UITVOERIG VERSLAG NR 2

BEWERKING EN VRUCHTBAARHEID VAN DROGE BOSGRONDEN

With a summary:

DEEP CULTIVATION AND THE PRODUCTION CAPACITY OF DRY SANDY FOREST SOILS

door

C.P. van Goor

INHOUD

	Blz.
Inleiding en probleemstelling	55
Hoofdstuk I Objecten en methodiek van onderzoek	58
Hoofdstuk II De invloed van de grondbewerking op het gehalte aan organische stof	60
Hoofdstuk III De invloed van de grondbewerking op de stikstof- en fosfaathuishouding	67
Hoofdstuk IV De invloed van de grondbewerking op de waterhuishouding en de structuur	77
Hoofdstuk V De invloed van de grondbewerking op de morphologie van het profiel	83
Samenvatting en conclusies	87
Summary	91
Literatuur	95

INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING

Bij de beoordeling van de betekenis van de grondbewerking voor de verjonging wordt in de bosbouw algemeen een bedrijfstechnisch en economisch standpunt ingenomen. Als maatstaf geldt het welslagen van de cultuur en het bereiken van een snelle sluiting. Wagenknecht (54) komt op grond van vergelijkend groeionderzoek op proefvelden van vijf verschillende methoden van grondbewerking binnen 6 jaar na de aanleg tot de conclusie, dat de volle grondbewerking de voorkeur heeft boven iedere andere. Op dezelfde wijze komt Hilf (17) tot een gelijkluidende conclusie.

Als criterium wordt door beide onderzoekers de groei van de jonge bomen aangenomen. Het is duidelijk, dat een beoordeling als deze eenzijdig, en derhalve onvolledig is. De groei van een jonge cultuur wordt immers in belangrijke mate bepaald door de ontwikkeling van een concurrerende bodemflora. Deze flora wordt door een vollegrondsbewerking het meest effectief bestreden. Het is zeker niet waarschijnlijk, dat de aanvankelijk snelle jeugdgroei ook in de toekomst door zal zetten. Die gevallen, waarbij een werkelijke boniteitsstijging is vast te stellen, zijn bijna steeds terug te brengen op regeneratie van gedegradeerde gronden (Wittich 57, Aaltonen 1).

Een beoordeling van de grondbewerking is eerst volledig, als deze in overeenstemming is met de eigenschappen van de groeiplaats. Wanneer als criterium voor een al dan niet diepe grondbewerking het voorkomen van physiologisch storende lagen in het bodemprofiel - oerbank, leembank, grintbank enz. - wordt aangenomen, dan is dit in principe volkomen juist (Jansen 23, Wittich 57). Toch wordt aan dit ecologische, biologische en physiologische aspect van de grondbewerking weinig aandacht geschonken. De aanwezigheid van sterk verwilderde kaalkapterreinen, de duurte van plantsoen en arbeidskrachten, de snelle jeugdgroei en sluiting, de eenvoudigheid van het systeem, het practisch steeds aanwezige, onmiddellijke, bedrijfssucces en de vergaande mechanisatie hebben in Nederland de belangstelling van de practische bosbouwer voor de intensieve grondbewerking sterk doen toenemen. Hiervan getuigen de groots opgezette landelijke demonstraties en de publicaties op dit gebied (Houtzagers 20, Tromp 53, Van den Ban 2, Bakker Arkema 3). Ook in het buitenland is de belangstelling, vooral in verband met de resultaten bij de grovedennen- en eikencultuur, voor de intensieve vollegrondsbewerking groeiende (Rubner 45, Lübisch 28).

Slechts incidenteel is, zowel van de zijde van de practijk als van de zijde van het onderzoek, de aandacht gevestigd op de gevaren, die het veronachtzamen van de eigenschappen van de groeiplaats bij de beoordeling van de grondbewerking in zich bergen. Hierbij wordt gewezen op het veelvuldig voorkomende verschijnsel, dat de aanvankelijk krachtige jeugdgroei na enkele tientallen jaren door groeistoomissen en soms calamiteiten wordt gevolgd. De oorzaak hiervan is bijna steeds gelegen in de intensieve grondbewerking.

Zo zegt Van 't Hof (18 en 19), dat elke wijze van bodemvoorbereiding, die een onnatuurlijk krachtige groeisnelheid van welke houtsoort dan ook ten gevolge heeft, als onjuist is te beschouwen. Hij illustreert deze stelling met demonstratieve voorbeelden, aan de practijk ontleend. Ook Mulder (32, 33, 34, 35) spreekt zich om dezelfde reden uit tegen diepe grondbewerking. Houtzagers (20) ziet als oorzaak van een sterke verwildering vaak een onjuiste grondbewerking en beveelt oppervlakkige bewerking aan. Dengler (10) wijst op de langjarige ervaring van grovedennenbedrijven in Noord-Duitsland, die nooit enige grondbewerking toepasten en acht wetenschappelijk onderzoek, dat op dit gebied nog weinig is uitge-

voerd, van groot belang. Het spreekt vanzelf, dat de hier aangehaalde uitspraken alleen betrekking hebben op gronden, waarin geen physiologisch storende lagen voorkomen. Tamm (51) verrichtte een uitgebreid onderzoek betreffende de verbetering van arme zandgronden. Op grond hiervan komt hij tot de conclusie, dat te sterke activering van de grond door intensieve bewerking, op de duur schadelijk voor bodem en opstand is. In de Scandinavische landen vindt de bodemvoorbereiding door middel van oppervlakkige verwonding dan ook steeds uitgebreider toepassing (Callin 8, Carlquist 9, Bjorkhem 5). In ons land is het Geerling (14), die bij het ontwerpen van werktuigen steeds de eis van oppervlakkige verwonding van de open gronden als richtlijn houdt.

Van wetenschappelijke zijde zijn het Wittich (56) en Burger (7) geweest, die zich met het probleem van de intensieve grondbewerking hebben bezig gehouden. In het bijzonder zijn de onderzoekingen van Wittich voor ons in Nederland van belang, omdat deze betrekking hebben op hetzelfde type zandgronden als die van het gestuwd praeglaciaal. De neiging tot verwildering met *Deschampsia flexuosa* is echter in het door Wittich onderzochte gebied ernstiger.

De conclusies waartoe Wittich na zijn onderzoekingen komt zijn veelzijdig. Zo stelt hij vast, dat door de intensieve grondbewerking, bekend onder de naam "Vollumbruch-Hohenlübbichow", meer voedingsstoffen mobiel worden gemaakt dan door de opstand kunnen worden opgenomen, zodat uitspoeling plaats heeft. De aanvankelijk veel sterkere groei van de opstanden op volbewerkte gronden, daalde daardoor reeds na 12 jaar beneden die van opstanden op oppervlakkig en partieel bewerkte gronden. Hoewel zijn onderzoekingen geen ongunstige invloed van de intensieve bewerking aanwijzen, komt Wittich, wegens het ontbreken van enig duurzaam effect, tot een afwijzing van de op Hohenlübbichow toegepaste, intensieve vollegrondsbewerking. Alleen de aanwezigheid van physiologische storingen, zoals vaste lagen, rechtvaardigen een diepe en intensieve bewerking, die tot doel heeft deze storingen op te heffen.

Het standpunt, dat door de Nederlandse bosbouwers ten aanzien van het probleem van de grondbewerking wordt ingenomen, is geenszins uniform. Het is daarom gewenst, dat hierin klaarheid wordt verschaft door middel van objectief onderzoek. Het probleem ware nu zó te stellen, *dat* slechts dàn *een voorbereiding van de grond juist en verantwoord is, wanneer de vruchtbaarheid onder invloed van die voorbereiding niet aan duurzaamheid inboet. Een versterkte mobilisatie van voedingsstoffen, die niet gepaard gaat met een vergrootte opname door de vegetatie - opstand en bodemflora -, brengt een verarming van de grond met zich mede en wijst op een te intensieve bewerking.* Het niveau van de voedingsstoffenomloop wordt dan als het ware te sterk verhoogd.

Het principe van het aldus gestelde probleem komt geheel overeen met de door Van 't Hoff (18) geponeerde stelling, dat iedere bodembewerking die een te sterke jeugdgroei van de jonge opstand ten gevolge heeft, niet juist is.

Uiteraard is een dergelijk vruchtbaarheidsonderzoek aan de hand van opbrengstgegevens niet of zeer moeilijk uit te voeren. Het bestaan van objecten, waarvan de groeiprestaties steeds werden bijgehouden, moet ernstig worden betwijfeld. Bovendien zijn ook houtteeltkundige factoren, zoals herkomst van het zaad, aanleg en behandeling van storende invloed. Daarentegen is het mogelijk de vruchtbaarheid van de grond uit te drukken als een functie van de constante en variabele factoren. Deze laatsten veranderen onder invloed van de behandeling van de groeiplaats en zijn optimaal ontwikkeld onder natuurlijke omstandigheden.

Variaties in vruchtbaarheid van bodemtypen met nagenoeg overeenstemmende

constante factoren worden bepaald door de variabele factoren (Van Goor 15). Door nu bewerkte en onbewerkte bosgronden vergelijkend te onderzoeken, waarbij voldaan moet worden aan de voorwaarde, dat vóór de bewerking de bodemtoestand overal gelijkwaardig was, is het mogelijk de invloed van de bewerking op de vruchtbaarheid vast te stellen. Dit is het doel van de hiema volgende studie, die uiteraard beperkt is tot die gronden, die geen physiologisch storende lagen in de ondergrond bezitten of onder invloed van het grondwater staan.

Objecten en methodiek van onderzoek

De aanwezigheid van een voor de opstand physiologisch ondoordringbare ondiepe laag in het bodemprofiel, meestal in de vorm van een oerbank, is zonder twijfel een criterium voor de noodzaak van intensieve en diepe grondbewerking, die tot doel heeft de physiologische storing in het profiel op te heffen. Het bewortelingsvolume van de grond wordt door het breken van een dergelijke laag voor zeer lange tijd - in gevallen van degradatie van een oorspronkelijk bankvrije grond zelfs duurzaam - vergroot. Derhalve is daar een duurzame vruchtbaarheidsstijging te verwachten. Grondbewerking is onder deze omstandigheden altijd op haar plaats. Het ligt dan ook niet in de bedoeling, de invloed van de bewerking op dit soort bodemtypen te bestuderen. Het zijn in tegendeel de open, droge zandige bosgronden, die het onderwerp van deze studie vormen. De intensieve grondbewerking, toegepast om een eventuele verwildering effectief te bestrijden en een snelle jeugdontwikkeling van de opstand te bevorderen, treft men hier nog vrij algemeen aan, zonder dat de invloed van die bewerking op de duurzame instandhouding van de vruchtbaarheid bekend is.

De objecten, waaraan dit onderzoek wordt uitgevoerd, en waarvan de algemene gegevens in tabel 1 zijn vermeld, dienen aan een aantal voorwaarden te voldoen:

a. De objecten moeten zoveel mogelijk op met elkaar overeenkomende bodemtypen gelegen zijn. Immers, de vruchtbaarheid, die het object van het onderzoek vormt, is een functie van de constante en variabele factoren. Zijn nu de constante factoren gelijk - overeenkomende bodemtypen, die gekarakteriseerd zijn volgens de korrelgrootte - dan is de invloed van de grondbewerking op de vruchtbaarheid uit te drukken als een functie van de variabele factoren. In tabel 2 zijn een aantal granulaire samenstellingen als de belangrijkste constante factoren van enkele karakteristieke objecten gegeven.

Het bodemtype, waartoe het onderzoek werd beperkt, is een matig diepe droge middelkorrelige zandgrond met een bijmenging van afslibbaar van ten hoogste 9%.

b. De toestand van de bewerkte gronden moet vóór de bewerking gelijk zijn aan die van de onbewerkte gronden. Door de objecten zoveel mogelijk te kiezen in de gebieden waar steeds bos is geweest, kan met aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid worden aangenomen, dat vóór de bewerking, die veelal 50 à 100 jaar geleden plaats vond, de vruchtbaarheid gelijk was aan die van de onbewerkte grond.

c. Het niet meer in gebruik zijn van de diepe grondbewerking van ongeveer 100 cm, zoals deze vroeger bij hakhoutculturen werd toegepast, sluit op deze wijze bewerkte gronden voor onderzoek uit. Als standaardmaat voor de diepte van bewerking is rond 50 cm aangenomen.

d. De voorwaarde van uniformiteit in houtsoortenkeuze en opstandsbehandeling is niet van doorslaggevende betekenis. Niettegenstaande dit, is gestreefd naar gelijkvormigheid. De invloed van de houtsoort op de vruchtbaarheid van de grond is echter, vergeleken met die van de bewerking, gering. De houtsoorten, die op de bewerkte gronden staan, zijn hoofdzakelijk inlandse eik, Amerikaanse eik, lariks, groveden en beuk. De onbewerkte gronden zijn alle bezet met inlandse eik en beuk.

e. Het aantal objecten dient, als basis voor een nauwkeurige vergelijking, voldoende groot te zijn, In totaal werden 50 objecten onderzocht, waarvan er 25 onbewerkt en 25 bewerkt zijn.

De methodiek van het veldonderzoek omvat het graven van een profielkuil op een plaats, die, na oriënterende grondboringen, als representatief voor het geheel geldt. Aan de hand hiervan wordt een beschrijving van het profiel gemaakt en worden monsters van de verschillende horizonten genomen.
In deze monsters zijn geanalyseerd:

A. constante factoren
   1. granulaire samenstelling

B. variabele factoren
   2. gehalte aan organische stof
   3. stikstofgehalte
   4. fosfaatgehalte
   5. zuurgraad
   6. watercapaciteit
   7. stabiliteit van de structuur.

In het veld werd tevens aan een aantal objecten, welke uitsluitend bezet zijn met inlandse eik, de biologische bodemactiviteit bepaald.

Een gedeelte van de analyses werd uitbesteed aan het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek, en wel de analyse van de granulaire samenstelling, volgens de aldaar gebruikelijke zeefpipetmethodiek, en het onderzoek van de fosfaatgehalten. Het gehalte aan totaal fosfaat is bepaald door extractie met Lemmermannzuur. Het oplosbare fosfaat is geëxtraheerd met 1% citroenzuur. De overige bepalingen zijn op het laboratorium van het Bosbouwproefstation verricht.

Aangezien het gehalte aan anorganische colloiden laag is en de gehalten aan organische stof algemeen beneden de 8% zijn gelegen, is een bepaling van deze organische stof - uitgedrukt in gewichtsprocenten ten opzichte van de luchtdroge grond - door gloeiverlies voldoende betrouwbaar. Alle bepalingen zijn dan ook volgens deze methode uitgevoerd. Voor de stikstofanalyse is, ter verkrijging van grotere homogeniteit van het monster, de grond voor de analyse gezeefd op 1 mm. In het gezeefde monster is aan 1 gram een microchemische totaal-stikstofbepaling uitgevoerd volgens de micro-methode Kjeldahl-Lauro.

De zuurgraad is vastgesteld langs electrometrische weg met behulp van de glaselectrode.

Het structuuronderzoek - watercapaciteit en stabiliteit - vond plaats volgens de door Peerlkamp (41) toegepaste methodiek. De watercapaciteit - het vermogen van de grond om water vast te houden - is bepaald door afzuiging van een geheel met water verzadigd monster bij een pF = 2,7. Het op dat punt aanwezige water, in volumeprocenten uitgedrukt, is de hier gebruikte grootheid (Scofield 47). De stabiliteit van de structuur, bepaald volgens de natte aggregaatanalyse, wordt aangegeven door het gewichtspercentage waterstabiele aggregaten van 0,6 - 4,8 mm (Peerlkamp 41).

De biologische bodemactiviteit is vastgesteld met behulp van de treksterktemethode van Richard, waarbij kunstzijden draden in de grond worden geregen en op hun verteringsgraad worden getoetst (Richard 44).

HOOFDSTUK II

De invloed van de bodembewerking op het humusgehalte in de grond

Het begrip humus wordt in de bosbouw op zoveel verschillende wijzen en met evenveel verschillende benamingen gebruikt, dat terecht van begripsverwarring kan worden gesproken. Lutz en Chandler (29) zien hiervan als voornaamste oorzaak een niet geregelde nomenclatuur, een gebrek aan kennis van de omzettingsprocessen en de verschillende bases van classificatie. Bij de bestudering van de bewerking op het humusgehalte van de grond is een inleidende bespreking over de vraag, wat onder "humus" moet worden verstaan en hoe deze humus uit het ruwe organische materiaal is gevormd, zeer zeker op haar plaats.

Voordat de moderne humuschemie meer licht bracht in de omzettingsprocessen bij de humusvorming, heeft men de humusclassificatie vooral langs morphologische weg trachten op te lossen. Een der eersten op dit gebied was P.E. Müller (36), die, in zijn klassieke werk over de humus, de lang gehandhaafde termen "Mull" en "Mor" invoerde. Mull (mull, milder humus, incorporated humus) is die humusvorm, waarbij het organische materiaal als regel gemengd is met de minerale grond, terwijl mor (Auflagehumus, unincorporated humus) aangeeft, dat het organische materiaal niet gemengd is, maar als een vreemd en scherp afgegrensd lichaam op de minerale grond ligt. In Nederland heeft men overeenkomstig de morphologische indeling de begrippen milde en zure humus ingevoerd. Afgezien nu van het feit, dat de beide termen milde en zure humus veelal ten onrechte worden gebruikt en dat de voor de vruchtbaarheid van de grond zeer belangrijke humus-kleiverbindingen en humus-ijzerverbindingen worden verwaarloosd, heeft de moderne humuschemie zich zodanig ontwikkeld, dat deze morphologische indeling niet geheel meer aan de eisen voldoet.

Het uitgangspunt van de humusvorming is het gezamenlijke verse organische materiaal, dat door de vegetatie en het ephadon aan de bodem wordt toegevoegd. Het grootste aandeel wordt in de bosbouw geleverd door de jaarlijks afvallende bladeren en naalden en de afstervende bodemflora, waarvan de totale jaarlijkse productie onder Nederlandse omstandigheden op de droge bosgronden 4 tot 8 ton per ha bedraagt. Het ruwe materiaal wordt, zolang er geen omzettingen in plaats hebben, "strooisel" genoemd. Dit is een reeds lang ingevoerde en juiste benaming. De belangrijkste componenten van dit materiaal - lignine, cellulose, hemicellulosen en eiwitten - vormen de grondstoffen voor de humusvormende processen (Van der Drift 11). De omzetting van het strooisel, dat meestal spoedig na de bladval begint, kan plaats hebben langs twee verschillende wegen:

a. mineralisatie
b. humificatie.

Mineralisatie van organisch materiaal betekent de volledige afbraak in water, koolzuur, stikstof en mineralen. Voorwaarden hiertoe zijn grote luchttoevoer, optimale temperatuur, hoge biologische bodemactiviteit en licht verteerbaar strooisel. Aan deze voorwaarden wordt echter in de gematigde gebieden niet voldaan, zodat volkomen mineralisatie van het strooisel in deze streken niet plaats heeft.

Humificatie is een afbraak van de grote chemische lichamen in het strooisel tot kleinere, waarbij deze kleinere verbindingen met elkaar reageren tot de vorming van een geheel nieuwe organische stof, die min of meer stabiel is ten opzichte van mineralisatie.

De cellulosen hemicellulosen en gedeeltelijk de eiwitten worden hierbij als energiebron voor de microorganismen practisch afgebroken, terwijl door polymerisatie, condensatie en autooxydatie, met gelijktijdige binding van ammoniak of polypeptiden, de lignine tot de zogenaamde stabiele humus wordt omgezet (Flaig 13, Hudig 22). Deze organische verbinding gaat door de koppelende werking van Ca, Fe enz. hechte bindingen aan met kleimineralen of andere anorganische colloiden. De aldus gevormde humuscomplexen bezitten een hoge adsorptiecapaciteit en zijn wegens het ontbreken van actieve groepen tegen verdere afbraak resistent.

Zijn de actieve groepen niet of gedeeltelijk geblokkeerd, dan is de resistentie tegen biologische oxydatie uiteraard geringer. Bij het ontbreken van klei, zoals in onze zandgronden, reageert het negatieve stabiele humuscolloid met het practisch steeds aanwezige ijzer- en aluminumhydroxyde. Ook hierdoor worden de actieve groepen geblokkeerd en zijn hoofdzakelijk alleen colloidchemische reacties mogelijk en zuiver chemische reacties grotendeels uitgesloten (Laatsch 25).

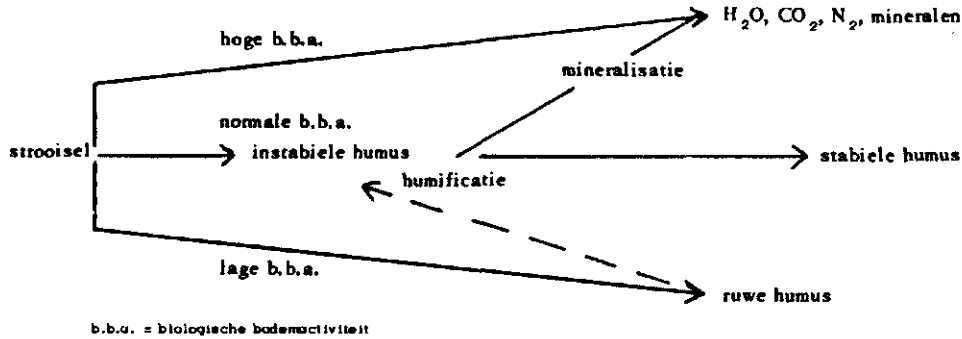
Volkomen humificatie, dus een totale omzetting van alle organisch materiaal tot stabiele humus, is, evenals volkomen mineralisatie, onder Nederlandse omstandigheden uitgesloten. Onder natuurlijke omstandigheden bestaat echter een verhouding, waarbij de aanvoer van nieuwe stabiele humus gelijk is aan de afbraak, die, hoewel in geringe mate, toch steeds plaats heeft. Het niet gehumificeerde materiaal wordt gemineraliseerd. De invloed van de mens op het bos nu heeft geleid tot een verstoring van deze verhouding. Enerzijds is door verkeerde houtsoortenkeuze, veeweide, branden enz. de biologische activiteit zo sterk verlaagd, dat én de humificatie én de mineralisatie verminderde. De afbraak van stabiele humus is geringer, doch ook de aanvoer, zodat niet zozeer de verhouding mineralisatie-humificatie verandert, maar wel het niveau daalt. De aanvoer van vers organisch materiaal verandert niet noemenswaard, en het ruwe materiaal hoopt zich op. Er vinden in dit opgehoopte materiaal wel enkele omzettingsprocessen plaats, doch tot een totale afbraak komt het niet.

De op de grond liggende organische stof wordt hier, uitgezonderd de strooiselllaag, *"ruwe humus"* genoemd. Het betreft organisch materiaal, *waaraan meestal geen duidelijke structuur te herkennen is*, en dat overeenkomt met de "mor" van P.E. Müller. Ruwe humus is grotendeels het product van schimmelwerking en activiteit van macroorganismen (Van der Drift 11). Dit in tegenstelling tot het materiaal, dat door omzettingen uit het strooisel ontstaat door de activiteit van bacteriën en andere microorganismen en dat nog niet gekomen is tot de vorming van stabiele humus. Dit materiaal, door P.E. Müller als "Mull" benaamd, wordt in moderne humuschemie *"instabiele humus"* genoemd (Schuffelen 46), waardoor duidelijk wordt aangegeven, dat dit materiaal slechts een overgangsphase is en geen op zichzelf staande vorm.

Als tussenvorm tussen de stabiele humus en het strooisel ligt de *"ruwe humus"*, dichter bij het strooisel en verder van de stabiele humus dan de *"instabiele humus"*.

Anderzijds kan de invloed van de mens leiden tot een verandering van de verhouding humificatie-mineralisatie door een abnormale verhoging van de biologische bodemactiviteit en de aeratie van de grond. Hierdoor neemt de mineralisatie toe en de humificatie af. Een dergelijke wanverhouding kan leiden tot verlies van humus, waarover aanstonds meer.

Schematisch kan het behandelde aldus worden aangegeven:



Hierbij dient opgemerkt te worden, dat, hoewel er geen nader verband is aangegeven, ruwe humus door het veranderen van de omstandigheden, zoals vermenging met minerale grond, bekalken en verhoging van de luchttoevoer, via de instabiele humus kan worden gemineraliseerd en omgezet in stabiele humus. Een dergelijk proces kan echter alleen verlopen via de instabiele humus. Onder ongewijzigde omstandigheden wordt niets gemineraliseerd of gehumificeerd, doch treden andere, podsolerende, processen op, waarop hier niet nader zal worden ingegaan.

Door de activiteit van bodemorganismen en de invloed van het naar beneden bewegende neerslagwater wordt de stabiele humus en voor een groot deel ook de instabiele humus, met de minerale grond vermengd. De verplaatsing door het neerslagwater is mogelijk door het colloidale karakter van de stabiele humus. De grote hoeveelheid bodemorganismen in de bovengrond heeft een hoog gehalte aan organische stof ten gevolge. Het humusgehalte neemt naar beneden sterk af. In onze bosgronden, die niet bewerkt zijn, is deze infiltratie zeer duidelijk. De donkere verkleuring van de bovengrond wijst op een hoog gehalte aan humus, dat voor een deel een instabiel karakter bezit. Naar beneden wordt de kleur via bruin, veroorzaakt door de ijzer- humusverbindingen, die als huidjes om de zandkorrels liggen, steeds lichter tot de humus ontbreekt. De minerale grond bezit daar haar natuurlijke kleur.

De onderscheiding in instabiele en stabiele humus schijnt voor de practische bosbouw niet doelmatig. Het is aan te bevelen, om beide soorten samen te vatten onder het begrip *"humus"* zonder meer, waaronder we dan verstaan *al het organische materiaal, dat langs natuurlijke weg met de minerale grond is gemengd.* Een samenvatting van de indeling van de organische stof in en op onze droge bosgronden luidt aldus:

1. Strooisel is alle organische afval, waaraan nog geen omzetting heeft plaats gevonden.
2. Ruwe humus is het gedeeltelijk omgezette materiaal, zonder duidelijke structuur, dat niet met de minerale grond is gemengd.
3. Humus is het geheel of gedeeltelijk omgezette materiaal, dat met de minerale grond is gemengd en waarbij tevens door reactie van de afbraakproducten nieuwe stoffen ontstaan, die resistent zijn tegen biologische aantasting.

De begrippen mild en zuur, zoals deze nog al eens in de bosbouw gebruikt worden, zijn niet duidelijk gedefinieerd en worden doorgaans op verwarrende

wijze gebruikt. Wanneer echter voor onze zandgronden de boven gedefinieerde begrippen: *ruwe humus*, overeenstemmende met die humusvorm, die doorgaans zuur wordt genoemd en *humus*, overeenstemmende met milde humus, worden gebruikt, dan kan geen verwarring ontstaan. Bovendien wordt niet de fout gemaakt, een volkomen zure humusvorm, zoals de instabiele en stabiele humus van onze zandige bosgronden in werkelijkheid is, mild te noemen. Mild en zuur hebben alleen betrekking op de graad van verzadiging van het adsorptiecomplex en niet op de mate en wijze van omzetting. De hier behandelde humus heeft zelfs onder de gunstigste omstandigheden een zeer lage verzadigingsgraad.

De humus is voor onze zandige bosgronden, waar het gehalte aan klei zeer gering is, de drager van de vruchtbaarheid. Aan de humus heeft langs colloidchemische weg de uitwisseling van basen en langs biochemische weg de uitwisseling van anionen plaats. Ook de structuurgenese wordt geheel door de humus bepaald (Hudig 21, Peerlkamp 40, Puri 43). Het behoud van de optimale hoeveelheid humus is voorwaarde voor het behoud van de vruchtbaarheid. Zoals boven werd aangetoond, wordt de aanvoer van nieuwe humus bepaald door de verhouding van humificatie en mineralisatie, die weer wordt geregeld door de biologische bodemactiviteit.

Deze biologische bodemactiviteit, dat is de gezamenlijke werking van alle factoren die invloed uitoefenen op de omzetting van het organisch materiaal, heeft een optimum. Is de biologische bodemactiviteit te hoog, dan gaat de afbraak overheersen en krijgt de mineralisatie de overhand op de humificatie. Bij een te lage biologische bodemactiviteit wordt ruwe humus gevormd. Onder natuurlijke omstandigheden heerst er een evenwicht tussen biologische bodemactiviteit, mineralisatie en humificatie, dat, zoals reeds eerder werd vermeld, door de invloed van de mens verstoord kan worden. Zo betekent bewerking van de droge zandgronden een verhoging van de toch al belangrijke luchtzuurstoftoevoer, waardoor direct de biologische bodemactiviteit toeneemt.

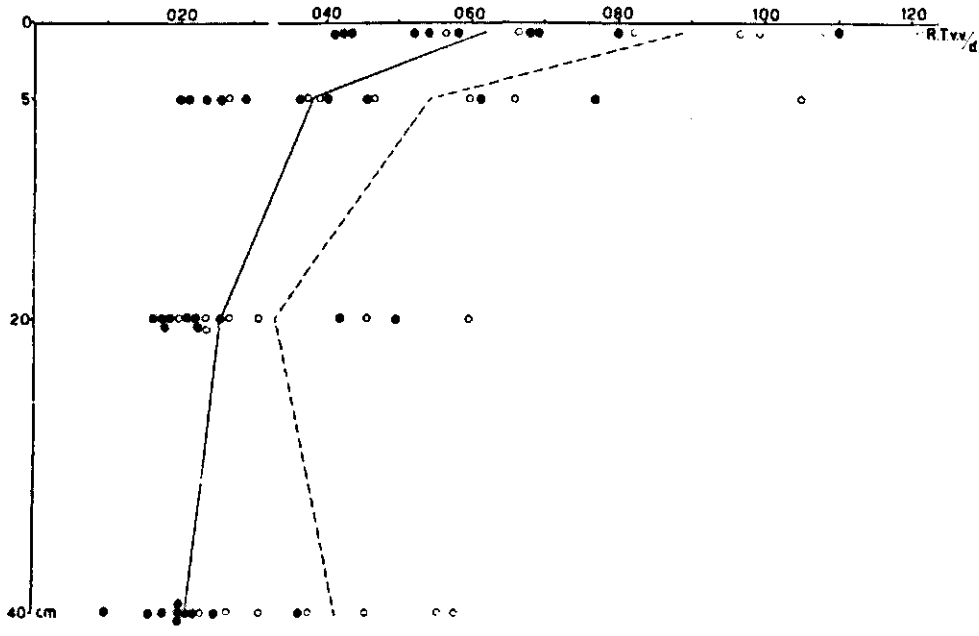
De biologische bodemactiviteit is onderzocht met behulp van in de grond geregen cellulosedraden volgens de methode Richard. De graad van vertering, uitgedrukt in relatieve treksterkteverliezen per dag is - voor het onderhavige geval gedurende de zomermaanden - een maat voor de biologische bodemactiviteit. In tabel 3 zijn de gevonden waarden, alsmede de aantallen waarnemingen en de middelbare fout, voor 4 horizonten vermeld.

Biologische bodemactiviteit in onbewerkte en bewerkte gronden
(Biological soil activity in untilled and tilled soils)

Tabel 3

Diepte *(Depth)* in cm	Onbewerkt *(Untilled)*	Bewerkt *(Tilled)*
0	0,62 ± 0,20 (10)	0,89 ± 0,09 (7)
5	0,38 ± 0,09 (10)	0,54 ± 0,10 (7)
20	0,26 ± 0,06 (10)	0,33 ± 0,05 (7)
40	0,21 ± 0,06 (10)	0,41 ± 0,05 (7)

De onderzochte objecten bestaan geheel uit eenzelfde vegetatie van inlandse eik. Het verschil in beide series is alleen de bewerking van rond 50 cm. De hogere biologische bodemactiviteit in de bewerkte profielen blijkt thans, meer dan 50 jaar na de bewerking, nog hoger te zijn dan in de ongestoorde grond. In figuur 1 zijn de resultaten nogmaals grafisch weergegeven.



Figuur 1

Biologische bodemactiviteit in de onbewerkte grond (*biological soil activity in untilled soil*) (● ———).

Biologische bodemactiviteit in de bewerkte grond(*biological soil activity in tilled soil*) (o- - - - - - - -),

De verhoogde biologische bodemactiviteit, die zich voor onze hoge Nederlandse zandgronden tientallen jaren blijkt te kunnen handhaven, heeft een versnelde afbraak van de humus ten gevolge. Dit zou geen bezwaar zijn, wanneer de aanvoer van nieuwe humus hiermede gelijke tred hield, doch dit is geenszins het geval. Door de grotere biologische bodemactiviteit, maar ook door de grotere zuurstoftoevoer, wordt een groot deel van de uit eiwitverbindingen gevormde ammoniak in nitraten omgezet, hetgeen tot uiting komt in de flora, die veel nitraataanwijzers, zoals *Epilobium, Senecio* enz. bevat. De nitraten worden door het neerslagwater uitgespoeld of zijn onderhevig aan denitrificatie. De inbouw van ammoniak ter stabilisatie van lignineafbraakproducten vindt daardoor in mindere mate plaats, zodat tevens minder lignine-proteïnecomplexen en stabiele humus wordt gevormd. De volledige afbraak - mineralisatie - neemt toe en, aangezien de aanvoer van vers organisch materiaal na een bodembewerking doorgaans niet veel groter wordt, wordt het totale gehalte aan humus lager (Harmsen 16, Lee en Bray 26).

In tabel 4 zijn de resultaten van het humusonderzoek in de 50 objecten vermeld. Het humusgehalte is uitgedrukt in gewichtsprocenten van de op 105 °C gedroogde grond.

Tabel 4

Het gemiddelde gehalte aan organische stof voor verschillende diepten van het profiel

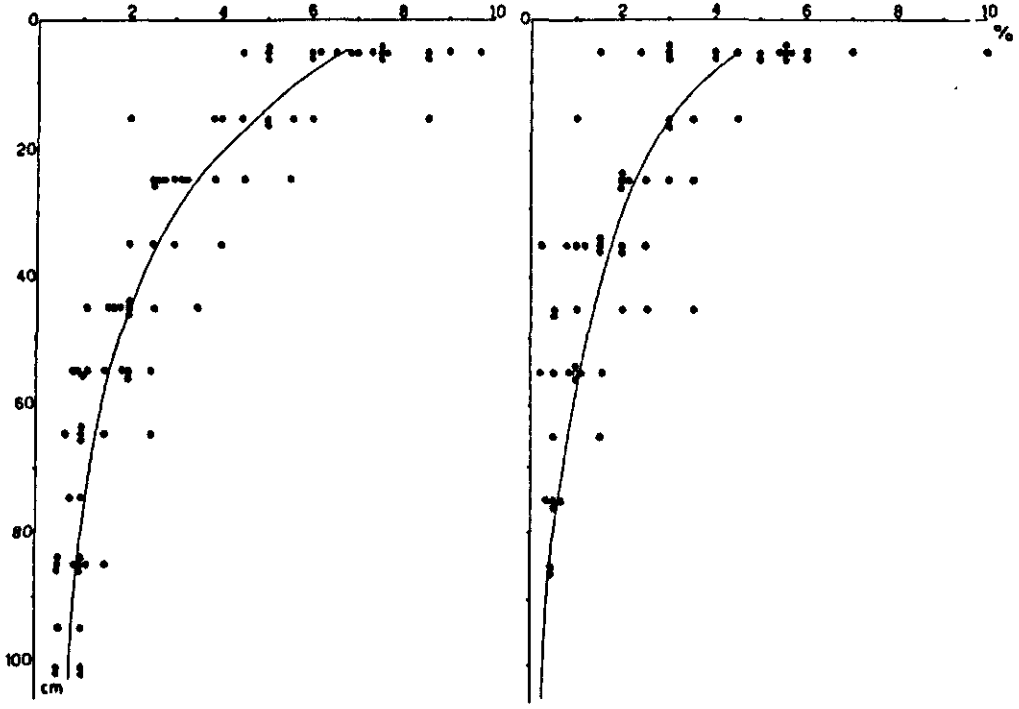
(The average content of organic matter of different layers of the profile)

Diepte *(Depth)* in cm	Gehalte aan organische stof in gew. % *(Content of organic matter in % of weight)*	
	Onbewerkte grond *(Untilled soil)*	Bewerkte grond *(Tilled soil)*
0 - 20	6,3 ± 0,30 (28)	4,1 ± 0,32 (24)
20 - 40	3,2 ± 0,25 (14)	1,8 ± 0,19 (17)
40 - 60	1,8 ± 0,14 (18)	1,2 ± 0,24 (14)
60 - 80	1,2 ± 0,20 (8)	0,7 ± 0,70 (6)
80 - 100	0,9 ± 0,10 (11)	0,5 ± 0,00 (2)
100 -	0,8 ± 0,08 (4)	-

Het aanzienlijke verlies, dat door de bewerking aan humus is geleden komt duidelijker tot uiting in een grafische weergave van de resultaten. De linkergrafiek van figuur 2 heeft betrekking op de humusgehalten van onbewerkte gronden, terwijl de resultaten van de bewerkte gronden verwerkt zijn in de rechter grafiek. Door de puntenzwermen zijn vrijehand-curven getrokken.

Een globale berekening, met behulp van de volumegewichten van de zandige bosgronden, leert, dat een onbewerkte grond, voor een profieldiepte van 100 cm per ha, 350 à 400 ton humus bevat en dat 50 à 100 jaar na een diepe en intensieve bewerking, deze hoeveelheid daalt tot 200 à 300 ton. Het verlies van de zo belangrijke humus als gevolg van de diepe grondbewerking bedraagt in 50 à 100 jaar ongeveer 100 à 150 ton per ha voor een profieldiepte van 100 cm. Uitgedrukt in procenten van het oorspronkelijke gehalte bedraagt het verlies meer dan 25%.

Of dergelijke verliezen langs kunstmatige weg hersteld kunnen worden moet voor een normaal bosbedrijf wel uitgesloten worden geacht. Zelfs wanneer geen mineralisatie plaats vindt, zou een bemesting van 100 tot 150 ton compost noodzakelijk zijn voor een herstel van het normale humusgehalte. Maar ook daarmede is de oude toestand niet bereikt. Compost-humus is van een totaal andere aard. Bovendien is de aeratie en de biologische activiteit van de bewerkte gronden nog steeds te hoog. De mineralisatie overheerst de humificatie. Herstel dient te worden verkregen langs natuurlijke weg, waarbij men door een intensieve bodemverzorgende menging de aanvoer van hoogwaardig strooisel vergroot. Iedere bewerking van de grond moet achterwege blijven, opdat de biologische bodemactiviteit en de aeratie geleidelijk het oude peil weer innemen. Dergelijke processen duren lang, doch alleen dan is herstel van het oorspronkelijke humusgehalte mogelijk.



Figuur 2

Gehalte aan organische stof, links in onbewerkte, rechts in bewerkte gronden
(Content of organic matter, left in untilled, right in tilled soils)

De invloed van intensieve vollegrondsbewerking, dieper dan 25 à 40 cm, op de humusverzorging van de droge zandige bosgronden luidt samengevat als volgt:

1. De humusverzorging van onze droge zandige bosgronden wordt geregeld door de biologische bodemactiviteit, die onder natuurlijke omstandigheden optimaal ontwikkeld is en de meest gunstige verhouding tussen aanvoer, mineralisatie, humificatie en afbraak van organisch materiaal in stand houdt.
2. Bodembewerking, die te intensief is - te diep - verhoogt de biologische bodemactiviteit, waardoor de juiste verhouding tussen aanvoer en afbraak van humus wordt verbroken en de humus quantitatief uit de bodem verdwijnt.
3. De verliezen van organische stof, als gevolg van deze bodembewerking, kunnen zodanig groot worden, dat herstel langs kunstmatige weg - bemesting - voor een normaal bosbedrijf uitgesloten moet worden geacht.
4. Uit het oogpunt van humusverzorging dient derhalve de intensieve bodembewerking, die de biologische bodemactiviteit tot ver boven het normale niveau verhoogt, voor de onderzochte gronden achterwege te blijven.

HOOFDSTUK III

De invloed van de grondbewerking op de stikstof- en fosfaathuishouding

Lange tijd is in de bosbouw de opvatting gehuldigd, dat alleen de physische bodemfactoren voor de groei van het bos belangrijk waren. Eerst in de laatste decennia is men op grond van uitgebreide onderzoekingen op het gebied van de voedingsstoffenhuishouding van houtsoorten tot het inzicht gekomen, dat de chemische factoren even belangrijk zijn als de physische (Aaltonen 1, Jessen 24, Leyton 27). De chemische factoren zijn echter in de meeste bosgronden in zo ruime mate aanwezig, dat zij practisch niet de minimumfactoren uitmaken, in tegenstelling tot de physische factoren, waarbij dit wel spoedig het geval kan zijn.

Een uitzondering hierop wordt in bepaalde gevallen echter gemaakt door stikstof en fosfor. De oorzaak van groeistoornissen van opstanden kan zowel stikstof- als fosfaatgebrek zijn.

In Zweden heeft Ilesselman door een bemesting met ammoniumnitraat een in groei stilstaand fijnsparrenbos sterk in aanwas doen toenemen [1]. De practische bosbouw maakt bovendien eveneens van de minimumfactor stikstof gebruik, zij het langs indirecte weg, door met een kalkbemesting de groei te bevorderen. Kalk is hierbij geen directe voedingsstof, doch brengt de in de humus vastgelegde stikstof in een voor de vegetatie opneembare vorm.

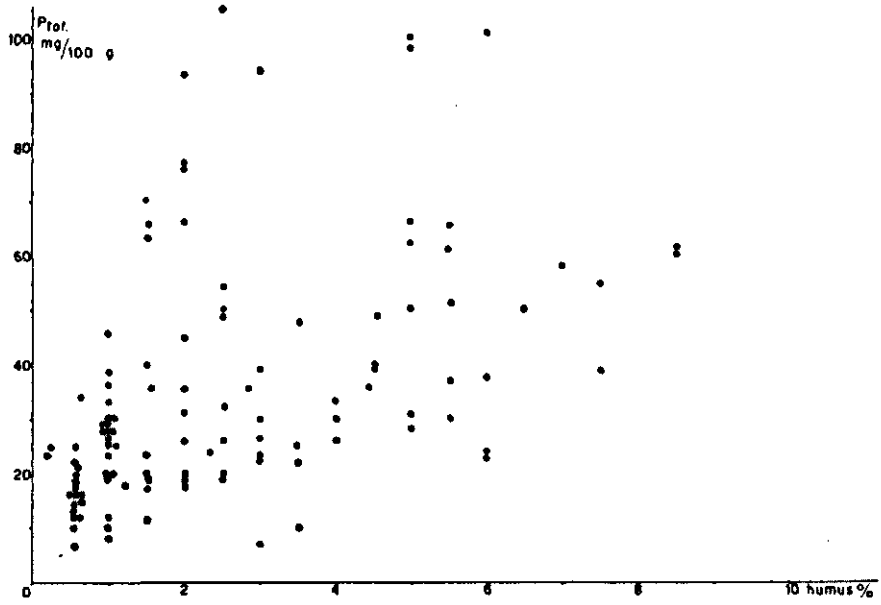
Ook het fosfaat verkeert vaak in het minimum, hetgeen duidelijk blijkt uit het gunstige effect van een fosfaatbemesting. Tevens is door Nemec (38) op het gebied van de fosfaatverzorging vastgesteld, dat groeistoornissen van fijnspar en groveden op sterk gedegradeerde grond hun oorzaak vinden in een gestoorde fosfaatopname.

Het grootste aandeel van de totale stikstof in de bosgrond komt voor in een voor de vegetatie onopneembare vorm. Deze vastgelegde stikstof is, zoals eerder werd behandeld, ingebouwd in de humuscomplexen. Een klein deel van de totale stikstof, gemiddeld 1%, komt voor als opneembaar ammoniak of nitraat. Deze opneembare stikstof wordt voortdurend aangevuld door de afbraak van stikstofhoudende verbindingen uit het strooisel. Op de dynamiek van de stikstofverzorging wordt aanstonds teruggekomen.

Ook bij het fosfaat is slechts een deel, zij het veel groter dan bij de stikstof, voor de planten opneembaar. Dit opneembare fosfaat, dat bepaald wordt door extractie van de grond met het betrekkelijk zwakke organische citroenzuur, maakt ongeveer 25 a 30% van de totale fosfaatreserve uit. Van grote betekenis voor de fosfaatreserve zijn de moeilijk oplosbare fosfaten van aluminium en ijzer en de nieuw gevormde kleimineralen, waarin het fosfaat ingebouwd wordt. Het fosfaat komt in organische en anorganische vorm voor. In de kleiarme zandgronden is echter de organische vorm de meest voorkomende (Bower 6). Een grove samenhang tussen humusgehalte en totaal fosfaat is voor de zandgronden dan ook wel vast te stellen. Het verband tussen de totale stikstof en het humusgehalte is daarentegen vanzelfsprekend zeer nauw. Zie de figuren 3 en 4.

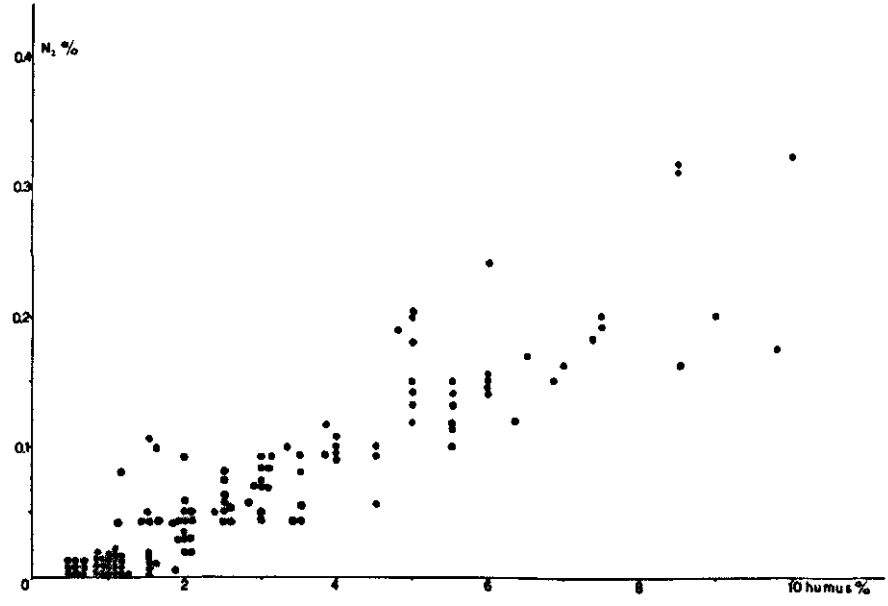
Bij de behandeling van de invloed van de bodembewerking op de stikstofhuishouding van de grond moet vanzelfsprekend worden uitgegaan van de - gecompliceerde - dynamiek van de stikstofverzorging. De oorspronkelijke bron van alle stikstof in de grond is de vrije stikstof in de lucht. Hieruit wordt het opgenomen door stikstofbacteriën, terwijl een klein deel met het neerslagwater, in de vorm van nitraat, nitriet, ammoniak en organische verbindingen aan de grond wordt toegevoegd. De andere stikstofbron is alle organische afval van vegetatie en eda-

1) Publicatie in het Zweeds in "Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt" Häfte 34 (11), 1945 (617-619).



Figuur 3

Verband tussen totaal fosfaat en gehalte aan organische stof
(Relation between the total phosphate content and the content of organic matter)



Figuur 4

Verband tussen totaal stikstof en gehalte organische stof
(Relation between the total amount of nitrogen and the content of organic matter)

phon. De hierin voorkomende stikstofverbindingen worden tot eenvoudige aminozuren afgebroken, waaruit ammoniak door de werking van fungi en bacteriën wordt vrijgemaakt. De stikstof in ammoniakvorm wordt verwerkt op drie verschillende manieren. Een deel wordt direct door de vegetatie als kation opgenomen, een ander deel wordt bij de humusvormende processen (hoofdstuk II) in de humuscomplexen ter stabilisatie ingebouwd, terwijl ook nog ammoniak-stikstof via bacteriële oxydatie omgezet wordt tot het voor de vegetatie opneembare nitriet en nitraat.

Dit nitraat, dat het uiteindelijke product is van de stikstofhuishouding in de grond, is directe voedingsstof. Wanneer het niet wordt opgenomen spoelt het met het neerslagwater uit of wordt door denitrificerende bacteriën via nitriet afgebroken tot zuivere stikstof (Wittich 56).

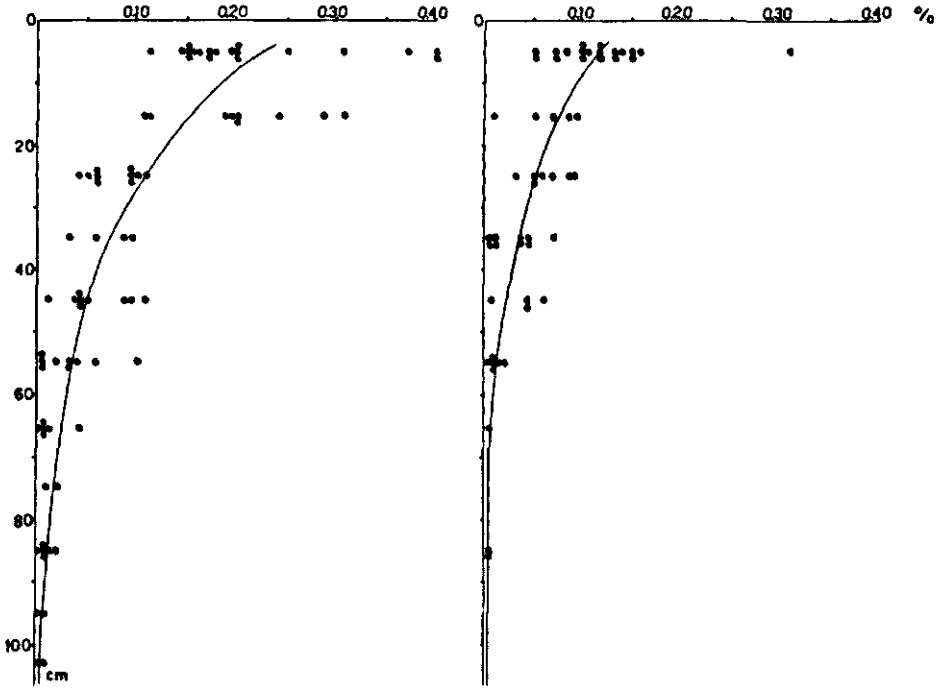
Onder natuurlijke omstandigheden wordt steeds zoveel nitraat-stikstof gevormd, dat practisch geen verlies aan stikstof uit de bodem optreedt. De overige stikstof wordt als ammoniak opgenomen door de vegetatie of in humuscomplexen. Deze processen worden geregeld door de biologische bodemactiviteit en de aeratie van de grond. Zijn beide te laag, dan zal meer ammoniak worden geproduceerd. Zijn ze te hoog, dan wordt meer nitraat gevormd. Kunstmatige verhoging van de biologische activiteit door toevoer van lucht zal ten gevolge hebben, dat het evenwicht van deze balans wordt verbroken en de nitraatvorming toeneemt. Ammonificatie wordt daardoor geremd, terwijl de mineralisatie van het organisch materiaal - als gevolg van het uitblijven van stabilisatie - toeneemt (hoofdstuk II).

Bodembewerking houdt in een verhoging van de luchttoevoer en een versterking van de nitraatvorming. Het is een bekend verschijnsel, dat na een bodembewerking op een kaalkapterrein zich een nitraatflora ontwikkelt. Er wordt nitraatstikstof in grote hoeveelheden gevormd. Het ontbreken van een opstand en de steeds neergaande waterstroom in het bodemprofiel, hebben tot gevolg, dat het nitraat voor een deel door uitspoeling verloren gaat. Daarnaast is het gehalte aan ammoniak-stikstof laag. De - meestal aanwezige - ruwe zure humus, die door de intensivering van de biologische bodemactiviteit wordt omgezet, vindt onvoldoende ammoniakstikstof ter stabilisatie van instabiele humus, zodat mineralisatie de humificatie volkomen overheerst. De ruwe zure humus, die moet dienen als een organische bemesting van de bosgrond, gaat hierbij voor een groot deel verloren. De verhoogde aeratie van de grond en de grotere biologische bodemactiviteit zijn echter tientallen jaren merkbaar, zodat de invloed van de bewerking op de stikstofhuishouding jarenlang aanhoudt. De uitspoeling en denitrificatie van de voortdurend in overmaat gevormde nitraatstikstof, waarbij, zoals eerder is gebleken, ook het humuskapitaal wordt aangetast, leidt tot grote stikstofverliezen. In tabel 5 zijn de resultaten van het stikstofonderzoek in de vergelijkingsobjecten vermeld.

Voor een duidelijk overzicht zijn deze gegevens tevens verwerkt in de grafieken van figuur 5. Door de puntenzwermen zijn vrije-hand-curven getrokken.

Een globale berekening leert, dat het totale verlies aan zuivere stikstof, als gevolg van een intensieve en diepe bodembewerking, voor een profieldiepte van 100 cm ongeveer 4000 kg/ in 50 à 100 jaar bedraagt. Ten opzichte van het oorspronkelijke gehalte is dit verlies rond 30%. Op de gronden waar stikstof de minimumfactor is, leidt bodembewerking derhalve tot achteruitgang van vruchtbaarheid.

Fosfor komt in bosgronden in verschillende vormen voor, zowel organisch als anorganisch. Een belangrijk deel van het door de vegetatie opgenomen fosfaat is afkomstig van organische verbindingen zoals phytine, nucleoproteïnen enz. Hieruit



Figuur 5

De gehalten aan totaal stikstof, links in onbewerkte, rechts in bewerkte gronden
(The total amount of nitrogen, left in untilled, right in tilled soils)

Tabel 5

Het gemiddelde gehalte aan stikstof voor de verschillende diepten van het profiel
(The average content of nitrogen in the different layers of the profile)

Diepte *(Depth)* in cm	Gehalte aan totaal stikstof in gew. % *(Content of total nitrogen in % of weight)*	
	Onbewerkte grond *(Untilled soil)*	Bewerkte grond *(Tilled soil)*
0 - 20	0,21 ± 0,05 (28)	0,11 ± 0,04 (24)
20 - 40	0,07 ± 0,01 (14)	0,04 ± 0,02 (16)
40 - 60	0,05 ± 0,02 (18)	0,02 ± 0,005 (10)
60 - 80	0,02 ± 0,004 (8)	0,01
80 - 100	0,01 ± 0,001 (9)	0,00
100 cm	0,00 (2)	0,00

komt het fosfaat door mineralisatie vrij. De anorganische vorm waarin het fosfaat in onze zure bosgronden voorkomt - ijzer- en aluminiumfosfaat - is moeilijk oplosbaar. Een deel van het totale fosfaatgehalte in de grond is derhalve direct opneembaar. De oplosbaarheid, beter is te spreken van de beschikbaarheid, van het fosfaat wordt bepaald door de zuurgraad en de aanwezigheid van organisch materiaal. Het organisch materiaal bindt ter stabilisatie van de humus vrij ijzer en aluminium, zodat vorming van de onoplosbare ijzer- en aluminiumfosfaten wordt tegengewerkt (Struthers en Sieling 49). Is de pH lager dan 4,5 dan treedt vrij ijzer en aluminium in de grond op, als gevolg van de afbraak van mineralen. Tevens is in dit traject van de zuurgraad ijzer en aluminiumfosfaat onoplosbaar, zodat het fosfaat, dat anorganisch in deze vorm het meest in onze bosgronden voorkomt, niet opneembaar is voor de vegetatie.

Zonder echter nader op de gecompliceerde fosfaathuishouding in te gaan, worden hier de totale fosfaatgehalten - de fosfaatreserves - en dat deel van het fosfaat, dat in citroenzuur oplosbaar is, gegeven. Deze cijfers, hoewel van relatieve waarde, vermogen een indruk te geven omtrent wijzigingen die een gevolg zijn van de grondbewerking. De P-totaal cijfers vertonen, zoals eerder werd aangetoond, een zwakke correlatie met het humusgehalte. De oorzaak hiervan is te zoeken in de armoede aan anorganische fosfaten in de onderzochte gronden. Wanneer dit organisch materiaal nu wordt gemineraliseerd, als gevolg van de bewerking, dan komt het fosfaat vrij. Wordt dit vrije fosfaat niet opgenomen, dan vormt het met ijzer en aluminium onoplosbare verbindingen. In het geval er niet voldoende vrij ijzer en aluminium aanwezig is - de pH stijgt door de mineralisatie van de humus - wordt het fosfaat echter niet vastgelegd en spoelt uit in de ondergrond (Egawa, Nagai, Sato 12). Verlies van humus betekent derhalve ook verlies aan fosfaat. In tabel 6 zijn de resultaten van het P-totaal onderzoek vermeld.

Tabel 6

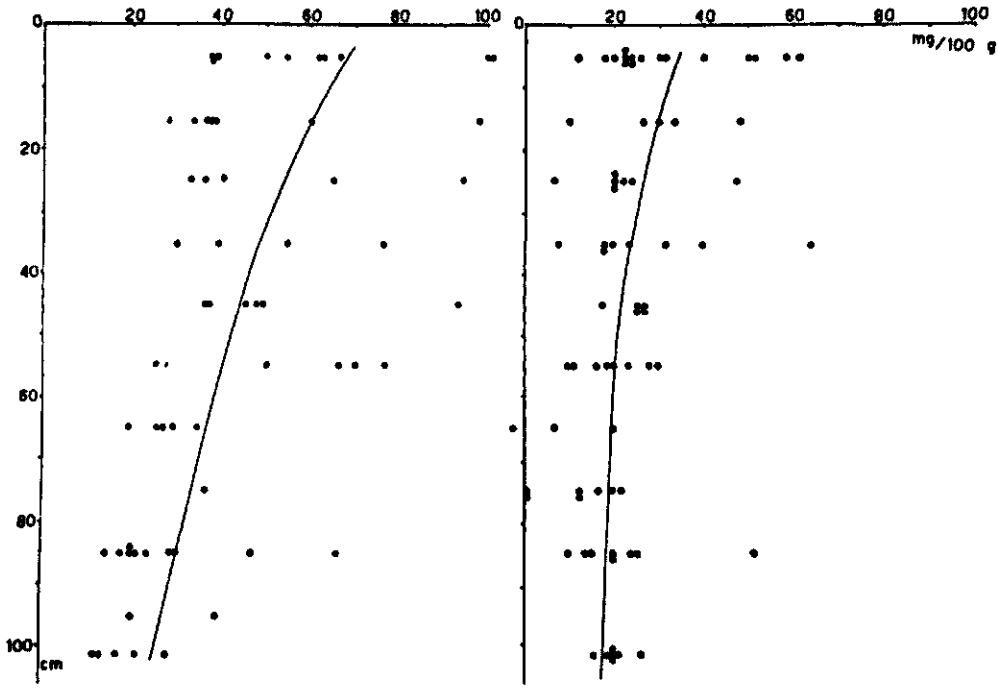
De gemiddelde totaal fosfaatgehalten voor de verschillende diepten van het profiel

(The average total phosphate content of the different layers of the profile)

Diepte *(Depth)* in cm	Gehalte aan totaal fosfaat in mg/100 gr. *(Content of total phosphate in mg/100 gr. of soil)*	
	Onbewerkte gronden *(Untilled soils)*	Bewerkte gronden *(Tilled soils)*
0 - 20	62 ± 8,5 (18)	31 ± 3,2 (21)
20 - 40	52 ± 7,4 (9)	25 ± 2,9 (16)
40 - 60	52 ± 6,0 (12)	21 ± 1,7 (13)
60 - 80	40 ± 11,5 (7)	12 ± 2,8 (9)
80 -100	29 ± 4,2 (12)	22 ± 1,7 (8)
100 -	20 ± 4,0 (5)	20 ± 1,0 (7)

De spreiding in de cijfers van de onbewerkte gronden is groot, hetgeen verband houdt met de gevoeligheid van het P-totaal cijfer voor kleine verschuivingen in de granulaire samenstelling. Voor een duidelijk overzicht zijn de gegevens in de

grafieken van figuur 6 ondergebracht. De linkergrafiek heeft betrekking op de onbewerkte, de rechter grafiek op de bewerkte gronden.



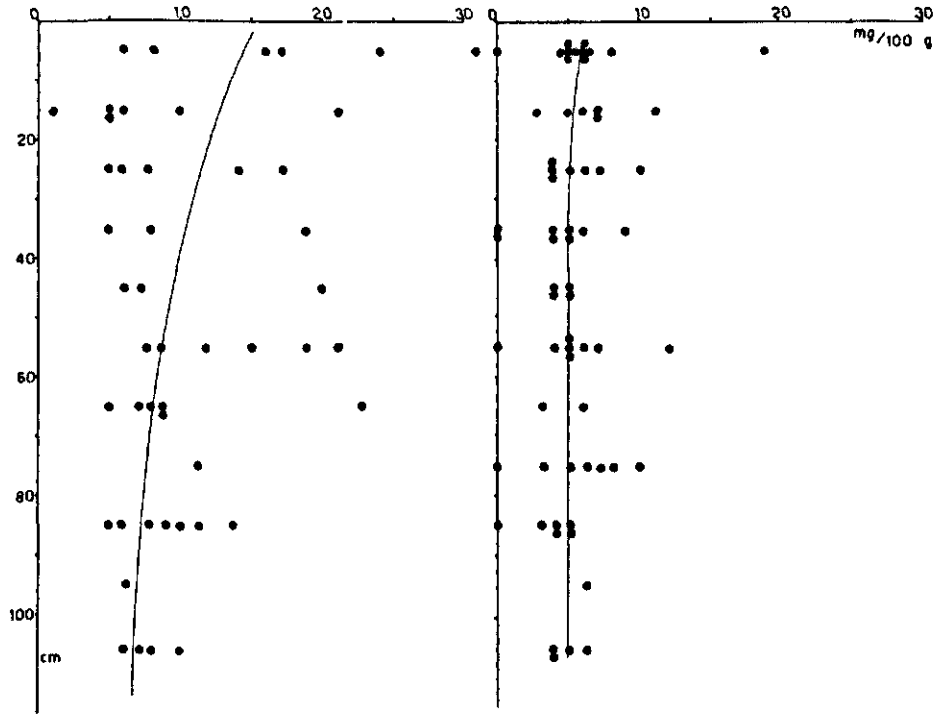
Figuur 6

Het gehalte aan totaal fosfaat, links voor onbewerkte, rechts voor bewerkte gronden
(The amount of total phosphate, left in untilled, right in tilled soils)

Het totale verlies per ha per 100 cm bedraagt gemiddeld ongeveer 2700 kg zuiver fosfaat. Deze cijfers geven uiteraard alleen een indruk van de in de grond aanwezige fosfaatreserve. Het in citroenzuur oplosbare fosfaat, dat min of meer een indruk geeft van de opneembare hoeveelheid, is verwerkt in figuur 7.

Intensieve grondbewerking heeft een verlaging van de fosfaatreserve ten gevolge. De versterkte mineralisatie van het organisch materiaal en de daaruit voortvloeiende mobilisatie van voedingsstoffen, werd, evenals bij de stikstof, niet gevolgd door een verhoogde opname van deze voedingsstoffen door de vegetatie. Het fosfaat is daardoor onderhevig aan uitspoeling.

De voedingswaarde van het fosfaat is, te oordelen naar de P-citroencijfers, eveneens teruggelopen. In verband met de afhankelijkheid van de oplosbaarheid van het fosfaat van de zuurgraad, dient deze laatste in de beschouwing van het fosfaat als voedingsstof te worden betrokken. Het blijkt, dat de zuurgraad, uitgedrukt als pH, door de bodembewerking sterk wordt beinvloed - zie tabel 7.



Figuur 7

P-citroen, links in onbewerkte en rechts in bewerkte gronden
P-citr. ac., (left in untilled, right in tilled soils)

Tabel 7

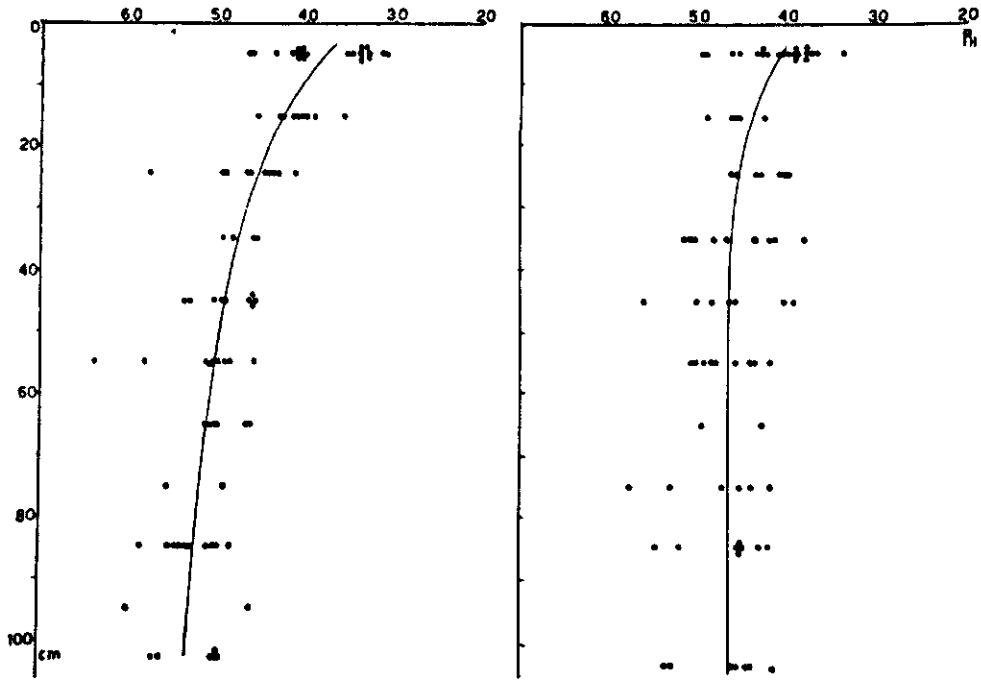
De gemiddelde pH van de verschillende diepten van het profiel

(The average pH of the different layers of the profile)

Diepte *(Depth)* in cm	pH	
	Onbewerkte gronden *(Untilled soils)*	Bewerkte gronden *(Tilled soils)*
0 - 20	3,9 ± 0,08 (29)	4,2 ± 0,08 (26)
20 - 40	4,7 ± 0,10 (14)	4,5 ± 0,10 (16)
40 - 60	5,1 ± 0,10 (18)	4,7 ± 0,10 (16)
60 - 80	5,0 ± 0,10 (8)	4,8 ± 0,09 (9)
80 - 100	5,3 ± 0,10 (12)	4,7 ± 0,10 (8)
100 -	5,5 ± 0,10 (5)	4,7 ± 0,09 (7)

Dit wordt duidelijk wanneer men bedenkt, dat door de versterkte mineralisatie van het organisch materiaal basen vrij komen. Vooral daar waar het organisch materiaal in grote hoeveelheden aanwezig is, - dit is aan de oppervlakte - zal de pH stijgen. Doch de humus bezit in deze zin nog een andere functie. De humus reageert door haar colloide karakter als buffer. Het humiede klimaat werkt podsolerend - verzurend - op de grond. Is echter voldoende colloidaal materiaal aanwezig - in ons geval humus - dan zal van de bodem alleen de oppervlakte verzuren en de pH door de bufferende werking met de diepte snel stijgen. Is de buffering onvoldoende - te kort aan colloidaal materiaal - dan dringt de verzuring dieper door.

Worden de pH-cijfers, die in water zijn bepaald, in een grafiek, figuur 8, uitgezet, dan blijkt deze verzuring in de bewerkte profielen duidelijk. De pH, die in de onbewerkte profielen in de ondergrond boven de 5 ligt, is in de bewerkte profielen gemiddeld lager dan 4,7.



Figuur 8

De pH, links in onbewerkte, rechts in bewerkte gronden
(The pH, left in untilled, right in tilled soils)

Deze verzuring heeft verstrekkende gevolgen voor de fosfaathuishouding. Immers, bij een pH lager dan 4,6 en bij afwezigheid van organisch materiaal, worden de bodemsilicaten afgebroken en gaan de sesquioxyden in oplossing. Het aanwezige fosfaat wordt door het opgeloste ijzer en aluminium bij de heersende zuurgraad onoplosbaar vastgelegd, en is voor de planten niet opneembaar. De verminderde oplosbaarheid van het fosfaat in de bewerkte profielen, op die diepte

waar bij een lage pH geen organisch materiaal voorkomt, blijkt duidelijk uit de volgende tabel 8.

Tabel 8

De gemiddelde oplosbaarheid van het fosfaat voor de verschillende diepten van het profiel

(The average availability of phosphate in the different horizons of the profile)

Diepte *(Depth)* in cm	Onbewerkt *(Untilled)*	Bewerkt *(Tilled)*
	$\frac{P_{citr.}}{P_{tot.}} \times 100$	$\frac{P_{citr.}}{P_{tot.}} \times 100$
0 - 40	19 ± 1,3 (20)	20 ± 0,9 (28)
40 - 80	26 ± 1,8 (15)	30 ± 3,8 (18)
80 - 120	36 ± 3,2 (12)	23 ± 3,0 (9)

In de laag van 80 - 120 cm is het verschil in oplosbaarheid tussen de onbewerkte en bewerkte profielen significant. Een bodembewerking oefent op de fosfaathuishouding een tweezijdige invloed uit. In de eerste plaats spoelt door de mineralisatie van het organisch materiaal fosfaat uit en wordt de fosfaatreserve verlaagd. In de tweede plaats is door de dieper gaande verzuring van de grond een geringer deel van deze kleinere fosfaatreserve voor de vegetatie opneembaar. Het is niet onwaarschijnlijk, dat in deze gestoorde fosfaathuishouding de oorzaak van groeistoornissen bij grovedennen op deze gronden moet worden gezocht.

Uit onderzoekingen van Nemec (37) is gebleken, dat bij een versterkte mobilisatie van sesquioxyden, vooral Al door de grovedennenwortels wordt opgenomen. Ook Wright (55) toonde aan, dat door opname van vrij Al door de wortels van gewassen de opgenomen fosfaat onmiddellijk vastligt, zodat dit element niet tot de groeipunten kan komen en celdeling ophoudt. Al fungeert algemeen als een gif op de planten (McLean en Gilbert 30). Dit heeft uiteraard alleen plaats op gronden, waarin de zuurgraad zover is gedaald, dat vrij aluminium in voldoende hoeveelheden voorkomt. Het opgenomen aluminium slaat het weinige opgenomen fosfaat in wortel en stam neer, zodat het transport van deze voedingsstof wordt onderbroken. Toevoeging van veel fosfaat als meststof doet de groeistoornissen opheffen zoals door de onderzoekers is aangetoond (Jessen 24, Nemec 37, 38, Peirre en Stuart 42). De vaak sterke roodkleuring van de diep bewerkte gronden - aanduiding van ijzer en dus aluminium -, de mindere oplosbaarheid van fosfaat, de diepgaande verzuring en het optreden van groeistoornissen bij grovedennen op deze diep bewerkte gronden, wijzen in de richting, die door de genoemde onderzoekers is aangeduid, ofschoon slechts onderzoek naar de samenstelling van de wortels en naalden en het verzamelen van groeicijfers definitief uitsluitsel kan geven. De waarschijnlijkheid echter, dat de oorzaak in de gestoorde fosfaat-

huishouding moet worden gezocht is groot, temeer daar op onbewerkte gronden bij groveden geen groeistoornissen zijn vast te stellen.

Samenvattend blijkt, dat een intensieve en diepe grondbewerking op de stikstof- en fosfaathuishouding de volgende invloeden uitoefent:

1. Door de versterkte mineralisatie van alle organische materiaal wordt een deel van de fosfaat- en stikstofreserve gemobiliseerd.
2. De afwezigheid van een vegetatie, die alle gemobiliseerde stikstof en fosfaat kan opnemen, heeft een uitspoeling van deze stoffen ten gevolge.
3. De verhoging van de biologische bodemactiviteit door de bewerking betekent een versterkte omzetting van ammoniakstikstof in nitraatstikstof. Opname van stikstof als ammoniak in oxydatieproducten van lignine heeft dus niet of slechts in geringe mate plaats. De afbraakproducten van het organisch materiaal worden derhalve slechts in mindere mate gestabiliseerd.
4. De toename van de aciditeit in de ondergrond, als gevolg van de geringere bufferwerking door het verlies aan humus, brengt ernstige stoornissen van de fosfaathuishouding met zich mede, door verlaging van de oplosbaarheid van het fosfaat.

HOOFDSTUK IV

De invloed van de grondbewerking op de waterhuishouding en de structuur

Algemeen gelden de physische bodemfactoren als het belangrijkste voor de vruchtbaarheid van de bosgrond. Een goed geregelde water- en luchthuishouding is dan ook vereist *(conditio sine qua non)* voor een gezonde groei van het bos. Deze water- en luchthuishouding wordt, afgezien van het grondwater, beheerst door de granulaire samenstelling en de structuur- Zware gronden zullen over het algemeen een hoge watercapaciteit hebben, terwijl de luchtcapaciteit in het minimum kan zijn. In tegenstelling hiertoe is in de lichte zandgronden het water meestal de minimumfactor, terwijl de aeratie boven het optimum ligt.

Onze Nederlandse bosgronden behoren grotendeels tot deze laatste categorie. Gronden dus, waarin het grondwater voor de planten onbereikbaar is en waarvan het watervasthoudend vermogen laag ligt. Ofschoon de granulaire samenstelling van deze zandgronden nogal kan verschillen, wordt de water- en luchthuishouding hierdoor niet sterk beinvloed.

Wordt in zware gronden de water- en luchthuishouding hoofdzakelijk bepaald door de granulaire samenstelling, op de zandgronden is hiervoor de structuur van doorslaggevende betekenis. Criterium voor de structuur van deze gronden is de vorming van aggregaten en de verdeling van poriën. Voor de opbouw van de bodemdeeltjes tot aggregaten is de aanwezigheid van colloidaal materiaal vereist. Dit bestaat op de zandgronden hoofdzakelijk uit de humus. De humus heeft sterk kittende eigenschappen en is bovendien poreus. Door de kittende werking zijn de uit de bodemdeeltjes gevormde kruimels zeer stabiel (Baver 4). De kruimels die op deze wijze uit de vrij grove zandkorrels worden opgebouwd, zijn door de kleine inwendige poriën van de humus in staat water op te nemen en vast te houden. De ruimte tussen de kruimels dient voor de aeratie. Hoe beter de kruimeling van de zandgrond, hoe hoger het watervasthoudend vermogen stijgt. De kruimeling wordt weer bepaald door het gehalte aan humus (Peerlkamp 40).

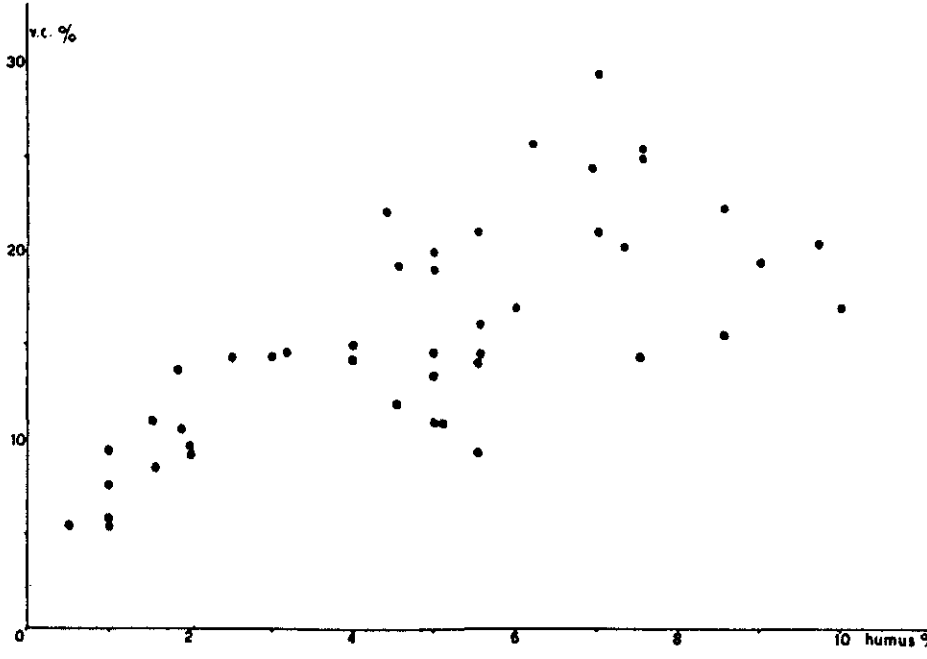
Tabel 9

De gemiddelde watercapaciteit (pF =2,7) in de verschillende diepten van het profiel

(The average field capacity (pF=2,7) in the different layers of the profile)

Diepte *(Depth)* in cm	Watercapaciteit (pF =2,7) in vol. % *(Field capacity in % of vol.)*	
	Onbewerkte gronden *(Untilled soils)*	Bewerkte gronden *(Tilled soils)*
0 - 20	20,7 ± 0,96 (21)	15,3 ± 0,59 (17)
20 - 40	12,2 ± 0,48 (13)	8,7 ± 0,50 (11)
40 - 60	10,5 ± 0,58 (11)	6,9 ± 0,34 (5)
60 - 80	7,6 ± 0,39 (7)	6,2 ± 0,39 (5)
80 - 100	7,1 ± 0,71 (9)	5,4 ± 0,32 (8)
100 cm	9,0 ± - (1)	-

In figuur 9 is het gehalte aan organische stof uitgezet tegen de watercapaciteit. Er bestaat een duidelijke samenhang tussen deze beide factoren.



Figuur 9

Het verband tussen gehalte aan organische stof en de watercapaciteit
(The relation between the content of organic matter and the field capacity)

De structuur van de grond vindt haar karakterisering in het poriënvolume en de verdeling van de poriën. Deze karakterisering is echter niet volledig, wanneer daarnaast de stabiliteit van die structuur niet nader wordt bepaald. Een maat hiervoor is het percentage waterstabiele aggregaten. Een bepaalde gunstige poriënverdeling, die langs kunstmatige weg is tot stand gekomen - bewerking - heeft slechts waarde, wanneer deze ook stabiel is tegen weersinvloeden. Is men, zoals in de landbouw en tuinbouw, in staat frequent correcties in de structuur aan te brengen, dan kan met een mindere stabiliteit genoegen worden genomen. In de bosbouw echter, waar een bewerking slechts eenmaal in vele tientallen jaren kan plaats vinden, is dit anders. Hier moet de stabiliteit aan bepaalde eisen voldoen om de bewerkstelligde structuur in stand te kunnen houden zonder herhaalde bewerking. Deze regel wordt in de bosbouw veel over het hoofd gezien. Men meent - meestal met het oog op een effectieve onkruidbestrijding - dat het bovenbrengen van de kiemvrije minerale grond voor het welslagen van de cultuur noodzakelijk is. De grond, die waarschijnlijk direct na de bewerking een goede structuur bezit, slaat echter, als gevolg van de geringe stabiliteit van de structuur - ontbreken van humus - na enige tijd dicht. De gevolgen van deze oppervlakkige verdichting, zoals de ontwikkeling van een ongunstig dek van mossen, blijven dan ook in vele gevallen niet uit, al is het kwaad van sterke onkruidgroei veelal bezworen.

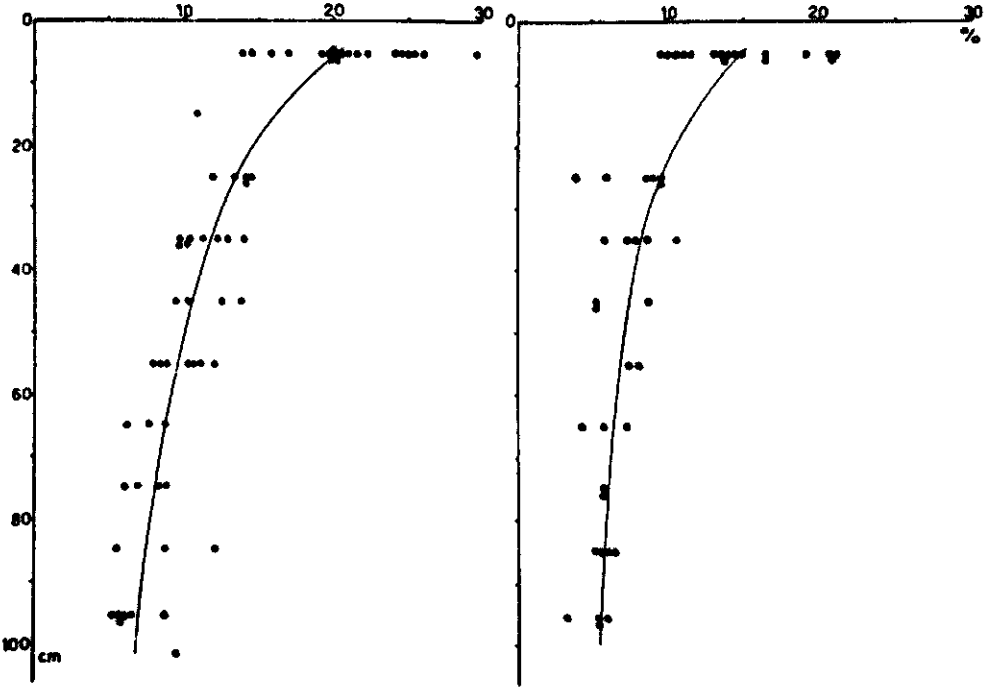
De invloed van de bewerking op de structuur is tweeërlei. In de eerste plaats gaat de structuur door het verlies aan organisch materiaal, dat de structuurvormende factor is, achteruit. De binding van de aggregaten wordt geringer, zodat deze in de oorspronkelijke elementen uiteenvallen. De poriënverdeling verandert zodanig, dat het percentage capillaire poriën afneemt en derhalve de watercapaciteit kleiner wordt. De resultaten van het onderzoek naar de watercapaciteit zijn in tabel 9 ondergebracht.

Achteruitgang van de watercapaciteit, voor deze gronden de belangrijkste physische factor, blijkt uit de gegevens duidelijk. De verschillen tussen onbebewerkte en bewerkte profielen zijn voor de drie hoogste horizonten significant.

Voor een onbewerkt profiel bedraagt het watervasthoudend vermogen voor een diepte van 100 cm gemiddeld 110 mm. Na de bewerking daalt dit tot ongeveer 80 mm, hetgeen dus een daling van meer dan 25% in 50 à 100 jaar betekent.

In de onderzochte gronden, waar het water veelal de minimumfactor uitmaakt, houdt een dergelijke achteruitgang vaak aanzienlijk verlies in vruchtbaarheid in.

De resultaten zijn in figuur 10 nogmaals grafisch verwerkt.

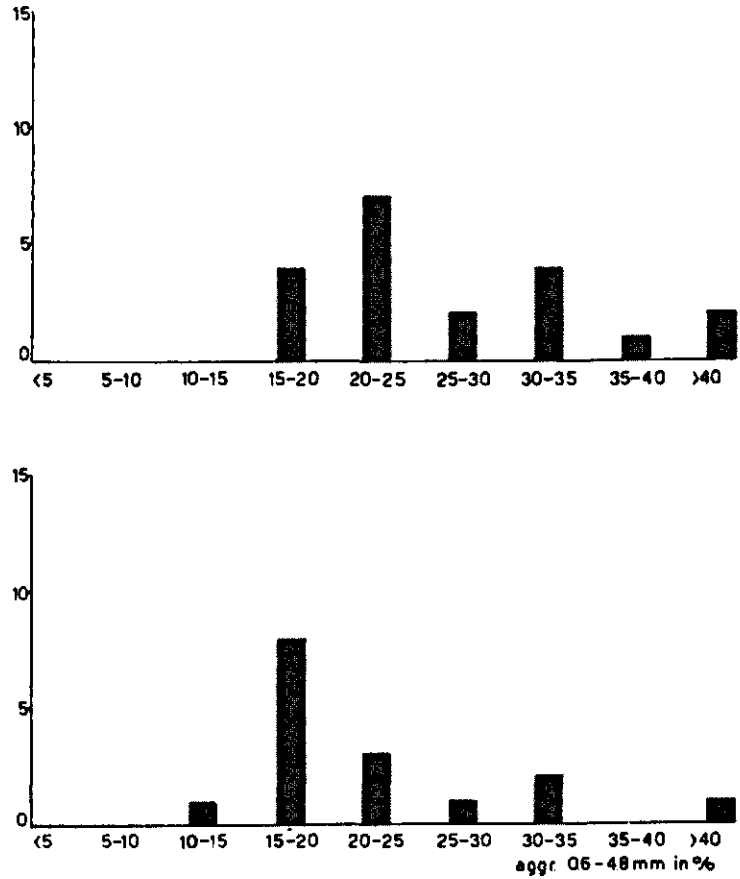


Figuur 10

De watercapaciteit (pF = 2,7), links in onbewerkte, rechts in bewerkte gronden
(The field capacity (pF = 2,7), left in untilled, right in tilled soils)

In de linkergrafiek zijn de onbewerkte gronden ondergebracht, in de rechtergrafiek de bewerkte. Door de punten hiervan is een vrije-hand-curve getrokken.

Een dergelijke achteruitgang van watercapaciteit 25 jaar na de bewerking werd reeds door Skorodumov (48) vastgesteld. Tevens blijkt, dat de stabiliteit van de structuur, uitgedrukt als percentage waterstabiele humus van 0,6-4,8 mm, onder de bewerking heeft geleden. Zet men de percentages waterstabiele uit tegen het aantal malen dat deze voorkomen, figuur 11, dan blijkt een verschuiving naar de



Figuur 11

De frequentie van het percentage waterstabiele aggregaten, boven in onbewerkte, onder in bewerkte gronden

(The frequency of the percentage of waterstable aggregates, top in untilled soils, below in tilled soils)

slechte zijde op te treden. Door de sterke variabiliteit van de stabiliteit van de structuur op korte termijn, en de ongelijktijdige monstername, mag de waarde van deze cijfers als criterium voor de invloed van de bewerking niet hoog worden aangeslagen. De tendens tot achteruitgang onder invloed van de bewerking is echter aanwezig.

In de tweede plaats is de invloed van de bewerking op de structuur van meer mechanische aard. De vrij vaste natuurlijke grond wordt intensief losgemaakt. Het percentage grote poriën wordt verhoogd, zodat meer lucht in de bodem kan toetreden. De gevolgen hiervan zijn reeds uitvoerig besproken.

Deze losse structuur blijkt zich echter lang te kunnen handhaven. Tientallen jaren na de bewerking, zelfs eeuwen lang,* is de bewerkte grond losser dan de de onbewerkte. Het duurzaam verbeteren - dit betekent in de eerste plaats een verhoging van de watercapaciteit - zal dus pas na lange perioden mogelijk zijn. Zolang immers de aeratie te hoog is, wordt het organisch materiaal overwegend gemineraliseerd, terwijl voor een herstel van de structuur aanvoer van humus noodzakelijk is. De overmatige mineralisatie resulteert bovendien in een hogere biologische bodemactiviteit, zodat ook van deze zijde geen humusvorming is te verwachten. Eerst bij een normale aeratie, wanneer de bewerkte grond zich weer voldoende gezet zal hebben, kan met een werkelijk herstel van de structuur rekening worden gehouden.

De invloed van de bodembewerking op de structuur kan als volgt worden samengevat:

1. Zowel de actuele toestand van de structuur - watercapaciteit, luchtcapaciteit, totaal poriënvolume - als de stabiliteit worden op de droge zandgrond bepaald door het gehalte en de aard van humus. Aangezien de bewerking een verlies van humus veroorzaakt, wordt de structuur door de bewerking ongunstig beïnvloed.
2. Het watervasthoudend vermogen van de droge zandgronden is een van de belangrijkste minimumfactoren. Deze factor daalde onder invloed van een intensieve bodembewerking in 100 jaar met meer dan 25%. Op deze gronden betekent intensieve bewerking ernstig vruchtbaarheidsverlies. Tevens kan door verlies aan watercapaciteit van de grond de gevoeligheid van dennen voor de aantasting van de dennenlotrups sterk verhoogd worden, zoals door Voute (50) in een onderzoek is vastgesteld.
3. De door de bewerking verstoorde poriënverdeling blijft gedurende tientallen jaren in stand. Eerst nadat herstel is ingetreden - langs natuurlijke weg door zetting van de grond - is duurzame verbetering van de grond volgens normale bosbouwkundige bedrijfsmaatregelen mogelijk.
4. Uit het oogpunt van structuurverzorging in bosgronden, dient iedere intensieve bewerking, vooral die bewerkingen, waarbij de bovengrond naar beneden wordt gebracht, in het bosbedrijf achterwege te blijven.

*) De enkele duizenden jaren oude graven in grafheuvels op onze heidegronden zijn thans nog duidelijk losser dan de ongeroerde grond.

HOOFDSTUK V

De invloed van de bewerking op de morphologie van het profiel

Behalve de bestudering van de invloed van de bewerking op de actuele vruchtbaarheid van de grond, is het van belang na te gaan, hoe op de duur het geheel verstoorde bodemprofiel zich zal ontwikkelen. De omstandigheden immers, waaronder het klimaat via de vegetatie op de bodem inwerkt zijn volkomen veranderd, hetgeen zeer zeker invloed op de opbouw van het bodemprofiel zal uitoefenen.

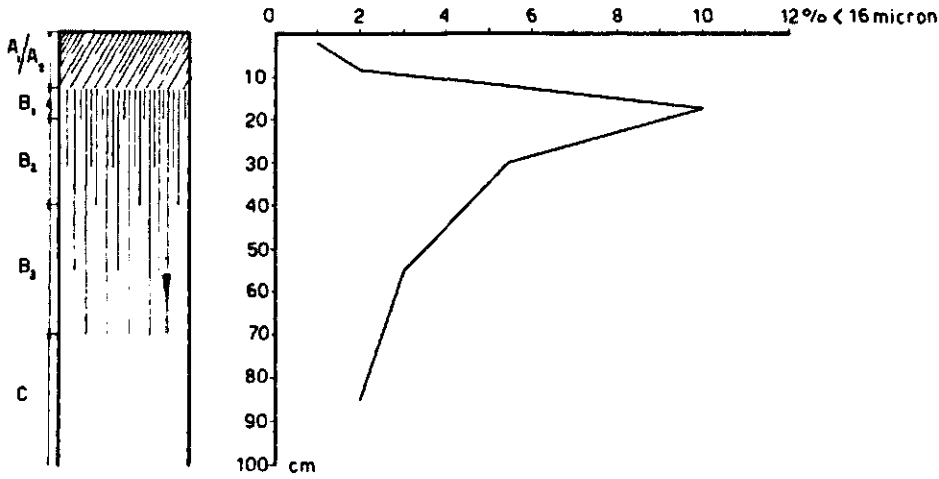
Beschouwen wij daartoe in de eerste plaats de morphologie van een onbewerkt droog bruin bosprofiel van het gestuwd praeglaciaal. Dit profiel is samengesteld uit drie horizonten, een A of uitspoelingshorizont, een B of een inspoelingshorizont en een C-horizont, die het onveranderde moedermateriaal symboliseert.

Onder invloed van het klimaat - neergaande waterstroom in het profiel - en de vegetatie - organische zuren - wordt het oorspronkelijke materiaal aan verwering blootgesteld. Dit betekent een afbraak van de primaire mineralen en een nieuwe vorming van kleimineralen uit de bij de verwering vrijkomende afbraakproducten. Een dergelijk proces kan slechts plaats vinden in een zuur milieu. Zonder vegetatie heeft dus geen of zeer geringe verwering en kleivorming plaats (Laatsch 25, Pallmann c.s. 39). De invloed van vegetatie en klimaat kan echter zo groot zijn, dat de bovengrond intensief verzuurt en geen kleivorming plaats heeft, maar de silicaten geheel worden afgebroken. De afbraakproducten worden, uitgezonderd het resistente kwarts, naar beneden getransporteerd. In de dieper gelegen lagen, met een hogere pH (B) worden deze solvormige producten langs isoelectrische weg of ook langs zuiver mechanische weg tot uitvlokking of tot stilstand gebracht. In deze diepere lagen zijn dan ook de zandkorrels met een huidje van ijzerhumusverbindingen bedekt. Dit verleent aan de grond zijn typische bruine kleur. Bevatten deze huidjes meer ijzer, dan verandert de bruine kleur in een meer rode tint, hetgeen wijst op armere gronden, die sterker tot uitspoeling neigen.

De uitspoelings of A-horizont bestaat uit een A_1 en een A_2. De A_1 is het bovenste deel van de A, waarin langs biologische weg het organisch materiaal met de minerale grond wordt vermengd. Uit deze A_1, die 5 à 10 cm dik is, volgt zeer geleidelijk een zwak uitgesproken A_2, ook van 5 à 10 cm dikte, waarin de uitloging duidelijk wordt aangetoond door het hogere gehalte aan witte en grijze kwartskorrels.

De B-horizont die hieronder volgt, is eveneens in verschillende lagen te verdelen. De bovenste, de B_1, is de laag, waarin de uit de A-horizont gespoelde afbraakproducten en humuscomplexen tot coagulatie komen. Een groot deel van de humuszuren coaguleert hier en vormt stabiele verbindingen met de verplaatste en nieuwgevormde anorganische colloiden. De kleur van de B_1 is dan ook meestal donker en heeft een paarse glans. Het gehalte aan anorganische colloiden en humus is hier het hoogste van de gehele B-horizont. De dikte van de B_1 bedraagt meestal ongeveer 5 cm. Onder de B_1 volgt de bruin gekleurde B_2, waarin meer ijzerhumuscomplexen aanwezig zijn. Bij verder afname van het humusgehalte zijn eventueel nog een B_2, B_3 en B_4 te onderscheiden. De gehele B-horizont kan afmetingen bezitten van 30 tot 120 cm. Een schematische schets van het profiel met de daarbij behorende gehalten aan anorganische colloiden is in figuur 12 gegeven.

Het is een bekend verschijnsel, dat in deze bruine bosgronden de B-horizont over het algemeen vrij lemig aanvoelt, in tegenstelling tot de A-en C-horizont.



Figuur 12

Schematisch bodemprofiel met het gehalte afslibbaar onder natuurlijke omstandigheden

(Soil profile in diagram with the content of anorganic colloidal material under natural circumstances)

Deze lemigheid, die wordt veroorzaakt door de nieuw gevormde kleimineralen en het ingespoelde colloidale ijzer, stabiliseert de humus voor afbraak. De actieve groepen van de humuszuren worden geblokkeerd, zodat de stabiliteit van deze humuskleiverbindingen en humusijzerverbindingen veel groter is dan die van de humuszuren zonder meer. Het colloidale materiaal wordt beschermd tegen uitspoeling en de humus tegen afbraak. Hoewel het gehalte aan anorganische colloiden niet toereikend is om alle humuszuren te binden, is de invloed op de humusverzorging van deze gronden van groot belang.

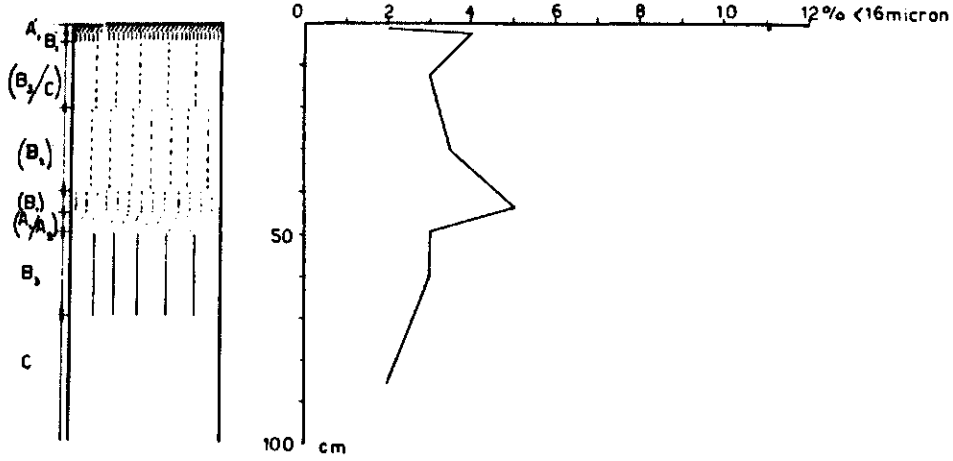
Een profiel als hier is beschreven is een natuurlijke eenheid en het resultaat van eeuwenlange wisselwerking tussen klimaat, moedermateriaal en vegetatie. Een dergelijke natuurlijke eenheid kan niet zonder gevolgen worden verstoord. Een storing vindt plaats door de bewerking. Vooral de oudste bewerkingen, waarbij de humeuze bovengrond, zowel de A als een deel van de B, naar beneden werd gespit en de steriele C naar boven werd gebracht, moeten als zeer schadelijk worden aangemerkt. Er waren weliswaar geen moeilijkheden meer met een onkruidvegetatie, maar de storing van het profiel bracht ernstige achteruitgang van vruchtbaarheid met zich mede. Bovendien is het niet bekend, of de bodemontwikkeling, die op deze steriele grond weer geheel opnieuw moet beginnen, het oorspronkelijke niveau zal bereiken.

Op de naar boven gewerkte grond van de C horizont ontwikkelt zich een nieuw bodemprofiel. Deze ontwikkeling is echter afwijkend van de ontwikkeling onder natuurlijke omstandigheden. Daar begint de verwering bovenaan en dringt steeds dieper naar beneden door. Door humusinfiltratie en kleivorming stelt de bodem

zich teweer tegen de verwerende invloed van klimaat en vegetatie en er ontstaat een evenwichtstoestand. In een omgekeerde grond begint de verwering eveneens bovenin. In de diepere lagen komt echter reeds sterk verweerd materiaal voor. De buffer van de nieuwe bovengrond is zwak ontwikkeld en de verzurende werking van klimaat en vegetatie kan diep doordringen. Het gevolg hiervan is, dat de pH in het gehele profiel laag blijft en de afbraak van de in de B aanwezige klei-, humus- en ijzer-complexen toeneemt. De afbraakproducten worden in deze zure grond niet tot coagulatie gebracht, maar zelfs voor transport gestabiliseerd door H-ionen en oxyzuren. De B horizont verdwijnt onder invloed van deze bodembewerking door uitspoeling en afbraak, terwijl het organische materiaal van de ondergespitte A_1 langzaam oxydeert. Eerst wanneer door voldoende humusinfiltratie de verzuring kan worden gebufferd, is herstel van de grond mogelijk. Er zal zich onder de A_1, althans wanneer de grond nog voldoende silicaten bevat, een nieuwe B vormen, waarin de voedingsstoffen adsorptief kunnen worden gebonden en geen verdere uitspoeling plaats vindt. Ook de oude A horizont zal haar zure karakter langzaam verliezen. Dat dit proces zelfs bij juiste houtsoortenkeuze een proces van vele tientallen jaren, ja zelfs eeuwen is, werpt een duidelijk licht op de enorme schade die een dergelijke diepe bewerking aan deze gronden toebrengt.

Een schematische schets van een aldus bewerkt profiel wordt in figuur 13 gegeven. De resultaten van een analyse van het gehalte aan anorganisch colloidaal materiaal van een profiel, dat ruim 100 jaar geleden bewerkt werd, worden eveneens vermeld. De beplanting van dit object, dat behoort tot de oudste bewerkte gronden bestaat uit opgaand loofbos. Duidelijk blijkt, dat het colloidaal materiaal en derhalve ook de humus, uit de ondergespitte grond is verdwenen, en dat zich zeer zwak een nieuw profiel heeft gevormd. De oude toestand heeft zich echter nog lang niet hersteld ondanks een loofhoutbeplanting. Eerder kan worden gezegd, dat de bodemvruchtbaarheid zich over haar dieptepunt heen bevindt.

Een bewerking, waarbij de lagen zoveel mogelijk op hun oorspronkelijke



Figuur 13

Schematisch bodemprofiel met het gehalte afslibbaar ± 100 jaar na diepe bewerking
(Soil profile in diagram with the content of anorganic colloidal material ± 100 years after deep tillage)

plaatsen blijven liggen, is uiteraard minder ongunstig. Is echter de diepte van de bewerking zodanig, dat de A met een deel van de B-horizont wordt bewerkt en gemengd (dit is niet te voorkomen) dan kan toch ook hier een storing in de bodemontwikkeling optreden. De buffercapaciteit van de A-horizont neemt door de mineralisatie van de humus af, hetgeen een diepere verzuring van de grond betekent. De B wordt dan op dezelfde manier als hierboven is behandeld afgebroken. Ook hier is pas herstel te verwachten, wanneer de oude toestand is bereikt. Dit vereist in verband met delangdurige sterkere doorluchting en hogere biologische bodemactiviteit lange perioden.

Wordt de bewerking slechts oppervlakkig uitgevoerd, dus in de humeuze A horizont, dan heeft een zekere activering plaats. Door het hoge stikstofgehalte van de organische stof en de aanwezigheid van ruw, nog te humificeren, materiaal, is het verlies niet zo groot, dat de bodemvormende processen worden gestoord. Door de menging van ruw organisch materiaal met de A-horizont en de sterkere humusvorming, neemt het gehalte aan echte humusstoffen zelfs toe. Een dergelijke bewerking doet geen schade aan de grond, maar werkt, wanneer ruwe humus aanwezig is, bodemverbeterend. De diepte van die bewerking wordt uiteraard bepaald door de morphologie van het profiel en meer in het bijzonder de A-horizont. Is deze diep, dan kan ook de bewerking dieper zijn, bij een ondiepe A-horizont, hoort ondiepe bewerking. Voor de droge, ongestoorde bruine bosgronden, bedraagt de gemiddelde dikte van deze A-horizont 10 à 15 cm. Hiernaar heeft zich de bewerking te richten.

SAMENVATTING VAN HET BEHANDELDE:

1. De morphologie van het bodemprofiel wordt behalve mechanisch, zoals door omkeren van de lagen, ook door de versterkte verwering beinvloed. Hierbij moet vooral de afbraak van de oorspronkelijke B-horizont opgemerkt worden.
2. Het ongestoorde bodemprofiel is het eindpunt van de natuurlijke bodemontwikkeling. Bewerking heeft tot gevolg, dat de bodemontwikkeling wordt terug gezet. De traagheid waarmee de natuur deze storingen corrigeert is zo groot, dat met lange perioden met een lagere bodemvruchtbaarheid genoegen moet worden genomen.
3. Voor de behandelde gronden dient bodembewerking zoveel mogelijk achterwege te blijven. Is bewerking echter noodzakelijk, dan is de dikte van de A-horizont criterium voor de diepte van deze bewerking. Dit betekent in het algemeen een bewerkingsdiepte van maximaal 10 à 15 cm.

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

De betekenis en het effect van de grondbewerking worden in de bosbouw in belangrijke mate beoordeeld volgens maatstaven, die ontleend zijn aan de groei van de jonge cultuur. Niettegenstaande de stelling, dat het voorkomen van een physiologische storing in de grond in de vorm van een bank criterium is voor het toepassen van grondbewerking, bekend en volkomen juist is, heeft de gunstige invloed op de groeisnelheid van de jonge opstand er toe geleid, dat de grondbewerking ook op open gronden algemeen toepassing vindt. De oorzaak van deze goede invloed op de ontwikkeling van de jonge cultuur, moet hierbij vooral worden gezocht in de tijdelijke uitschakeling van de concurrerende onkruidvegetatie en de mobilisatie van voedingsstoffen.

Bij een dergelijke eenzijdige beoordeling van de grondbewerking wordt het aspect van de instandhouding van de bodemvruchtbaarheid veronachtzaamd. Grondbewerking is niet een eenvoudige bedrijfsmaatregel, waarop milieu en opstand slechts kort reageren, het is, vooral wanneer de bewerking zo diep is, dat de natuurlijke bouw van het profiel wordt verstoord, een melioratie, die, zo niet blijvend, dan toch vele decennia haar invloed blijft uitoefenen. Het ingrijpen in het dynamische evenwichtssysteem, dat de bodem met de overige milieufactoren vormt, waardoor de physische, chemische, biologische en physiologische toestand verandert, betekent een wijziging in de vruchtbaarheid van de groeiplaatsen, meer in het bijzonder van de bodem.

Dit aspect van de grondbewerking wordt veelal over het hoofd gezien. Bewerking van gronden, waarbij duurzaam een physiologische storing wordt opgeheven, houdt een verhoging van de vruchtbaarheid in, doordat het wortelvolume wordt vergroot. Voorgaande studie heeft zich bezig gehouden met het onderzoek van de invloed van de bewerking op de vruchtbaarheid van de open droge zandige bosgronden, waarin geen physiologische storingen voorkomen.

De vruchtbaarheid van de bosgrond wordt beschouwd als een functie van de constante en variabele bodemfactoren. De optimale vruchtbaarheid, bepaald door de ontwikkeling van de variabele factoren, wordt begrensd door de constante factoren. Gronden met gelijke constante bodemfactoren bezitten onder natuurlijke omstandigheden gelijke vruchtbaarheid. De variabele factoren worden onder andere veranderd door een bewerking van de grond. Door vergelijkend onderzoek van bewerkte en onbewerkte gronden is in deze studie de invloed van de bewerking op de vruchtbaarheid onderzocht. Hierbij is zorg gedragen, dat de constante factoren in de objecten zoveel mogelijk overeenstemmen.

Het belangrijkste effect van de grondbewerking is een verhoging van de reeds meer dan optimale aeratie en de biologische bodemactiviteit, hetgeen een versterkte afbraak van de humus en het overige organische materiaal - mineralisatie - tot gevolg heeft. Dit leidt tot een verlies van organisch gebonden stikstof en fosfaat door denitrificatie en uitspoeling en uitspoeling alleen, vermindering van de buffercapaciteit en toename van de verzuring van de grond, achteruitgang van het watervasthoudend vermogen en de stabiliteit van de structuur. Deze variabele factoren, die het belangrijkste zijn voor het bepalen van de vruchtbaarheid, dalen door de bewerking in waarde, zodat hieruit de conclusie is te trekken, dat:

bodembewerking, waarbij natuurlijke bouw van het profiel wordt verstoord, leidt op de droge bosgronden van het gestuwd praeglaciaal tot verlies van bodemvruchtbaarheid.

Opvallend is hierbij het verschijnsel, dat het verhogen van de biologische bodemactiviteit boven het natuurlijke niveau - climaxtoestand - een gevaar is voor de instandhouding van de bodemvruchtbaarheid. Een te hoge biologische activiteit leidt tot een versterkte afbraak van het zo belangrijke humuskapitaal in de grond. Dit is een wetmatigheid, die voor de practische bosbouw in verband met de bodemvoorbereiding van buitengewone betekenis is. Men kan ook zonder diepe grondbewerking de biologische activiteit verhogen door een extra zware kalkbemesting. Dit heeft min of meer eenzelfde werking als een diepe grondbewerking. De humus wordt in een snel tempo gemineraliseerd. Hoge kalkgiften zijn dan ook alleen verantwoord wanneer het paket van ruwe humus - dit is de reserve van organische stof - toereikend is om de versterkte afbraak door een ruime toevoer van echte humus te compenseren.

Een te lage activiteit is evenmin wenselijk, daar deze de vorming van ruwe zure humus in de hand werkt. Er is één biologische activiteit voor iedere groeiplaats, die optimaal is. Deze te handhaven betekent duurzame instandhouding van de vruchtbaarheid. Wanneer de resultaten van dit onderzoek in practijk worden gebracht dan houdt dit in, dat de verjonging van bossen behalve op het welslagen van de jonge cultuur in even grote mate gericht moet zijn op de duurzame instandhouding van de vruchtbaarheid van de grond. In de eerste plaats betekent dit voor de bosgronden van het gestuwd praeglaciaal een achterwege laten van een bewerking, die de natuurlijke bouw van het profiel stoort.

Hoewel de nog veel in Nederland toegepaste verjongingsmethode van kaalkap in theorie niet inhaerent behoeft te zijn aan vollegrondsbewerking, die te diep is, is zij dit in de practijk meestal wel. Na kaalkap wordt immers in de meeste gevallen niet dadelijk opnieuw bebost, en krijgt de bodemflora kans zich in het volle licht en op de door het slepen van stammen geactiveerde ruwe humus, dermate te ontwikkelen, dat een jonge cultuur hierdoor gevaar loopt te mislukken. Om een dergelijke verwilderde groeiplaats voor te bereiden voor de opstandsaanleg, is grondbewerking noodzakelijk. Deze grondbewerking heeft tot taak de verwildering effectief zo lang te bestrijden, tot de jonge opstand in sluiting komt. De meest doelmatige wijze van bewerking is voor dit doel vollegrondsbewerking met onderbrengen van de kiemenbevattende bovengrond. Gebeurt dit niet, dan is binnen korte tijd de onkruidvegetatie even sterk, zo niet sterker ontwikkeld - door de hogere mineralisatie van het organisch materiaal - dan voorheen. Dergelijke voorbereidingen van de grond zijn voor gronden van het gestuwde praeglaciaal en alle andere zandgronden zonder bank en zonder grondwater, uit den boze en bergen grote gevaren voor de vruchtbaarheid en de opstand op latere leeftijd in zich. Er dient daarom zoveel mogelijk met de verjongingsmethode na kaalkap te worden gebroken en in de plaats hiervan moet worden gezocht naar verjongingsmethoden, waarbij onjuiste grondbewerking geheel achterwege kan blijven.

De steeds meer in gebruik komende verjonging onder scherm van de oude opstand betekent een grote stap in de goede richting. De oude opstand, mits niet al te sterk gelicht, biedt de bosbouwer een middel om de hinderlijke bodemvegetatie in toom te houden, terwijl de nieuwe opstand in verband met het natuurlijke schaduwverdragende jonge stadium, onder dat scherm een bevredigende groei vertoont. Zodra dan de jonge cultuur voldoende gesloten is om iedere onkruidverwildering tegen te gaan, kan het oude scherm worden opgeruimd. Behalve het feit, dat een dergelijke methode van verjonging iedere onjuiste grondbewerking overbodig maakt, komt zij veel meer overeen met het natuurlijke karakter van de opstand en de daarin levende individuen. Ook dit is voor het duurzaam behoud van de vruchtbaarheid van de groeiplaats van groot belang. Verjonging onder scherm

kent vele verschijningsvormen en het is de taak van practijk en onderzoek hierin een vaste lijn te leggen, die het economische karakter van de bosbouw zoveel mogelijk in overeenstemming brengt met het natuurlijke karakter van de individuele groeiplaats.

SUMMARY

Deep cultivation and the production capacity of dry sandy forest soils.

INTRODUCTION

The importance of deep cultivation is generally judged according to its immediate effect, such as the growth of the young stand. This judgment, however, is incomplete, because it does not take into account the long-term effect on the production capacity of the soil.

The increasing application of intensive tillage in the Netherlands - caused for the greater part by extreme mechanization -, as well as the growth disturbances which occur in a stand on tilled soil, both add to the urgency for research on the influence of deep cultivation on the production capacity. Every cultivation which mobilizes more nutrients than are taken up by the vegetation, influences the production capacity unfavourable, since the excess of nutrients is lost by leaching. The production capacity should be considered as a function of both the constant and the variable soil-factors. By contrasting corresponding variable soil factors of tilled and untilled soils, which have similar constant soil factors, the influence of the cultivation on production capacity can be determined.

CHAPTER I

The sample plots and the methods used.

This research has been restricted to dry sandy forest soils in which no pan or other such layers occur. They are brown podsolic soils and lay on the push-moraine complex in the centre of the Netherlands. All together 50 samples were studied, 25 of which were tilled and 25 untilled. Cultivation took place for the first time 50-100 years ago, and was, on an average, up to a depth of 50 cm.

In table 1 the sites and their stands are shown. In table 2 the mechanical composition, since this is the most important constant soil factor, is given for the most characteristic samples. These were determined by sieve-pipette analysis. The following variable factors were studied: The organic matter content by ignition, nitrogen by Kjeldahl-Lauro micro-analysis, phosphate, after extraction with Lemmermann acid and citric acid, by the colorimetric molybdene method, acidity with the glasselectrode, field capacity after Scofield's pF-method and the stability of the structure by sieving aggregates in water. The biological soil activity was determined by cellulose and albumin threads after Richard.

CHAPTER II

The influence of cultivation on the organic matter content in the soil.

In accordance with the results of modern humus research the writer proposes that for the total organic matter of the soils studied, distinction should be made between litter as the fresh organic material, raw humus as the partly decomposed material (not being mixed with the mineral soil), unstable humus as the structureless organic material mixed with the mineral soil (but not having formed complexes with iron, aluminium or clay), and stable humus as the newly-built complexes

stabilized by iron, aluminium or clay. The concept of humus as a whole comprises both stable and unstable humus. The mineralization and humification processes are regulated by the biological soil activity. The higher the biological soil activity, the stronger the mineralization of the organic material. Cultivation tends to increase this activity. (Table 3 and fig. 1). In addition, the increased aeration intensifies the mineralization of the humus, so that it disappears quantitatively from the soil. (Table 4 and fig. 2). These losses amount to ± 100.000 kg organic matter/ha in 50-100 years after cultivation, i.e. about 30% of the total.

Since the humus determines production capacity on these soils poor in colloids, by acting as a buffer of cations and anions, and by improving the soil structure etc., cultivation involves a decrease in production capacity.

CHAPTER III

The influence of cultivation on nitrogen and phosphorus economy.

Nitrogen and phosphorus comprise two of the most important chemical factors, since they are often limiting. In these soils, all the nitrogen and most of the phosphorus occur, in organic form (fig. 3 and 4). Thus by mineralization of the organic matter - cultivation - a considerable part becomes mobilized. Further due to the higher biological soil activity nitrogen is converted via nitrate and nitrite into elementary nitrogen, which disappears in the gaseous phase. Nitrate-nitrogen is formed to a greater extend, but it cannot be taken up completely, and so a part gets lost by leaching (table 5 and fig. 5). These losses amount after 50-100 years to ± 4000 kg pure nitrogen/ha or about 30% of the total. At the same time, these losses of nitrogen and the increased nitrification have an unfavourable influence on the process of humification - building up the lignine complexes with ammonia-nitrogen. The influence of cultivation on phosphate economy is two-fold: In the first place, a part - which cannot be taken up - gets lost by leaching; secondly, the increasing acidity at lower levels, caused by a decrease of buffering capacity, effects a fixation of phosphate by iron and aluminium. This occurs mainly in those layers in which organic matter is insufficient to inactivate iron and aluminium. Table 6 and figs 6 and 7 give a survey of the phosphate content of the soil. In table 8 the availability of the phosphate is given. It plainly shows the deterioration of the 80-120 cm layer. The increased mobilization of Al could cause the growth disturbances of Scots pine which often occur in tilled soils. This species takes up Al in great quantities, by which the phosphorus becomes internally bound and cell-fission reduced. The total losses of pure phosphate caused by cultivation amount to about 2700 kg/ha.

CHAPTER IV

The influence of cultivation on the soil structure

The water economy - a factor of vital importance in determining the production capacity of these dry soils - is largely dominated by the structure of the soil. Again, the structure itself is determined by the properties of the humus and the humus content. In fig. 9 a correlation between the field-capacity (pF = 2.70) and the humus content is presented. Mineralization of the humus involves a decrease in the field capacity (fig. 10 and table 9). The mean field capacity of an untilled soil is about 100 mm; after cultivation, this is reduced to about 75 mm for a

profile 100 cm deep. The stability of the structure - percentage of waterstable aggregates of 0.6-4.8 mm - also tends to be reduced by cultivation (fig. 11).

CHAPTER V

The influence of cultivation on the morphology of the soil profile

The natural forest soil profile consists of an eluvial- or A-horizon and an illuvial- or B-horizon. The low content of primary silicates and bases results in only slight clay-building, and a dominating tendency to podsolization. The few humus-clay complexes are concentrated in the upper layer of the B horizon: B_1. The greater part of the B: B_2, B_3, etc. is made up at iron-humus complexes, or iron and aluminium only. Material which cannot be stabilized (for the greater part, the clay complexes) leaches out (fig. 12). By cultivation the A and a part of B are brought down and C or B_3 brought up, so the course of acidity changes in the entire profile, as do the soil-building and destructive processes. By increasing acidity the humus-clay and ironhumus complexes react, either as whole complexes or as products of decomposition. This colloidal material leaches out, while, at the same time the increased aeration and biological activity mineralize the A-horizon. The profile commences new development, but this takes a very long time; so after about 100 years a situation arises which is outlined in fig. 13. The morphology of the profile changes to an extent that the original A and B horizons disappear, leaving behind leached sand of the A-horizon. Previously, there was little or no profile development. On account of the mobilization of iron the entire profile generally acquires a reddish colour.

CONCLUSIONS

Cultivation, by which the natural development of the profile is disturbed, leads, on the dry soils of the push-moraine complex, to a deterioration of the most important variable soil factors and, consequently, to a reduction in the production capacity.

It is suggested that, on these soils, regeneration after clear felling - a practice which involves cultivation as a measure of weed control - should be abandoned in favour of regeneration under the shelter-wood or similar system, whereby the necessity of cultivation is eliminated.

LITERATUUR

1. Aaltonen, V.T. — Boden und Wald. 1948.

2. Van der Ban, P.A. — Gebruik van werktuigen voor grondbewerking t.b.v. de bosbouw. N.B.T. 1, 1947 *(14-16)*. 12, 1947 *(343-349)*.

3. Bakker Arkema, P.W. — Verslag van de demonstratie van bosbouwwerktuigen te Austerlitz op 11 October 1947. N.B.T. 12, 1947 *(351-357)*.

4. Baver, L.D. — Soil Physics. 2e edition. 1948.

5. Bjorkhem, K.E. — Ny Markberedningsapparat. Skogen 36, 1949 *(66)*.

6. Bower, C.A. — Studies on the forms and availabilty of soil organic phosphorus. Iowa Agric. Expt. St. Res. Bull. 362, 1949 *(963-996)*.

7. Burger, H. — Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. Zürich, 1923.

8. Callin, G. — Redogörelse för några markberedningsförsök med hästoch maskindragna redskap. Medd.fr. Statens Skogsforskningsinst. Bd 38, 1949/50 *(1-36)*.

9. Carlquist, C.G. — Markberedning i höjdlägen. Svenska Skogsvårdsföreningen Tidskrift 48, 1950 *(426-429)*.

10. Dengler, A. — Waldbau auf ökologischer Grundlage. 1936.

11. Van der Drift, J. — De levensgemeenschap van de bodem en zijn betekenis voor de omzetting van de organische stof. Maandbl. L.V.D. 7 (5), 1950 *(181-186)*.

12. Egawa, T. Nagai, K. Sato, A. — Tracing the behavior of P added to waterlogged soil: preliminary experiment with radioactive phosphorus. J.Sci.Man.Japan 22, 1951 *(61-63)*.

13. Flaig, W. — Zur Kenntnis der Huminsäuren. Z.Pflz.D.Bdk. 51, 1950 *(193-212)*.

14. Geerling, L.C. — Een paar eenvoudige boswerktuigen. N.B.T. 5, 1947 *(139-142)*.

15. Van Goor, C.P. — De productiecapaciteit van de zandige bruine bosgronden. Korte Mededeling Bosbouwproefstation T.N.O. nr 9, 1951.

16. Harmsen, G.W. — Die Bedeutung der Bodenoberfläche für die Humusbildung. Plant and Soil 3, 1951 *(110-140)*.

17. Hilf, H.H. — Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf das Wachstum auf armen Sandböden. Forstarchiv. 16, 1940 *(96-104)*.

18. Van 't Hof, C.M. — Heideontginning en boomboshervorming. N.B.T. 7, 1934 *(247-260)*.

19. Van 't Hof, C.M. — De vermeerdering van den boschgrond in Nederland. De Ingenieur 15, 1929 *(1-32)*.

20. Houtzagers, G. — Mechanisatie in de bosbouw. N.B.T. 19, 1947 *(337-342)*.

21. Hudig, J. — Organische stof in de landbouw Maandbl. L.V.D. 7 (5),1950 *(169-176)*.

22. Hudig, J en N.H. Sieuwertsz van Reesema — Het probleem van de stabiliteit der humusstoffen. L.T. 52, 1940 *(371, 529 en 577)*.

23. Jansen, J.J.M. — De grondbewerking bij herbebossing. N.B.T. 18, 1946 *(206-209)*.

24. Jessen, W. — Die Wirkung von Rohphosphat auf das Wachstum der Holzarten in sauren Waldböden. Z.Pflz.D.Bdk. 12, 1939 *(249-256)*.

25. Laatsch, W. — Die Dynamik der deutschen Acker- und Waldböden. 1938.

26. Lee, C. en R.H. Bray — Organic matter and nitrogen content of soils as influenced by management. Soil Sci. 68, 1949 *(203-212)*.

27. Leyton, L. — Nutrient uptake of conifers. For.Comm.Dept.For.Res. 1949/50, *(118-119)*, 1951.

28. Lübisch, H. — Motorisierung und Organisation des Vollumbruch-Betriebes im Overforstmeisterbezirk Frankfurt-Küstrin. Forstarchiv 17, 1941 *(1-23)*.

29. Lutz, J and Chandler, R. — Forest Soils. 1947.

30. MacLean, F.T. en B.E. Gilbert — Aluminium toxity. Plant Physiology 3, 1928 *(293-302)*.

31. Malsch, F.W. — Excursie naar het Speulder- en Sprielderbos. N.B.T. 7, 1934 *(261-270)*.

32. Mulder, J.C.E.C.N. — Ter inleiding van de excursie van de N.B.V. op 7 October 1938 naar de koninklijke houtvesterij "Hoog-Soeren". N.B.T. **11**, 1938 *(430-437)*.

33. Mulder, J.C.E.C.N. — Praeadvies voor de Bosdagen 1945 over de grondbewerking bij de herbebossing van onze kaalgeslagen bossen. N.B.T. **12**, 1945 *(322-326)*.

34. Mulder, J.C.E.C.N. — De tegenwoordige bebossing in de houtvesterij "Hoog-Soeren". N.B.T. **8**, *(90-100)*.

35. Mulder, J.C.E.C.N. — Werktuigen voor oppervlakkige grondbewerking. N.B.T. **11**, 1946 *(264-267)*.

36. Müller, P.E. — Studien über die natürlichen Humusformen. 1887.

37. Nemec, A. — Die Störungen der Phosphorsäure-ernährung bei Wachstumskümmernden Fichten- und Kiefernkulturen. Die Phosphorsäure **8**, 1939 *(178-196)*.

38. Nemec, A. — Untersuchungen über degradierte Waldböden. Z.Pflz.D.Bdk. **21**, 1940 *(195-214)*.

39. Pallman, H.E. Frei en H. Hamdi — Die Filtrationsverlagerungen hochdisperser Verwitterungsprodukte im Bodenprofil u.s.w. Ber.Schweiz.Botan.Ges. **53 A**, 1943 *(175-191)*.

40. Peerlkamp, P.K. — De invloed van organische stof op bodemstructuur en winderosie. L.T. **62/8**, 1950 *(594-610)*.

41. Peerlkamp, P.K. — Het meten van bodemstructuur. L.T. **60/8**, 1948 *(321-338)*.

42. Pierre, W.H. en A.D. Stuart — The effects of phosphorus in reducing the detrimental effects of soil acidity on plant growth. Soil Sci. **36**, 1933 *(211-227)*.

43. Puri, G.S. — The ecology of the humus layers in some english forests. Indian Forester **76**, 1950 *(418-427; 453-466)*.

44. Richard, F. — Der biologische Abbau von Zellulose und Eiweisstestschnüren im Boden. 1945.

45. Rubner, K. — Neudammer Forstliches Lehrbuch. 1948.

46. Schuffelen, A.C. — Over de scheikunde van de humus. Maandbl. L.V.D. **7,6**, 1950 *(213-218)*.

47. Scofield, R.K. — Pore-size distribution as revealed by the dependence of sunction (pF) on moisture. Trans.Intern.Soc. Soil Sci. First Comm. A, 1938 *(38-45)*.

48. Skorodumov, A.S. — The influence of forest plantations on the speed of absorption of water by structureless ploughed soils. Lesnoe Khozyaystvo 3, 1941 *(7-14)*. (For.Abstracts 6/3, 1945 *(138).)*

49. Struthers, P.H. en D.H. Sieling — Effect of organic anions on phosphate precipitations by iron and aluminium as influenced by pH. Soil Sci. **69**, 1950 *(205-213)*.

50. Voute, A.D. — De oorzaak van het optreden van gradaties van de dennenlotrups en de mogelijkheid deze te voorkomen. Mededeling nr 14, 1946, van het Instituut voor Toegepast Biologisch Onderzoek in de Natuur.

51. Tamm, C.O. — Markförbättringsförsök på mager sand. Medd.Statens Skogsforskningsinstitut **36**, (7), 1947 *(1-107)*.

52. Thompson, L.W. — The mineralisation of organic phosphorus, nitrogen and carbon in virgin and cultivated soils. Iowa St.College J. Sci **25**, 1951 *(369-370)*.

53. Tromp, P.H.M. — De landelijke demonstratie van bosbouwwerktuigen te Hoog Buurlo. Tijdschr. Ned. Heidemij **62/8**, 1951 *(238-243)*, **62/10** 1951 *(294-298)*, **62/11** 1951 *(332-338)*, **63/2**, 1952 *(49-53)*, **63/5**, 1952 *(138-141)*.

54. Wagenknecht, E. — Über den Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf das Wachstum Kiefernkulturen. Z.f. Forst- und Jagdwesen **73**, 1941 *(297-342; 369-399)*.

55. Wright, K.E. — Internal precipitation of P in relation to Al toxity. Plant Physiology **18**, 1943 *(708-712)*.

56. Wittich, W. — Untersuchungen über den Einfluss intensiver Bodenbearbeitung auf Hohenlübbichower und Biesenthaler Sandböden. 1926.

57. Wittich, W. — Über die Wirkung intensiver Bodenbearbeitung auf diluvialen Sandböden mit Trockentorfauflage. Z.f. Forst- und Jagdwesen **62**, 1930 *(564-579)*.

L.T. = Landbouwkundig Tijdschrift.

Maandbl. L.V.D. = Maandblad Landbouwvoorlichtingsdienst.

N.B.T. = Nederlandsch Boschbouw Tijdschrift.

Z. Pflz. D. Bdk. = Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde.

Tabel 1

Bezetting en ligging van de proefperken

(Stocking and situation of the sample plots)

Nr object	Opstand (Stand)	Nr top. kaart 1 : 25.000 (Nr top. map) 1 : 25.000	Coördinaten (Coordinates)	Bodembewerking (Soil tillage)
1	Quercus petraea, Fagus silvatica	32 O	34,6-74,6	geen (no)
2	Q. robur, Q. petraea	32 O	34,6-74,5	geen ,,
3	F. silvatica	26 O	50,2-35,3	geen ,,
4	F. silvatica	26 O	50,1-35,3	geen ,,
5	F. silvatica	26 O	35,0-50,2	geen ,,
6	F. silvatica	32 O	34,5-74,0	geen ,,
7	Q. robur, Q. petraea	32 O	34,6-74,1	geen ,,
8	F. silvatica	32 O	34,9-74,5	geen ,,
9	Q. robur, Q. petraea	32 O	34,9-74,6	geen ,,
10	F. silvatica	26 O	35,5-50,3	geen ,,
11	Q. robur, Q. petraea	26 O	35,2-50,3	geen ,,
12	Q. robur, Q. petraea	26 O	35,5-50,7	geen ,,
13	Q. robur, Q. petraea	39 O	176,0-442,6	geen ,,
14	Q. robur	40 W	182,0-443,2	geen ,,
15	Q. robur, Q. petraea, Betula	40 W	182.0-443,1	geen ,,
16	Q. robur, Q. petraea, Betula	40 W	182,0-443,2	geen ,,
17	Q. robur, Q. petraea, Betula	40 W	181,9-443,2	geen ,,
18	Q. robur, Q. petraea, Betula	40 W	182,3-442,8	geen ,,
19	Q. robur, Q. petraea, Betula	40 W	182,5-442,6	geen ,,
20	Q. robur, Q. petraea, Betula	40 W	182,7-442,8	geen ,,
21	Q. robur, Q. petraea, Betula	40 W	182,8-442,8	geen ,,
22	Q. robur, Q. petraea, Betula	40 W	182,7-442,6	geen ,,
23	Q. robur, Q. petraea,	40 W	183,2-442,8	geen ,,
24	Q. robur, Q. petraea	40 W	183,3-442,9	geen ,,
25	Q. robur, Q. petraea	40 W	183,5-442,8	geen ,,
26	Q. robur	39 O	178,7-449,5	60 cm
27	Betula pendula	39 O	177,7-444,8	50 cm
28	Q. robur, Q. petraea	39 O	177,9-445,5	80 cm
29	Q. robur, Q. petraea	39 O	177,4-444,7	80 cm
30	Q. robur, Q. petraea	32 O	34,8-52,7	70 cm
31	Q. robur	33 W	58,7-9,3	45 cm
32	Q. robur	33 W	58,8-9,4	45 cm
33	Q. robur	33 W	58,6-9,8	45 cm
34	Q. robur	33 W	58,7-9,8	45 cm
35	Larix leptolepis	27 W	16,2-61,3	40 cm
36	Larix leptolepis	34 W	13,6-73,2	40 cm
37	Larix leptolepis	33 W	16,0-61,5	45 cm
38	Larix leptolepis	40 W	198,6-448,5	45 cm
39	Larix leptolepis	40 W	198,7-448,5	45 cm
40	Q. borealis	40 W	188,3-445,6	70 cm
41	Q. borealis	40 W	188,8-425,6	70 cm
42	Q. borealis	40 W	189,3-425,4	60 cm
43	Q. borealis	27 W	1,2-59,8	70 cm
44	Q. borealis	33 W	8,3-73,8	40 cm
45	Q. borealis	33 W	73,9-7,4	40 cm
46	Q. borealis	32 W	142,2-462,2	60 cm
47	P. sylvestris	33 O	20,5-40,1	60 cm
48	P. sylvestris	33 W	21,2-50,5	60 cm
49	Q. robur	39 O	176,3-449,1	50 cm
50	Q. robur	39 O	177,3-448,8	50 cm

Tabel 2

Granulaire samenstelling van de grond in een aantal proefperken in gewichtsprocenten

(Mechanical composition of the soil in some sample plots, in percentage of weight)

Proefperk (*Sample plot*)	diepte (*depth*) cm	0-16 micron	16-50	50-75	75-105	105-150	150-210	210-300	300-420	420-600	600-850	850-1200	1200-1700	>1700
1	35	6	3,5	6	7	9	17	19	19	17	7	4,5	1	1,5
	85	3	0,5	1	2,5	3	19	9	16	21	15	20	4,5	4,5
3	15	3	2,5	4	9	14	24	21	18	15	5	3,5	0,5	1
	45	4,5	2,5	4,5	11	17	22	24	18	13	4	3	0,5	0,5
	95	4	2,5	4,5	10	17	26	22	16	13	5	3,5	0,5	0,5
4	5	3,5	2	5	13	24	29	29	14	7	2	1	0,2	0,1
	45	4,5	2,5	6	15	28	25	25	10	6	1,5	1,5	0,2	0,2
14	25	8	4	3	2,5	4	16	9	14	22	15	14	2,5	3,0
	85	1	0,3	0,3	1,0	4,5	9	11	15	35	17	10	1,5	2,5
18	45	8	14	10	5	10	14	14	14	13	5	4,5	1	1,5
	85	7	14	10	5	11	15	21	14	10	4,5	3,0	1	1
20	35	9	8	7	3,5	7	14	14	16	17	8	8	1,5	1,5
	85	2	1	1	4,5	17	21	27	24	17	4	2,5	0,3	0,5
23	45	8	16	9	3,5	6	12	12	14	16	7	6	1	1,5
	65	8	10	7	4	7	14	14	19	18	7	5	1	1,0
25	50	9	20	11	3,5	6	9	9	12	14	6	5	1,5	2,5
	95	3	12	6	2	4	11	11	22	27	9	4	0,3	0,5
26	35	5	5	3	3	7	15	15	22	20	8	8	1,5	2,5
	80	1	0,2	0,1	0,2	1,5	7	7	22	37	17	11	1,5	1,5
27	25	8	7	5	6	9	14	14	22	22	4,5	2	0,3	-
	65	1,5	0,5	1	4	9	22	22	35	22	3,5	1	sp.	-
28	40	6	0,5	5	7	11	16	16	22	21	5	2	0,3	sp.
	80	1	0,4	0,5	1,5	3,5	13	13	34	41	5	0,2	-	-
30	30	5	3	6	12	23	22	22	14	9	3	2,5	0,5	0,5
	75	2	1,5	5	13	26	22	22	16	9	2	1,5	0,3	0,5
46	25	2,5	1,5	3	17	31	10	28	11	4,5	0,5	0,3	0	0
	65	3,5	1,5	4	13	34	22	27	12	4,5	0,5	0,2	sp.	sp.
47	5	9	33	22	4,5	5	1	10	8	5	1,5	0,5	0,5	0,1
	70	3,5	14	14	9	11	1	22	15	8	2,5	1	0,1	0,1
49	25	6	4	6	9	16	18	18	15	14	7	4,5	1	0,5
	55	5	4	6	10	15	18	18	16	15	7	3,5	0,5	0,5
	85	2,5	1	1	2,5	5	13	13	20	31	18	6	0,3	0,5