes af *Potter* og *Snyder* (1916), *Neller* (1920) samt *König* og *Hasenbäumer* (1920), der i 4 kg Lerjord med Tilsætning af 0, 0.04, 0.1, 0.2 og 0.4 pCt. Kalciumkarbonat fandt en daglig CO_2 -Produktion paa henholdsvis 181.3, 223.6, 308.4, 416.4 og 455.4 mg CO_2 .

¹⁾ Beregnet som Gennemsnit af en Forsøgsperiode paa 16 Dage.

En lignende Virkning iagttoges ved Tilsætning af Magnium-karbonat. Tilsætning af brændt Kalk medfører først en Formindskelse af Kulsyreproduktionen, indtil den brændte Kalk er omdannet til Karbonat; herefter indtræder en forøget CO_2 -Produktion ganske som ved Tilsætning af kulsur Kalk (l. c., Side 201). Ogsaa Waksman og Starkey (1924) finder, at »the addition of lime to an acid soil stimulates the production of carbon dioxide but not to as great an extent as nitrification« (l. c., Side 159). — I Modsætning hertil mener Lundegårdh paa Grundlag af Forsøg, udførte direkte i Marken, foreløbig kun at kunne drage den Slutning, at Kalkens Virkning paa CO_2 -Faktoren er af ret uberegnelig Natur, idet en Tilsætning af 3000 kg CaCO_3 pr. ha kun udviste ringe eller usikker Virkning i en tidligere svagt sur Mark (l. c., 1924, Side 198).

De ovenfor omtalte Forsøg tager fortrinsvis Sigte paa at belyse Kalkens Indflydelse paa CO_2 -Produktionen, og skønt ingen af de citerede Undersøgelser indeholder Maalinger af Jordprøvernes Reaktionstal, maa det dog formodes, at de fundne Forskelligheder m. H. t. Kulsyreudviklingen fortrinsvis skyldes Kalkens reaktionsændrende Egenskaber. — I den allerseneste Tid fremsætter Stoklasa (1926, Side 705) Resultaterne af et Forsøg med direkte Maaling af Reaktionstallene: Naar p_H stiger fra 4.0 til 7.2, stiger Kulsyreproduktionen fra 5 til 85 mg CO_2 (pr. kg pr. 24 Timer), og samtidig forøges Kimtallet fra 6 til 78 Millioner Bakterier pr. g Jord. — Saa vidt det kan ses af Meddelelsens knappe Form, er Reaktionsændringen ogsaa i dette Forsøg foretaget ved Hjælp af Kalktilsætning.

Endelig skal nævnes, at Lundegårdh (1923) har foretaget en Sammenligning af 5 forskellige raa Jordbundsformer, hvis Kulsyreproduktion i 24 Timer bestemtes ved Hjælp af den ovenfor omtalte Metodik (se Side 633). Forsøget gav følgende Resultat:

Jordbund	Karakterplanter	p_H	CO_2 (mg)
Bøgeskov (Raahumus)	Ingen Bevoksning.....	3.7	6.4
do.	<i>Aira flexuosa</i> og <i>Trientalis europaea</i>	3.9	10.8
Skovrand	<i>Calluna</i> , <i>Hylocomium</i>	4.4	4.9
Skovsump.....	<i>Scirpus lacustris</i>	4.6	6.5
Bøgeskov	<i>Allium ursinum</i>	7.3	5.4

I dette Tilfælde er Kulsyreudviklingen gennemgaaende stærkere i de sure Jordprøver, hvilket formodes at hidrøre fra

en Mikroflora, væsentligst bestaaende af Skimmelsvampe. Da Forsøget er foretaget med forskellige Jordtyper, kan det dog næppe betragtes som et rent Udtryk for Betydningen af Brintionkoncentrationen.

I de nedenfor anførte Forsøg er Spørgsmaalet søgt belyst ved at variere Brintionkoncentrationen i een og samme Jordprøve, idet alle de øvrige Forsøgsbetingelser holdes konstante. Dette er iværksat ved til 50 g af Jordprøverne at sætte 1 pCt. Druesukker; den optimale Fugtighedsgrad er tilvejebragt ved Tilsætning af vandige Opløsninger af primært og sekundært Kaliumfosfat i vekslende Blandingsforhold — herved ændres Brintionkoncentrationen, medens Fosfatkoncentrationen holdes konstant. Til Forsøgene anvendtes en stærkt sur Jord (p_H 4.63), hvis Reaktion ændredes udelukkende i alkalisk Retning, samt en svag sur Jord (p_H 6.37), i hvilken Reaktionstallet kunstigt ændredes i begge Retninger. Resultaterne er sammenstillede i Tabel 15. Begge Prøver viser paa Forsøgets første Dag meget tydelige Udslag for de foretagne Reaktionsændringer: den stærkt sure Jordprøve viser en betydelig Forøgelse af Kulsyreproduktionen med stigende Reaktionstal, medens omvendt en eksperimentelt fremkaldt Formindskelse af Reaktionstallet i Prøve Nr. 2

Tabel 15. Kulsyreproduktionens Afhængighed af Brintionkoncentrationen. (Fosfattilsætning).

Jord- prø- vens Nr.	P _H ved For- søgets Begyn- delse	mg CO ₂ pr. 50 g Jord							P _H ved For- søgets Afslut- ning
		1 Døgn	2 Døgn		4 Døgn		5 Døgn		
		For- øgelse	For- øgelse	Sum	For- øgelse	Sum	For- øgelse	Sum	
1.	5.07	16.8	109.5	126.3	169.7	296.0	24.6	320.6	5.41
	5.28	25.0	113.7	138.7	158.6	297.3	29.0	326.3	5.79
	5.61	27.0	113.6	140.6	167.7	308.3	30.0	338.3	5.83
	5.77	33.0	115.1	148.1	181.5	329.6	33.4	363.0	6.15
2.	5.63	20.2	110.9	131.1	187.9	319.0	20.3	339.3	6.43
	5.96	34.7	110.9	145.6	200.9	346.5	18.6	365.1	6.57
	6.18	46.4	111.8	158.2	205.1	363.3	19.3	382.6	6.70
	6.65	66.9	110.3	177.2	201.1	378.3	22.9	401.2	7.01

Jordprøve Nr. 1: Fra Forsøgsstationen ved Tylstrup. Naturlige p_H 4.63.

— 2: — Borris. — 6.37.

giver sig tydeligt Udslag i en formindsket CO_2 -Produktion. I de følgende Forsøgssage er den indbyrdes Forskellighed inden for de to Forsøgsserier saavel absolut som relativt set betydelig formindsket, men Forsøgets Hovedresultat er dog en sikker Paavisning af, at Kulsyreproduktionen stiger med stigende Reaktionstal.

Tabel 16. Kulsyreproduktionens Afhængighed af Brintionkoncentrationen (Kalktilsætning).

Jordens Behandling	pH ved Forsøgets Begyn- delse	Samlede Kulsyreproduktion (mg CO_2) pr. 50 g Jord				pH ved Forsøgets Afslut- ning
		1 Døgn	2 Døgn	3 Døgn	5 Døgn	
Uden Kalk.....	4.39	7.2	61.9	181.1	265.5	4.92
0.05 pCt. CaCO_3 ...	5.32	9.9	65.3	183.4	252.1	5.45
0.1 — do. ...	5.63	22.5	81.5	195.0	254.4	6.00
0.2 — do. ...	6.05	34.7	94.1	207.8	294.8	6.59
1.0 — do. ...	6.59	55.8	145.9	251.4	352.0	7.69
4.0 — do. ...	6.77	64.4	152.7	234.2	350.3	7.76
4.0 — do. ¹⁾ .. uden Sukkertilsætn.	—	44.1	57.7	—	81.0	8.18

Endelig er der udført et Forsøg med en stærkt sur Jord fra Askov Sandmark (pH 4.58). Til 100 g lufttørret Jord sættes 1 g Druesukker samt 12 cm³ af en vandig Opløsning, indeholdende 0.2 pCt. NH_4NO_3 + 0.5 pCt. KH_2PO_4 . Reaktions-tallet ændres derpaa ved Tilsætning af stigende Kalkmængder. Forsøget viser ogsaa i dette Tilfælde en meget stærk Forøgelse af Kulsyreudviklingen med stigende Reaktionstal. En Del af Kulsyren er dog utvivlsomt fraspaltet Kalciumkarbonatet ved den rent kemiske Neutralisationsproces. — Som det fremgaar af Kontrollforsøget med Tilsætning af 4 pCt. CaCO_3 ²⁾ men uden Kulstofkilder, er de fundne Forskelligheder dog alt for store til at kunne forklares paa denne Maade (sml. Tabel 16).

¹⁾ Sml. Teksten. Ved Forsøgets Afslutning fandtes, at saavel denne som de øvrige Jordprøver var gennemvoksede med veludviklede Svampemycelier.

²⁾ Disse Tal er jo endda ikke at betragte som »Blindbestemmelser«, idet en Del af den i disse »Kontrollforsøg« fundne Kulsyre hidrører fra mikrobiologiske Sønderdelingsprocesser paa Grundlag af Jordens egne Kulstof-forbindelser.

4. Næringsstoffernes Art og Koncentration.

Ønsker man at benytte Kulsyreproduktionen som et direkte Maal for den paagældende Jordprøves (eller rettere de i denne levende Mikroorganismers) Nedbrydningsevne over for bestemte Næringsstoffer (*Waksman* og *Starkey's* »decomposing power«), er det af største Betydning at være nøje underrettet m. H. t. den Indflydelse, som Arten og Koncentrationen af disse Stoffer udøver paa CO_2 -Produktionen. Til dette Formaal er der foretaget en lang Række forskellige Undersøgelser, der i det følgende skal gengives i grove Hovedtræk.

a. Kulstofkilderne. Mikroorganismernes Liv i Jordbunden er en Sum af forskellige Dissimilations- og Assimilationsprocesser; Raamaterialet til dette Energi- og Stofskifte udgøres hovedsagelig af de i Jorden forekommende organiske Stoffer, tilsammen repræsenterende alle mulige Stadier af Sønderdeling — fra nylig paabegyndt Forraadnelse af Plante- og Dyrrester helt ned til luftformig Kulsyre.

Det vilde føre for vidt blot i Hovedtrækkene at følge disse forskellige Sønderdelingsprocesser; her skal blot erindres om, at man i de senere Aar har gjort et stort Arbejde for at paavise og direkte fra Jordbunden renfremstille en hel Række af disse forskellige organiske Stoffer. Af Kulhydrater er saaledes isoleret saavel Pentoser som Hexoser og Polyhexoser, af hvilke navnlig de sidste er almindelig udbredte og stedse lader sig renfremstille fra Jord. Af Alkoholer skal nævnes den hexavalente Alkohol Mannit, der som bekendt er en fortrinlig Kulstofkilde, saavel for *Azotobacter* som for flere andre af de i Jordbunden levende Bakterier, samt de til Cholesteringruppen hørende Phytosterin og Agrosterin. Af organiske Syrer kan nævnes Mælkesyre, Eddikesyre, Myresyre, Smørsyre, Propionsyre, Oxalsyre, Ravsyre, Mono- og Dioxystearinsyre, m. m. (sml. *Stoklasa*, 1926, Side 665). — Hertil kommer saa endvidere de forskellige Humusforbindelser, hvis Kemi endnu er mangelfuld bekendt. Ifølge de nyeste Undersøgelser (*Waksman*, 1925) kan de efter deres Opløseligheds- og Udfælningsforhold deles i tre Grupper, af hvilke den ene, der er opløselig i 5 pCt. Alkali og udfældes af Syrer, alene repræsenterer ca. 60–70 pCt. af det samlede organiske Materiale i en normal Agerjord. Ifølge *Stoklasas* Angivelser skal netop denne Gruppe af Humusforbindelser indeholde organiske Substanter »welche durch die Ammonisationsbakterien zersetzt werden und sowohl als gutes Energiematerial für den Aufbau neuer lebender Substanz als auch für Respirationszwecke dienen« (l. c., 1926, Side 704).

Med Hensyn til disse forskellige organiske Stoffers videre Nedbrydningshastighed foreligger der i Litteraturen talrige Angivelser, idet Kulsyreproduktionens Størrelse netop er en Maalestok for Nedbrydningsprocessens Hastighed. Undersøgelserne er fortrinsvis foretagne under Anvendelse af henraadnende Plantedele, Gødning, finmalet Cellulose, tørret Blod, forskellige Affaldsprodukter o. s. v. (*Wollny, Schloesing, Lemmermann, Aso, Fischer og Fresenius, Potter og Snyder, Gainey, Waksman og Starkey, Starkey, Waksman og Heukelikian m. fl.*). En sammenlignende Undersøgelse under Anvendelse af forskellige veldefinerede Kulstofkilder foreligger vistnok ikke; endskønt det ifølge Sagens Natur er vanskeligt at opstille almene Sætninger, gældende under alle Forhold, giver de i det følgende omtalte Undersøgelser dog Resultater, der i flere Henseender er af Interesse.

Tabel 17. Kulsyreproduktionens Afhængighed af Kulstofkilderne.

Tilsætning		Samlede Kulsyreproduktion (mg CO ₂) pr. 50 g					
		1 Døgn	2 Døgn	3 Døgn	4 Døgn	5 Døgn	6 Døgn
Uden Mineralstof- tilsætning	Lucernemel.....	78.9	198.9	282.9	334.7	374.4	402.8
	Cellulose.....	10.7	20.0	26.3	—	35.9	40.6
	Stivelse.....	16.0	28.5	40.1	—	54.8	61.7
	Rørsukker.....	21.0	132.5	334.4	—	389.0	405.4
	Druesukker.....	19.8	74.4	196.0	—	424.7	464.6
	Mannit.....	13.0	30.9	131.4	—	319.5	477.7
	Glycerin.....	14.4	25.6	—	99.7	204.2	343.5
	Kalciumbutyrat.....	8.1	21.7	—	52.2	64.8	77.4
NaNO ₃ + K ₂ HPO ₄	Uden Kulstoftilsætning....	9.3	14.0	—	23.3	29.7	35.8
	Cellulose.....	22.6	35.7	57.1	79.4	95.1	105.6
	Stivelse.....	54.0	77.3	94.4	109.3	124.5	136.2
	Druesukker.....	73.9	209.9	335.9	418.9	454.0	470.0
	Mannit.....	57.4	168.4	291.8	376.6	434.4	472.2
	Uden Kulstoftilsætning....	18.0	28.7	39.5	48.9	59.7	67.7

Til de i Tabel 17 sammenstillede Forsøg benyttedes en frugtbar, kalkrig Havejord med optimal Fugtighedsgrad samt Tilsætning af 1 pCt. af forskellige Kulstofkilder, hvortil vælges en Række, der nogenlunde kan antages at repræsentere de i Jorden forekommende forskellige Nedbrydningsstadier fra endnu

uomsatte Plantedele (Lucernemel, Cellulose) til Salte af organiske Syrer (Kalciumbutytrat) — i Forsøgsserien uden Kulstof-tilsætning sker CO_2 -Produktionen fortrinsvis paa Grundlag af Jordens egne Humusforbindelser.

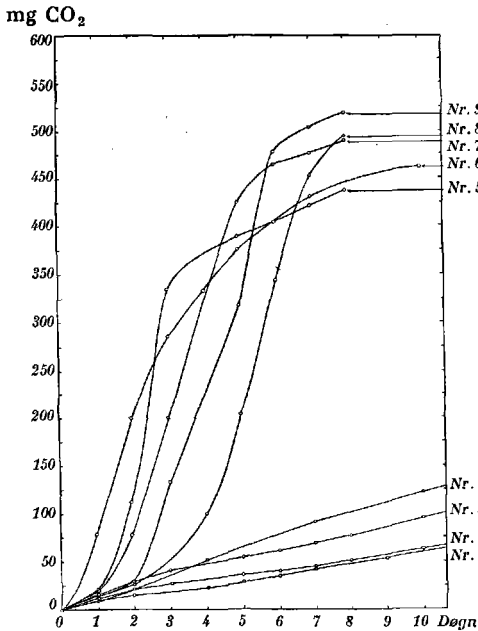


Fig. 6. Kulsyreproduktionen under Anvendelse af forskellige Kulstofkilder, men uden Tilsætning af Mineralstoffer. Nr. 1. Uden Kulstoftilsætning. Nr. 2. Cellulose. Nr. 3. Stivelse. Nr. 4. Kalciumbutytrat. Nr. 5. Rørsukker. Nr. 6. Lucernemel. Nr. 7. Druesukker. Nr. 8. Glycerin. Nr. 9. Mannit.

Forsøgene viser, at Lucernemelet sønderdeles med meget stor Hastighed, hvilket formodentlig skyldes dets store Kvælstofindhold. Endvidere bemærkes, at Kurven for Rørsukkerudviser en overordentlig stejl Stigning mellem 1 og 3 Døgn (se Fig. 6). Af Interesse er endvidere en Sammenligning mellem Druesukker og Mannit: i de første Forsøgsdage giver Druesukker den kraftigste Kulsyreudvikling; efter 6 Dages Forløb skærer de to Kurver dog hinanden, og ved Forsøg af længere Varighed faas den største samlede CO_2 -Produktion under Anvendelse af Mannit, hvilket formodentlig er Udtryk for en Ophobning af en særlig mannitsønderdelende Mikroflora. Sønderdelingen af Glycerin foregaar først temmelig langsomt, men

efter nogle Dages Forløb forøges Nedbrydningshastigheden stærkt, formodentlig ligeledes paa Grund af en Ophobning af en særlig Mikroflora. Kalciumbutytratet er mindre vel egnet som Kulstofkilde, og det samme gælder i endnu højere Grad om Stivelse og Cellulose — sidstnævnte Stof giver efter 6 Døgn Forløb en Kulsyreproduktion, der ikke er synderlig større end i Kontrolforsøget uden Tilsætning af særlige Kulstofforbindelser.

Forsøget gentages med samme Jord og nogle af de samme Kulstofforbindelser, men med Tilsætning af NaNO_3 og K_2HPO_4 .

Kulsyreudviklingen forøges herved stærkt, uden at dette dog medfører en anden indbyrdes Rækkefølge (sml. Tabel 17).

En Fortsættelse af Forsøgene med Serierne uden Kulstof-tilsætning, Stivelse og Cellulose giver de i Fig. 7 anførte Resultater. Af særlig Interesse er Serierne med Cellulose-

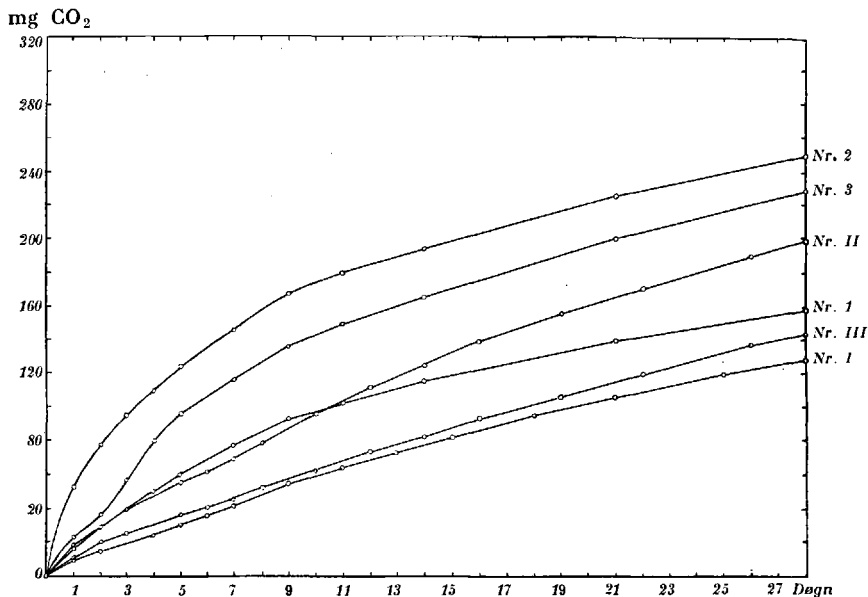


Fig. 7. Langvarigt Forsøg med Tilsætning af Stivelse og Cellulose.
± NaNO₃ og K₂HPO₄.

- | | |
|-------------------------------|---|
| Nr. I. Uden Kulstoftilsætning | } ÷ NO ₃ , ÷ P ₂ O ₅ . |
| - II. 1 pCt. Stivelse | |
| - III. 1 pCt. Cellulose | |
| Nr. 1. Uden Kulstoftilsætning | } + NO ₃ , + O ₂ P ₅ . |
| - 2. 1 pCt. Stivelse | |
| - 3. 1 pCt. Cellulose | |

tilsætning, idet dette Stof som bekendt har fundet en udstrakt Anvendelse ved jordbundsbiologiske Omsætningsforsøg, idet man har bestemt Sønderdelingshastigheden enten rent skønsmæssigt eller foretaget en kemisk kvantitativ Bestemmelse af Restcellulosen (*Harald R. Christensen, Charpentier, Barthel o. a.*). *Waksman og Heukelikian* (1924) har for nylig foreslaaet at benytte den ved Cellulosesønderdelingen producerede Kulsyremængde som Maal for Processens Intensitet, og Metoden med Anvendelse af »hængende Poser« maa siges at være særdeles

vel egnet til Serieundersøgelser af denne Art (sml. ogsaa Cellulosesønderdelingsforsøgene Side 649).

Endelig er der foretaget Forsøg med Tilsætning af Mannit, Druesukker og Rørsukker til forskellige Jordprøver (2 Lerjorder og 2 Sandjorder). Til de lufttørrede Jordprøver sættes $\frac{1}{2}$ pCt. CaCO_3 , 1 pCt. af de paagældende Kulstofforbindelser samt 3 cm^3 (pr. 25 g Jord) af en vandig Opløsning, indeholdende 0.2 pCt. $\text{NaNO}_3 + 0.5 \text{ pCt. K}_2\text{HPO}_4$. Resultaterne viser (sml. Tabel 18), at Forskellen mellem Rørsukker og Druesukker, der var saa udpræget i det ovenfor omtalte Forsøg, ikke er Udtryk for nogen almenyldig Regel. Derimod giver Druesukker ogsaa under Anvendelse af disse Jordprøver ved kortvarige Forsøg en stærkere Kulsyreudvikling end Mannit.

Tabel 18. Kulsyreproduktionen af 4 forskellige Jordprøver med Tilsætning af forskellige Kulstofkilder.

Jordprøvens Beskaffenhed	Jordprøvens Reaktionstal	Samlede Kulsyreproduktion (mg CO_2) pr. 25 g Jord					
		1 Døgn			3 Døgn		
		Mannit	Drue-sukker	Rør-sukker	Mannit	Drue-sukker	Rør-sukker
Lerjord	6.7	27.5	42.3	43.9	72.8	107.7	110.4
do.	5.2	43.2	57.6	54.5	133.6	176.0	163.2
Sandjord	7.5	12.2	28.8	31.2	101.1	132.7	142.9
do.	4.6	28.8	33.6	45.6	202.5	231.4	227.9

Som et Karaktertræk, der i det store og hele er fælles for Kurverne for de let sønderdelelige Kulstofforbindelser, maa fremhæves, at den stærkeste Stigning paa Kurven først indtræder efter 1—2 Døgns Forløb. Efter yderligere 2—3 Dages Forløb antager Kurven en fladere Karakter, efterhaanden som Nedbrydningen skrider frem (se Fig. 6). Dette er dog ikke ensbetydende med, at de tilsatte Kulstofforbindelser nu er nedbrudte helt til Kulsyre, idet nemlig en Del af de organiske Stoffer kun delvis sønderdeles under Dannelse af organiske Syrer eller andre Forbindelser, der kan danne Grundlaget for en videre Sønderdeling, eventuelt iværksat af en Mikroflora af anden Artssammensætning end den, der oprindeligt var fremherskende i den paagældende Jordprøve.

Til Belysning af dette Forhold har der været iværksat forskellige Undersøgelser. Eksempelvis skal nævnes et Forsøg med Tilsætning af $\frac{1}{2}$ pCt. Mannit ved en Fugtighedsgrad, svarende til henholdsvis 60 og 100 pCt. af Vandkapaciteten (sml. Tabel 11, II, Side 648). Efter 7 Døgns Forløb er CO_2 -Produktionen stærkt aftagende i Serien med 100 pCt. af Vandkapaciteten; paa dette Tidspunkt er i alt bestemt en Kulsyreproduktion paa 368 mg CO_2 , og en samtidig foretagen Titring med Kaliumpermanganat viser, at Mannitomsætningen praktisk talt er tilendebragt. Ved fuldstændig Forbrænding kan af den tilsatte Mannitmængde i alt produceres 725 mg CO_2 , og Forsøget viser altsaa, at kun 52,6 pCt. af den omsatte Mannitmængde er nedbrudt fuldstændig til Kulsyre. I Prøverne med mindre Vandindhold findes paa tilsvarende Maade en CO_2 -Produktion paa 228 mg CO_2 og en uomsat Mannitmængde paa 224 mg Mannit; følgelig er kun 57 pCt. af den omsatte Mannitmængde nedbrudt til Kulsyre.

Det vil af ovenstaaende fremgaa, at kortvarige Forsøg paa 2 Dage — saaledes som foreslaet af *Waksman* og *Starkey* (1924) — let vil kunne blive behæftet med en større eller mindre Usikkerhed, idet Kulsyrekurven paa dette Tidspunkt ofte udviser et Vendepunkt. Forsøgene bør helst fortsættes 5—6 Dage, indtil Kurven begynder at antage et fladere Forløb. Ved Forsøg af denne Varighed er Druesukker den bedst egnede Kulstofkilde, idet Kurven her i sin største Udstrækning omtrent forløber efter en ret Linie. Ønsker man en langsommere Sønderdeling, kan man som *Waksman* og *Henkelikian* (1924) fordelagtigt anvende Cellulose og en Forsøgstid paa 4—6 Uger.

Tabel 19. Sukkerkoncentrationens Indflydelse paa Kulsyreproduktionen.

Sukkerkoncentration, pCt.	mg CO ₂ pr. 50 g Jord										pH ved Forsøgets Afslutn.
	1 Døgn		2 Døgn		3 Døgn		5 Døgn		6 Døgn		
	Forøgelse	Sum	Forøgelse	Sum	Forøgelse	Sum	Forøgelse	Sum	Forøgelse	Sum	
0.25	72.8	—	43.1	115.9	18.9	134.8	19.0	153.8	7.1	160.9	6.72
0.50	73.0	—	85.5	158.5	60.5	219.0	40.2	259.2	12.1	271.3	6.75
1.00	71.9	—	86.5	158.4	67.3	225.7	114.1	339.8	51.0	390.8	6.27
2.00	62.8	—	87.6	150.4	70.1	220.5	120.5	341.0	121.8	462.8	4.40
4.00	23.6	—	97.5	121.1	80.3	201.4	120.4	321.8	96.8	418.6	4.30

Sluttelig er der foretaget en Undersøgelserække med varierende Druesukkerkoncentration. Hertil anvendtes en let Ler-muld, i hvilken den optimale Fugtighedsgrad tilvejebragtes under Anvendelse af en vandig Opløsning, indeholdende 0.2 pCt. NaNO_3 og 0.5 pCt. Na_2HPO_4 . Forsøgsresultaterne findes opførte i Tabel 19 (Side 663) og Fig. 8. En Tilsætning af 1 pCt. Drue-sukker er herefter den bedst egnede for en kraftig CO_2 -Produktion; ved lavere Koncentrationer aftager Kulsyreudviklingen

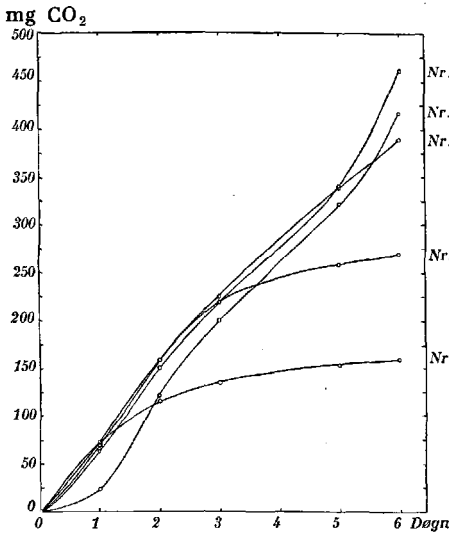


Fig. 8. Sukkerkoncentrationens Indflydelse paa Kulsyreproduktionen.

Nr. 1. 0.25 pCt. Nr. 2. 0.50 pCt.
Nr. 3. 1.00 pCt. Nr. 4. 2.00 pCt.
Nr. 5. 4.00 pCt.

allerede efter 2 (resp. 3) Døgns Forløb, og stærkere Koncentrationer virker skadeligt i Forsøgets første Dage. I de to Serier med størst Sukkerkoncentration indtræder efter 5 Døgns Forløb en bemærkelsesværdig Stigning af CO_2 -Produktionen. Da en pH -Maaling, foretaget den følgende Dag, viser en langt surere Reaktion i netop disse to Serier end i de øvrige, ligger det nær at formode, at den pludselige Stigning af Kulsyrekurven skyldes en Ændring i Mikrofloraen, idet Svampene, der trives bedst ved sur Reaktion, vinder Overhaand. Beregnes Kulsyreproduktionen procentvis af den tilsatte Kulstofmængde,

viser Forsøgene, at den laveste Sukkerkoncentration giver den relativt største Kulsyreproduktion, saaledes som ogsaa angivet af Mütterlein (sml. Löhnis, 1913, Side 350).

b. Kvælstofforbindelser. De i Jorden forekommende Kvælstofforbindelser repræsenterer alle mulige Stadier af Nedbrydning, fra Proteinstoffer af kompliceret Bygning, Aminosyrer o. s. v. til Nedbrydningsprocessernes Slutprodukt, Ammoniumforbindelserne, der af Salpeterbakterierne endelig iltes til Nitratforbindelser.

De forskellige Kvælstofforbindelsers Betydning for Kulsyre-

produktionen undersøgtes bl. a. ved Forsøg med Jord fra en nyanlagt Have med Tilsætning af 1 pCt. Druesukker + 0.5 pCt. Na_2HPO_4 . Ved Forsøgene med NaNO_3 , NH_4NO_3 og $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ gives Kvælstofforbindelserne i Form af en 0.2 pCt. vandig Opløsning, der tilsættes til samme Fugtighedsgrad i alle Forsøgsserierne. De 3 organiske Forbindelser tilsættes derimod i fast Form, saaledes at Jordprøverne med ensartet Vandindhold indeholder 0.1 pCt. af de paagældende Stoffer. Resultaterne fra de to Forsøgssækker, der altsaa ikke direkte lader sig sammenligne indbyrdes, er sammenstillede i Tabel 20. Det er især bemærkelsesværdigt, at Serien med Natriumnitrat giver en meget ringere CO_2 -Produktion end Serierne med Ammoniumforbindelserne.

Tabel 20. Kulsyreproduktionen under Anvendelse af forskellige Kvælstofkilder.

Tilsætning	Samlede Kulsyreproduktion (mg CO_2) pr. 50 g				
	1 Døgn	2 Døgn	3 Døgn	4 Døgn	6 Døgn
Natriumnitrat	43.9	135.5	225.6	279.6	409.0
Ammoniumnitrat	87.9	235.7	361.1	447.6	510.6
Ammoniumsulfat	74.0	202.8	315.4	376.3	411.3
Asparagin	96.3	228.7	340.8	436.0	538.3
Pepton	99.7	251.3	401.3	476.4	518.0
Casein	60.9	164.1	344.7	421.0	466.8

Til de i Tabel 21 sammenstillede Forsøg er anvendt saavel en Lerjord som en Sandjord med Tilsætning af 1 pCt. Druesukker og 1 pCt. CaCO_3 . Pr. 100 g Tørjord tilsættes endvidere 16 cm^3 (Lerjord) eller 14 cm^3 (Sandjord) vandig Opløsning af 0.5 pCt. K_2HPO_4 + de forskellige Kvælstofforbindelser, der i Forsøg I overalt er givet som en 0.2 pCt. vandig Opløsning, i Forsøg II derimod under Hensyntagen til det procentvise Kvælstofindhold, idet der drages Omsorg for, at alle Serier i dette Forsøg har et Kvælstofindhold, svarende til 18 (resp. 16) cm^3 0.2 pCt. Opløsning af NaNO_3 pr. 100 g Jord. Forsøgene viser, at den ovenfor konstaterede Forskel m. H. t. de uorganiske Kvælstofforbindelser fortrinsvis maa føres tilbage til det forskellige procentvise Indhold af Kvælstof.

Tabel 21. Kulsyreproduktionen af forskellige Jordprøver under Anvendelse af forskellige Kvælstofkilder.

Forsøgs-nummer	Jordprøvens Beskaffenhed	Tilsatte Kvælstof-forbindelser	Samlede Kulsyreproduktion (mg CO ₂) pr. 50 g		
			1 Døgn	2 Døgn	3 Døgn
I.	Lerjord do. do.	NaNO ₃	74.1	161.7	227.9
		(NH ₄) ₂ SO ₄	77.8	179.4	264.4
		NH ₄ NO ₃	82.1	218.6	311.0
	Sandjord do. do.	NaNO ₃	41.0	145.5	262.6
		(NH ₄) ₂ SO ₄	58.7	166.7	286.0
		NH ₄ NO ₃	59.6	212.8	338.3
II.	Lerjord do. do.	NaNO ₃	74.1	161.7	227.9
		(NH ₄) ₂ SO ₄	74.7	150.3	216.9
		NH ₄ NO ₃	74.6	156.8	224.5
	Sandjord do. do.	NaNO ₃	41.0	145.5	262.6
		(NH ₄) ₂ SO ₄	57.3	149.4	248.5
		NH ₄ NO ₃	58.4	148.6	243.3

Virksomheden af NaNO₃ i vekslende Koncentrationer er undersøgt ved Forsøg med en Agerjord + 1 pCt. Druesukker. Til 150 g Tørjord er sat 24 cm³ vandig Opløsning af de i Tabel 22 anførte Koncentrationer, hvorefter der som sædvanlig udvejes Portioner à 50 g. — Den til Forsøgene bedst egnede Koncentration opnaas aabenbart under Anvendelse af en

Tabel 22. Kulsyreproduktionen ved forskellige Nitratkoncentrationer.

Nitrat-koncentration, pCt.	Samlede Kulsyreproduktion (mg CO ₂) pr. 50 g Jord				Reaktionstal		
	1 Døgn	3 Døgn	5 Døgn	7 Døgn	Ved Forsøgets Begyndelse	4 Døgn	7 Døgn
0	34.5	106.6	197.9	298.4	6.32	4.66	5.80
0.02	35.6	123.0	220.5	324.6	6.32	4.80	5.85
0.05	36.7	152.3	267.9	367.7	6.29	4.62	6.10
0.10	36.9	185.7	329.3	406.1	6.27	5.10	6.49
0.20	35.3	217.9	387.9	437.5	6.22	6.07	6.90
0.50	32.8	221.0	383.2	438.8	6.25	7.13	7.34
1.00	28.9	217.4	—	417.5	6.09	—	7.15
2.00	16.2	189.8	—	399.7	5.95	—	6.56

Opløsning paa 0.2 eller 0.5 pCt. — ved lavere Koncentrationer aftager Kulsyreproduktionen allerede efter et Par Dages Forløb, og stærkere Koncentrationer nedsætter Kulsyreproduktionen i Forsøgets første Dage (sml. ogsaa Fig. 9). Forsøgene viser saaledes Kvælstofforbindelsernes Betydning for en livlig Sønderdelingsproces og er altsaa i god Overensstemmelse med Forsøg af *van Suchtelen* (1910), *Fred* og *Hart* (1915), *Barthel* (1923) o. a.

Efter 7 Dages Forløb viser en kolorimetrisk Nitratbestemmelse, der foretages efter Sammenblanding af Parallelprøverne, at hele den tilsatte Nitratmængde er forsvundet i Serieerne med mindste Nitrattilsætning. I Serien 0.5 pCt. fandtes dog 0.13 mg Nitratkvælstof pr. 50 g Jord og i de to følgende Serier henholdsvis 4.5 og 17.5 mg.

Efter 4 Døgn's Forløb er der udtaget Prøver til Reaktionsmaaling, og endelig er Reaktionen maalt ved Forsøgets Afslutning. Resultaterne viser gennemgaaende, at Reaktions-tallet under Forsøget falder i Serieerne med laveste Nitratindhold, men stiger ved stærkere Salpeterkoncentration. Den sure Bestanddel af de tilsatte Salte forbruges efterhaanden under Forsøget, og den basiske Bestanddel, der ikke eller kun i ringere Grad inddrages i Stofomsætningen, vil derfor forrykke Reaktions-tallet i alkalisk Retning. En Del af disse basiske Bestanddele vil dog bindes af de ved Kulstoffets Sønderdeling opstaaede sure Nedbrydningsprodukter; i Serieerne med den ringe Salpetertilsætning har de basiske Bestanddele ikke formaaet at neutralisere sidstnævnte Stoffer, og i Overensstemmelse hermed ser vi efter 4 Døgn's Forløb en absolut set ret betydelig Formindskelse af Reaktions-tallet i disse Serier. Ved en Fortsættelse af Forsøget forbrændes en Del af disse organiske Forbindelser; den basiske Bestanddel bliver atter frigjort, og Reaktions-tallet stiger paany. Naar vi i Serieerne med 1.0 og 2.0 pCt. NaNO_3 træffer surere Slutningsreaktion end i Serien med 0.5 pCt., maa det

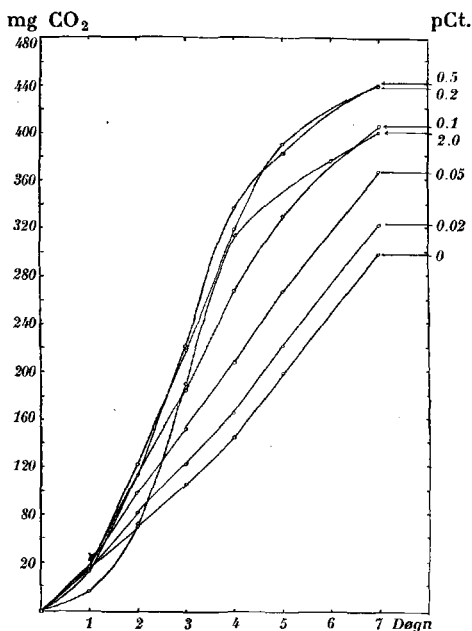


Fig. 9. Kulsyreproduktionens Afhængighed af Nitratkoncentrationen.

erindres, at den større Salpetertilsætning jo allerede fra Forsøgets første Dage har medført en langt surere Reaktion i disse Serier; ogsaa her er Reaktionstallet dog steget betydeligt under Forsøget.

c. Fosforsyre. De forskellige Fosfaters Anvendelighed undersøgtes ved følgende Metodik: Til 100 g Kwartssand sættes 1 g Druesukker samt 10 cm³ af en vandig Opløsning, indeholdende 0.2 pCt. NH₄NO₃, 0.1 pCt. MgSO₄ og 0.1 pCt. KCl. Hertil sættes 0.2 g af de paagældende Fosfater, hvorefter Sandet yderligere »podes« ved Tilsætning af 1 cm³ filtreret Opslemning af Havejord, hvorpaa Sandet fordeles paa sædvanlig Maade i Metaltraadsposeerne med 50 g i hver. Samtidig foretages et Kontrollforsøg med Sand, men uden Fosfattilsætning. Forsøgsresultaterne (se Tabel 23) stemmer i Hovedsagen ret nøje med, hvad der i Forvejen er bekendt m. H. t. disse Fosfaters Gødningsværdi og Opløselighed (sml. *Harald R. Christensen*, 1924). Man bemærke især Forskellen mellem de 5 første Forsøgsserier og de følgende Serier med Raafosfater.

Tabel 23. Kulsyreproduktionen ved Tilsætning af forskellige Fosfater.

Fosfatpræparat	Samlede Kulsyreproduktion (mg CO ₂)				
	2 Døgn	3 Døgn	4 Døgn	5 Døgn	6 Døgn
Ca ₃ (PO ₄) ₂	48.1	—	160.0	222.4	282.2
Na ₂ HPO ₄	48.1	—	150.1	192.3	226.2
Benmel	37.9	—	157.2	197.8	226.7
Suprafosfat	50.0	89.6	133.8	167.2	194.7
Thomasfosfat	49.1	84.7	125.8	162.1	193.7
Gafsafosfat	17.1	—	43.5	90.2	146.9
Fosforit	15.6	30.7	55.1	85.9	129.7
Algierfosfat	20.1	—	56.3	86.5	125.2
Apatit	12.5	22.2	40.8	64.6	93.5
Blindbestemmelse	12.6	—	23.8	39.8	58.7

Til Koncentrationsundersøgelsen benyttedes en Jord fra Forsøgsstationen ved Tystofte, der ved Markforsøg har vist sig at være tydelig fosforsyretrængende. Til 150 g Tørjord blev sat 1 pCt. Druesukker samt 24 cm³ Na₂HPO₄ i vandig Opløsning af vekslende Koncentration. Forsøgene viser (sml. Tabel 24, I), at Fosfatkoncentrationen inden for ret vide Grænser synes at være uden væsentlig Betydning. Den lille

Forøgelse af Kulsyreproduktionen, der viser sig i 2—4 Døgn, kan skyldes en af Fosfattilsætningen forårsaget Reaktionsændring; Forsøget fortsættes derfor med Anvendelse af Fosfatkoncentrationer paa 1.0 og 2.0 pCt., idet der ved Fosfatblandingen drages Omsorg for, at Begyndelsesreaktionen i disse Serier er nogenlunde den samme som i Kontrolserien uden Fosfattilsætning. Kulsyreproduktionen er nu praktisk talt ens i Serierne med og uden Fosfattilsætning (sml. Tabel 24, II). Først i 7. Døgn findes et mindre Udslag for Fosfattilsætning.

Tabel 24. Forsøg med varierende Fosfatkoncentration.

Benyttede Fosfat- koncen- tration, pCt.	Samlede Kulsyreproduktion (mg CO ₂) pr. 50 g Jord					Reaktionstal			
	1 Døgn	2 Døgn	4 Døgn	5 Døgn	7 Døgn	Ved Forsøgets Begyndelse	4 Døgn	7 Døgn	
I. {	0.00 ¹⁾	30.6	66.3	139.0	196.1	—	6.32	—	5.75
	0.01	33.9	71.6	143.8	197.7	300.1	—	4.79	5.81
	0.02	34.1	72.9	143.0	190.2	293.8	—	4.80	5.64
	0.05	34.9	75.4	147.2	195.2	299.0	—	4.92	5.82
	0.10	34.9	74.1	145.3	189.5	293.0	—	4.96	5.79
	0.20	35.7	75.8	145.4	190.2	293.3	6.56	5.16	5.88
	0.50	37.3	79.6	156.4	198.0	298.6	6.81	5.91	5.91
II. {	1.00	31.5	67.2	140.2	195.0	347.0	6.29	—	5.91
	2.00	29.7	65.5	136.3	186.4	326.5	6.23	—	6.05

Disse Resultater synes ikke helt at være i Overensstemmelse med tidligere Undersøgelser — saaledes angiver f. Eks. *van Suchtelen* (1910), at en Tilsætning af 0.1 g Superfosfat pr. 100 g Jord forøger Kulsyreproduktionen til det dobbelte. Hertil skal dog bemærkes, at mange af de tidligere Forsøg ikke lader sig sammenligne med det ovenfor nævnte, idet de dels er anstillede under andre Forsøgsbetingelser (uden Kulstof-tilsætning), dels under Anvendelse af udpræget fosforsyrefattige, raa Jordbundsformer. Som det vil fremgaa af en senere Meddelelse, er man under saadanne Forhold meget vel i Stand til at konstatere et større eller mindre Udslag for Fosfat-tilsætning.

¹⁾ Denne Forsøgsserie samt 1. Serie i Tabel 22 er samtidig benyttet til Belysning af Muligheden af at reproducere Kulsyrekurven. — Sml. i øvrigt Tabel 10, Side 645.

d. Kali. Til disse Forsøg anvendtes en Jord fra Forsøgsstationen ved Blangsted, der ved Markforsøg har vist sig at være kalitrængende. Til 100 g Tørjord blev sat 1 pCt. Druesukker samt 15 cm³ vandig Opløsning, indeholdende 0.2 pCt. NaNO₃, 0.5 pCt. Na₂HPO₄ ± 0.2 pCt. Kalisalte. Af Tabel 25 fremgaar det, at Kalitilsætningen har været fuldstændig virkningsløs.

Tabel 25. Forsøg med Kalisalte.

Tilsætning	Samlede Kulsyreproduktion (mg CO ₂) pr. 50 g Jord				
	1 Døgn	2 Døgn	3 Døgn	5 Døgn	7 Døgn
÷ K.....	43.3	132.1	210.8	332.1	390.4
0.2 pCt. KCl.....	38.9	125.8	198.3	319.6	384.1
0.2 pCt. K ₂ SO ₄	40.0	131.1	213.4	341.5	382.7

I et nyt Forsøg med samme Jord varieredes Kalikoncentrationen: pr. 100 g Tørjord tilsættes 1 g Druesukker samt 15 cm³ af en vandig Opløsning, indeholdende 0.2 pCt. NH₄NO₃, 0.5 pCt. Na₂HPO₄ samt K₂SO₄ i de i Tabel 26 angivne vekslende Koncentrationer. Selv i relativt stærke Koncentrationer synes Kalitilsætningen at have været virkningsløs. Udslaget ved Tilsætning af 0.05 pCt., der iagtages allerede efter 1 Døgn's Forløb, er for ringe til at betragtes som helt sikkert.

Tabel 26. Forsøg med kalitrængende Jord fra Forsøgsstationen ved Blangsted.
Varierende Kalikoncentration.

Kali- koncen- tration, pCt. K ₂ SO ₄	Hovedforsøg							Efterperiode	
	mg CO ₂ pr. 50 g Jord						pH efter 7 Døgn	mg CO ₂ pr. 50 g Jord	
	1 Døgn	2 Døgn	3 Døgn	4 Døgn	5 Døgn	7 Døgn		1 Døgn	2 Døgn
0.00	45.9	163.4	306.0	368.8	399.2	433.4	7.81	75.5	158.9
0.05	56.4	175.6	313.7	382.6	419.1	462.2	7.22	321.4	543.1
0.10	46.6	164.4	271.0	353.7	407.5	459.3	7.64	268.3	624.6
0.20	47.4	166.1	267.4	344.5	393.2	443.3	7.59	211.4	594.6
0.50	50.4	167.9	284.4	358.0	395.3	439.1	7.00	317.7	530.8
1.00	48.1	164.5	294.5	362.2	394.1	429.4	6.80	326.4	564.6

Efter 7 Døgn's Forløb standses Hovedforsøget — der udtages mindre Fællesprøver til Reaktionsbestemmelsen og efter Tilsætning af 1 pCt. CaCO_3 og fornyet Sammenblanding med 1 pCt. Druesukker paabegyndes Forsøget paany. Det viser sig nu, at i denne ny Forsøgsperiode er Udslagene for Kalitilsætning ganske overordentlig fremtrædende (sml. Tabel 26, Efterperiode). Om der i Hovedforsøget har været benyttet en stor eller lille Kalikoncentration, synes at være ret betydningsløst. Serien med 0.10 pCt. K_2SO_4 , der i Hovedforsøget udviser mindre Uregelmæssigheder i Sammenligning med de øvrige Serier, giver ogsaa i Efterperioden et lidt afvigende Resultat.

Talrige tidligere Forfattere har søgt ad biologisk Vej at skaffe et Udtryk for Jordens Indhold af Fosforsyre- eller Kaliforbindelser i en for Planterne let tilgængelig Form. Ogsaa Forsøg vedrørende Jordens Kulsyreproduktion har under forskellig Form været inddraget i disse Bestræbelser, uden at det dog hidtil er lykkedes at finde en tilfredsstillende Løsning paa Problemet. Muligvis vil man kunne naa tilfredsstillende Resultater under Anvendelse af de ovenfor omtalte Udpiningsforsøg. Skønt vi ved disse Forsøg endnu befinder os paa et famlende Begyndelsesstadium, synes de hidtil indvundne Resultater dog at berettigge et fortsat Arbejde i samme Spor. I en følgende Meddelelse vil de forskellige Former, under hvilke Kulsyreproduktions-Forsøgene kan tænkes udførte for at give Oplysning om en given Jordprøves Frugtbarhedstilstand, blive gjort til Genstand for en systematisk gennemført Undersøgelse. Det tør da haabes, at disse Metoder vil kunne supplere de hidtil anvendte kemiske Analyser til Bestemmelse af det, der er det endelige Formaal med den landøkonomiske Jordbundsforskning — Jordens Næringsstofforraad og Vækstbetingelser for de højere Planter.

Litteratur.

En fuldstændig Litteraturfortegnelse vil blive offentliggjort i en følgende Beretning, dannende Fortsættelse og Afslutning af nærværende Arbejde. — Af Hovedværker fra nyere Tid skal her foreløbig henvises til:

1. *Bornemann, F.*: Kohlensäure und Pflanzenwachstum, Berlin 1920.
 2. *Gainey, P. L.*: Parallel Formation of Carbon Dioxide, Ammonia and Nitrate in Soil. *Soil Science*, 1919, VII, S. 293.
 3. *König, J.* og *Hasenbäumer, J.*: Die Bedeutung neuer Bodenforschungen für die Landwirtschaft. *Landwirtschaftliche Jahrbücher*, 55, 1921, S. 185.
 4. *Lundegårdh, H.*: Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur. Jena 1924.
 5. *Lundegårdh, H.*: Über die Kohlensäureproduktion und die Gaspermeabilität des Bodens. *Arkiv för Botanik*, Bd. 18 (Nr. 13) 1923, S. 1.
 6. *Potter, R. S.* og *Snyder, R. S.*: Carbon Dioxide Production in Soils and Carbon and Nitrogen Changes in Soils variously treated. *Agricultural Experiment Station, Iowa State College of Agriculture and Mechanical Arts, Agronomic Section, Research Bulletin Nr. 39*, Iowa 1916.
 7. *Reinau, E.*: Kohlensäure und Pflanzen. Halle 1920.
 8. *Romell, Lars-Gunnar*: Luftväxlingen i Marken som ekologisk Faktor. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt*, Häfte 19, Nr. 2, Stockholm 1922.
 9. *Russell, J.* og *Appleyard*: The Atmosphere of the Soil: Its Composition and the Cause of Variation. *Journal of Agricultural Science*, VII, 1925, S. 1.
 10. *Stoklasa, J.* og *Dorell, E. G.*: Handbuch der biophysikalischen und biochemischen Durchforschung des Bodens. Berlin 1926.
 11. *Van Suchtelen, F. H. H.*: Energetik und die Mikrobiologie des Bodens. *Centralblatt für Bakteriologie*, II. Abt., Bd. 58, 1923, S. 413.
 12. *Waksman, Selman* og *A. Starkey, Robert L.*: Microbiological Analysis of Soil as an Index of Soil Fertility; VII. Carbon Dioxide Evolution, *Soil Science* XVII, 1924, S. 141.
 13. *Waksman, Selman A.* og *Heukelikian, O.*: Microbiological Analysis of Soil as an Index of Soil Fertility; VIII. Decomposition of Cellulose. *Soil Science* XVII, 1924, S. 275.
-