

**ALTERRA**  
Wageningen Universiteit & Research centre  
Omgevingswetenschappen  
Centrum Water & Klimaat  
*Team Integraal Waterbeheer*

ICW nota 1620  
mei 1985



nota

— instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen —

NADER ONDERZOEK NAAR OXYDATIE VAN VEENGRONDEN, LITERATUUR-  
OVERZICHT EN METINGEN AAN VEENMONSTERS

W. Otten

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-  
middelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een  
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende  
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen  
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek  
nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut  
in aanmerking

## VOORWOORD

Voor U ligt het resultaat van onderzoek naar de oxydatie van veen welke ik als LH student bodemscheikunde gedurende mijn 6 maanden durende stage aan het ICW bij J.W. Bakker (afd. Luchthuishouding) heb verricht.

Veenland zakt zelfs bij een ondiepe ontwatering voornamelijk tengevolge van oxydatie met een snelheid van 2 mm per jaar. Peilverlagingen, welke worden toegepast om aan de huidige eis van produktiviteit en draagkracht te voldoen, veroorzaken een verdrievoudiging hiervan. De steeds wederkerende aanpassingen aan het zakkende maaiveld van ontwateringswerken, wegen en gebouwen is een kostbare zaak.

Onderzoek naar de oxydatie van veen moet tot doel hebben:

- maatregelen te vinden om deze zakking van weiland, waarop economisch boeren mogelijk blijft, te beperken;
- prognose te geven van de invloed van de gebruikelijke cultuurmaatregelen op de zakking voor nog niet onderzochte situaties, zodat ook daar kosten tegen baten van bijvoorbeeld een peilverlaging kunnen worden afgewogen.

In het kader van dit onderzoek zijn mijn werkzaamheden de volgende geweest:

- 1) een inventarisatie van zakkingen welke in diverse veenweidegebieden optreden;
- 2) een inventarisatie van literatuur betreffende het oxydatieproces;
- 3) metingen van oxydatie aan één diep ontwaterd veenprofiel;
- 4) chemische karakterisering van het veen van ditzelfde profiel.

Er is gekeken naar slechts één profiel wat mede als doel had te kijken naar wat, waar, hoe gemeten wordt. Om gemaakte fouten niet weer te maken, zijn methoden en resultaten uitvoerig beschreven en zullen er naast conclusies vele vragen naar voren komen, welke vooralsnog onbeantwoord blijven.

## I N H O U D

|                                                                       | blz. |
|-----------------------------------------------------------------------|------|
| SAMENVATTING                                                          | 1    |
| 1. INLEIDING                                                          | 3    |
| 1.1. Algemeen                                                         | 3    |
| 1.2. Componenten van zakking                                          | 4    |
| 1.2.1. Klink                                                          | 4    |
| 1.2.2. Krimp                                                          | 5    |
| 1.2.3. Oxydatie                                                       | 5    |
| 2. INVENTARISATIE ZAKKING                                             | 7    |
| 2.1. Inleiding                                                        | 7    |
| 2.2. Metingen van zakkingen                                           | 7    |
| 2.2.1. Metingen van zakking in het veld                               | 7    |
| 2.2.2. Berekening van zakking op grond van<br>minerale samenstelling  | 8    |
| 2.2.3. Berekening van zakking door oxydatie uit<br>extra N-leverantie | 10   |
| 2.3. Inventarisatie van de zakking in de diverse<br>veenweidegebieden | 11   |
| 2.3.1. Inleiding                                                      | 11   |
| 2.3.2. Relatie grondwaterstand-slootpeil                              | 11   |
| 2.3.3. Veenweidegebied Zegveld                                        | 12   |
| 2.3.4. Veenweidegebied Hoenkoop                                       | 18   |
| 2.3.5. Veenweidegebied Alblasserwaard (Bleskens-<br>graaf)            | 23   |
| 2.3.6. Veenweidegebied Paaslo Oldemarkt                               | 27   |
| 2.3.7. Conclusies                                                     | 28   |

|                                                                                       |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
|                                                                                       | blz. |
| 2.4. Oxydatie                                                                         | 29   |
| 2.4.1. Algemeen                                                                       | 29   |
| 2.4.2. Micro-organisme in de bodem                                                    | 32   |
| 2.4.3. Invloed van diverse uitwendige factoren<br>op oxydatie van organische stof     | 34   |
| 2.4.4. Berekening zakking door oxydatie bij gegeven<br>grondwaterstand en temperatuur | 38   |
| 2.4.5. Beheersing van de oxydatie van veen                                            | 41   |
| 3. MONSTERNAME EN MEETMETHODE                                                         | 43   |
| 3.1. Inleiding                                                                        | 43   |
| 3.2. Monsternamen                                                                     | 43   |
| 3.2.1. Materiaal                                                                      | 43   |
| 3.2.2. Methode van monsternamen                                                       | 44   |
| 3.2.3. Gegevens omtrent de monsternamen                                               | 44   |
| 3.2.4. Behandeling van het veen na monsternamen<br>voor het meten                     | 45   |
| 3.3. Meting van de oxydatie van de veenmonsters                                       | 46   |
| 3.3.1. Principe                                                                       | 46   |
| 3.3.2. Meetopstelling                                                                 | 46   |
| 3.4. De flowmeting                                                                    | 47   |
| 3.4.1. Methode                                                                        | 48   |
| 3.4.2. Verandering van de flow door het CO <sub>2</sub><br>opvangbuisje               | 48   |
| 3.4.3. Invloed van de flow op de oxydatie en de<br>instelling van het evenwicht       | 48   |
| 3.5. Meting van de oxydatie door O <sub>2</sub> verbruik bepaling                     | 50   |
| 3.5.1. Methode                                                                        | 50   |
| 3.5.2. Berekening van het verbruik                                                    | 50   |
| 3.5.3. Fouten in de O <sub>2</sub> meting                                             | 51   |
| 3.6. Bepaling van het CO <sub>2</sub> -verbruik                                       | 51   |
| 3.6.1. Methode                                                                        | 51   |
| 3.6.2. Berekening                                                                     | 52   |
| 3.6.3. Fouten in de CO <sub>2</sub> -meting                                           | 52   |
| 3.7. Bepaling luchtvolume                                                             | 53   |
| 3.8. Bepaling van het vochtgehalte en de zuigspanning                                 | 54   |
| 3.9. Bepaling van het organische stofgehalte                                          | 54   |

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4. RESULTATEN VAN DE OXYDATIEMETING VAN HET VEEN<br>(ZEGVELD PERCEEL 3)                                         | 55 |
| 4.1. Inleiding                                                                                                  | 55 |
| 4.2. Fysische gegevens van het veen in de monsterpotten                                                         | 55 |
| 4.3. Het O <sub>2</sub> verbruik                                                                                | 58 |
| 4.4. De CO <sub>2</sub> -produktie                                                                              | 61 |
| 4.5. Het verloop van de oxydatie in de tijd                                                                     | 61 |
| 4.5.1. Het oxydatieverloop in de tijd voor monsters<br>boven het grondwater en de invloed van de<br>zode hierop | 61 |
| 4.5.2. Het oxydatieverloop in de tijd voor monsters<br>onder het grondwater                                     | 63 |
| 4.5.3. Het evenwichtsniveau                                                                                     | 64 |
| 4.6. De O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> -verhouding                                                             | 66 |
| 4.7. De invloed van de temperatuur                                                                              | 66 |
| 4.8. Invloed van het vochtgehalte                                                                               | 67 |
| 4.9. Berekening van de relatieve afbraaksnelheid<br>van het veen R                                              | 68 |
| 4.10. Berekening daling van het maaiveld uit metingen<br>van oxydatiesnelheden                                  | 69 |
| 4.11. Conclusies en enkele punten voor verder onderzoek                                                         | 72 |
| 4.11.1. Conclusies                                                                                              | 72 |
| 4.11.2. Punten voor verder onderzoek                                                                            | 73 |
| 5. CHEMISCHE SAMENSTELLING VAN HET VEEN                                                                         | 74 |
| 5.1. Inleiding                                                                                                  | 74 |
| 5.2. Samenstelling organische stof                                                                              | 75 |
| 5.3. Methode                                                                                                    | 79 |
| 5.3.1. Algemeen                                                                                                 | 79 |
| 5.3.2. Alcohol extraheerbare fractie                                                                            | 80 |
| 5.3.3. De wateroplosbare fractie                                                                                | 81 |
| 5.3.4. Hydrolyse met verdund zuur, 2% HCl                                                                       | 82 |
| 5.3.5. Hydrolyse met geconcentreerd zuur H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                         | 83 |
| 5.4. Resultaten                                                                                                 | 83 |
| 5.5. De verdeling van de organische stof in fracties<br>vergeleken met de relatieve afbraaksnelheid             | 84 |

blz.

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 5.6. De invloed van de C/N-verhouding op de afbraak-<br>snelheid  | 87 |
| 5.7. De C/N-verhouding van het veen op Zegveld perceel 3          | 88 |
| 5.8. N-leverantie bij afbraak bij gegeven C/N-ver-<br>houding     | 89 |
| 5.9. Conclusies en punten voor verder onderzoek                   | 90 |
| 6. CONCLUSIES                                                     | 91 |
| 7. LITERATUUR                                                     | 93 |
| BIJLAGEN: 1. Ligging Zegveld, Hoenkoop Bleskensgraaf<br>en Paaslo | 96 |
| 2. Ligging van de percelen op Zegveld                             | 97 |
| 3. Ligging van de percelen op Hoenkoop                            | 98 |
| 4. Ligging van de percelen op Bleskensgraaf                       | 99 |

**ALTERRA**  
Wageningen Universiteit & Research centre  
Omgevingswetenschappen  
Centrum Water & Klimaat  
*Team Integraal Waterbeheer*

SAMENVATTING

Sinds het in ontginning nemen van de veengronden zijn deze gaan zakken door krimp, klink en oxydatie. Alle nemen toe bij toenemende ontwatering, waarbij krimp en klink voornamelijk in de eerste jaren na ontwatering optreden en oxydatie langere tijd doorgaat. Door deze oxydatie is de afgelopen 900 jaar al 2 meter veen verdwenen. De lagere grondwaterstanden, welke met de huidige wijze van bedrijfsvoering, die een grotere draagkracht van dit weiland vraagt, worden gehandhaafd, zorgen voor nog snellere verdwijning van dit veen. De zakkingen welke het gevolg zijn van oxydatie variëren nu van 1 mm tot 7 mm per jaar, afhankelijk van de grondwaterstand en de veensoort. Voorts is hierbij van belang of het veenprofiel al dan niet een kleidek heeft wat dan weer zijn effect heeft met name op de luchthuishouding en daarmee op oxydatie. Voorts blijkt dat peilverlagingen van 70 naar 100 cm meer toename in oxydatie veroorzaken dan peilverlagingen van 40 naar 70 cm, hetgeen wijst op een toenemende afbraaksnelheid met de diepte.

De factoren welke de afbraaksnelheid bepalen zijn: materiaal, landgebruik, vochtgehalte, temperatuur, pH en aeratie. Met name gebruik als bouwland, hoge temperatuur en bekalken schijnen zeer bevorderend te zijn voor de oxydatiesnelheid.

Metingen van de oxydatiesnelheid van het veenprofiel op Zegveld (perceel no. 3) welke een slootpeil heeft van 70 cm -mv, gaven een te verwachten zakking van 7,4 mm/jaar voor deze grond bij 15,5 °C. De temperatuursinvloed bedroeg 7,7%/°C ( $Q_{10}$  van ongeveer 2,1). Tot een zuigspanning van 30 cm  $H_2O$  bleek geen anaërobie voor te komen. Bij uitdroging wordt tot een zuigspanning van 3000 cm geen effect verwacht. De relatieve afbraaksnelheid bedroeg 0,04-0,13 gr/gr organische stof jaar<sup>-1</sup> bij 30°C, hetgeen laag is voor organische stof (gemiddeld 0,24 voor organische stof in bouwland).

Op grond hiervan moet het veen gerekend worden tot een resistente vorm van organische stof. Het meest resistente deel bevindt zich op 40-50 cm -mv en het minst resistente op grotere diepte. Uit analyse van de samenstelling van de organische stof vermoeden wij dat het veen een vrij kleine fractie gemakkelijk oxydeerbare organische stof bevat en dat de oxydatie hiervan het grootste deel van de totale afbraaksnelheid bepaalt.

Een gevolg hiervan is, dat de C/N verhouding van het veen op zich weinig betekenis heeft, aangezien dit niet de C/N verhouding van het afgebroken deel weer hoeft te geven. Een tweede gevolg is dat bij aanhoudende diepe ontwatering verwacht mag worden, dat de afbraaksnelheid van het veen verder af zal nemen, hetgeen eveneens tot gevolg heeft dat bij ontwatering van veen op Zegveld met een hoog slootpeil tot een slootpeil van 70 cm, eerst een grotere oxydatiesnelheid verwacht mag worden, welke in de loop der tijd af zal nemen (enkele jaren).

Al met al blijkt voor het veen te gelden, dat de zakking een gevolg is van de grote hoeveelheid aan organische stof en niet van het gemakkelijk afbreekbaar zijn hiervan, waardoor, hoewel de afbraak langzaam is, de aanvoer van organische stof afkomstig van het gras, deze afvoer niet compenseert. Pogingen om deze oxydatie aan banden te leggen lijken neer te komen op het terugbrengen van bijna niets tot helemaal niets.



## 1. INLEIDING

### 1.1. A l g e m e e n

Onder veen wordt verstaan die laag van de aardkorst, hoofdzakelijk van organische aard, welke is ontstaan onder waterverzadigde omstandigheden als een gevolg van onvolledige omzetting van plantenmateriaal ten gevolge van hoofdzakelijk anaërobie. Een verandering in deze anaërobie heeft stopzetting van dit proces tot gevolg en veroorzaakt een afbraak van het opgehoopte materiaal.

Toen ten tijde van de ontginning (circa 900 jaar geleden) de grondwaterstand in de veenweidegebieden werd verlaagd, werd een begin gemaakt met dit afbraakproces en de daarmee samenhangende zakking (SCHOTHORST, 1979). Voor de bedijking van de rivieren was de oorspronkelijke hoogteligging van de veengronden NAP (met kleidek) tot  $\pm 1$  m NAP (zonder kleidek). Momenteel is de hoogteligging circa - 1,5 tot - 2 m NAP waarbij tevens moet worden opgemerkt dat de hoogstgelegen delen van vroeger thans het laagst liggen.

Het spreekt vanzelf dat een gevolg van deze zakking was dat het polderpeil herhaaldelijk moest worden aangepast. Dit ging vaak zeer moeizaam. Zo werd in de polder Zegveldbroek in 1877 het polderpeil verlaagd van 1,60 naar 1,68 m -NAP. In 1907 volgde een verlaging van nog eens 3 cm waarna in 1917 een grote strijd begon om een verlaging van het polderpeil van 1,86 tot 1,94 gedaan te krijgen. Deze verlaging kwam 8 jaar later tot stand en bleef zo tot 1947, waarna werd besloten het peil om de 2 jaar met 1 cm te verlagen. Dat de situatie in 1940 niet bevredigend was tonen de 28 individuele onderbemalingen aan, welke nodig waren om aan de toen geldende eisen te voldoen (SCHOTHORST, 1971).

Om aan de thans geldende eisen te voldoen voor economisch boeren (meer draagkracht, opbrengst etc.) is een nog lagere grondwaterstand

gewenst wat een grotere zakking tot gevolg heeft. Was het beeld voor 1950 nog een zakking van maximaal 5 mm per jaar, de hoogteligging van het maaiveld van de daarna aangelegde proefveldjes met een diepere grondwaterstand geeft meer dan een verdubbeling hiervan te zien (tabel 1).

Tabel 1. Verloop van de gemiddelde hoogte van Zegveld van '52 - '70  
in m -NAP  
Slootpeil tot '52: 2,25 m; '52-'64: 2,60 m; '64-'72: 2,75 m  
-NAP (SCHOTHORST, 1971)

| mei '52 | sept. '54 | mrt. '55 | aug. '55 | jan. '56 | mrt. '60 | mrt. '62 | apr. '67 | okt. '70 |
|---------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1,89    | 1,98      | 1,98     | 1,99     | 2,01     | 2,01     | 2,04     | 2,02     | 2,08     |

De zakking die optreedt is het grootst in de eerste jaren na peilverlaging en is dan hoofdzakelijk te wijten aan krimp en klink (SCHOTHORST, 1979). Later wordt de daling constant en is dan hoofdzakelijk te wijten aan oxydatie van de organische stof.

Onderzoek naar zakkingen van veengronden in het algemeen wordt veelvuldig in diverse landen gedaan (Florida Everglades: B.C. VOLK, 1976; JOHN C. STEPHENS, 1976; V.S.: JOHN C. STEPHENS + ERNEST H. STEWART, 1976; Canada: J.A. CAMPBELL, 1981; Duitsland: R. EGGELSMAN, 1976; Nederland: SCHOTHORST, 1978).

## 1.2. Componenten van zakking

De verschillende componenten van zakking zijn de volgende: klink, krimp en oxydatie (SCHOTHORST, 1979 en 1980).

### 1.2.1. Klink

Klink doet zich voor bij ontwatering van veen omdat een deel van het veen door verlaging van het grondwater geen invloed meer ondervindt van de opwaartse waterdruk en daardoor zwaarder drukt op het onderliggende veen. Door de toename van deze druk treedt een compactie op van het veen onder het grondwater. Het is een grondmechanisch proces en kan met behulp van grondmechanische formules (Terzaghi; Fokkens; etc.) berekend worden (FOKKENS, 1970).

De samendrukkingsconstante ( $\Delta d_k / \Delta K$ ) die voor de berekening van klink van veen wordt gebruikt is afhankelijk van de belastings-toename. Tot een belasting van circa  $50 \text{ g/cm}^2$  is hij kleiner dan daarboven, omdat deze kracht minimaal nodig is om de structuur in het veen te breken en het dichter op elkaar te drukken.

Deze kracht van  $50 \text{ g/cm}^2$  wordt niet gehaald bij een peilverlaging van 50 cm, aangezien de grondwaterstand 60% van het slootpeil zakt. Bij het opbrengen van een meter zand is er een kracht van circa  $175 \text{ g/cm}^2$  waardoor de berekende zakking wel binnen enkele jaren optreedt (SCHOTHORST, 1978).

Volgens metingen van SCHOTHORST (1979) bedraagt bij een peilverlaging van 50 cm de zakking door klink 4 cm in 9 jaar op Zegveld, Hoenkoop en Alblasserwaard. Het is in de tijd gezien een logaritmisch verlopend proces en 70% van de zakking vond plaats in de eerste drie jaar.

#### 1.2.2. Krimp

Krimp is een compactie van het veen tengevolge van een vochtverlies zoals dat ontstaat bij ontwatering en verdamping. De mate van krimp is afhankelijk van de hoeveelheid colloïdale bestanddelen van het veen. Deze hoeveelheid neemt toe bij een hogere graad van humificatie. Hierbij worden hoogmoleculaire humiden en wassen gevormd en deze stoffen hebben de neiging tot aggregatenvorming bij wateronttrekking. Een hogere humificatiegraad leidt dus tot een grotere mate van krimp (KUNTZE, 1976).

Krimp vindt plaats in het veen boven de grondwaterspiegel. De hoeveelheid bedraagt circa 30 cm sinds de ontginning waarvan 80% plaatsgevonden heeft in de bovenste laag (30 cm). Evenals klink treedt krimp op voornamelijk in de eerste jaren na ontwatering.

#### 1.2.3. Oxydatie

De oxydatie van organische stof is een biochemisch proces waarbij organische stof wordt omgezet (afgebroken) in  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ , welke verdwijnen. Het uit zich mogelijk in een lager organisch stofgehalte in de bovengrond van het veen. Het uit zich tevens in een extra N-leverantie van de bodem. Een grond met een diepere ontwatering, dus grotere oxydatie (SCHOTHORST, 1982) geeft dezelfde opbrengsten als een grond met een ondiepe ontwatering en een N-gift van 150 à 200 kg/ha.

Via de extra ruweiwit opbrengst en het N-gehalte van het veen is de geoxydeerde hoeveelheid te berekenen (2.2.3). Na enige jaren van ontwatering is de zakking bijna volledig toe te schrijven aan oxydatie van organische stof. (Dit blijkt uit vergelijk N-leverantie bodem en zakking) (SCHOTHORST, 1978). Het proces oxydatie is weliswaar langzaam maar continu verlopend, dit in tegenstelling tot krimp en klink.

De meningen over het belang van deze oxydatie liepen sterk uiteen. Zo werd in de VS de oxydatie als de oorzaak van zakking beschouwd, terwijl het in Rusland beschouwd werd als bodemvorming (hogere opbrengsten door de extra N die vrijkomt bij oxydatie). In Nederland werd de oxydatie voor het eerst waargenomen toen uit bemonstering in de Koekoekspolder bleek, dat er organische stof verdwenen was. Tevens werd een extra N effect gemeten op proefvelden bij een lagere grondwaterstand (SCHOTHORST, 1978). Beide verschijnselen worden aan oxydatie toegeschreven. Zo langzamerhand is men in gaan zien, dat oxydatie van veen een belangrijk proces is enerzijds met verhoogde opbrengsten en anderzijds met het verdwijnen van de organische stof. In de Veenhoop (BORGER, 1975) wordt zelfs vermeld, dat er in West Friesland een veenlaag geheel verdwenen is door oxydatie.

In dit rapport wordt gegeven:

1. Wat er zoal optreedt aan zakking en oxydatie in diverse veenweidegebieden en onder welke omstandigheden voor zover bekend (Inventarisatiegebieden).
2. Wat er bekend is over het proces oxydatie uit onderzoek voornamelijk in het buitenland.
3. Resultaten van metingen van oxydatiesnelheid van het veen op Zegveld (perceel no. 3) gecombineerd met een chemische verdeling van de organische stof in fracties.

Dit alles heeft tot doel meer inzicht te krijgen in het verloop van het oxydatieproces, hetgeen een basis kan leveren voor maatregelen om de oxydatie te voorkomen dan wel te verminderen.

## 2. INVENTARISATIE ZAKKING

### 2.1. I n l e i d i n g

De toegepaste meetmethoden zijn globaal in tweeën te verdelen: de eerste waarbij metingen verricht worden aan in het veld genomen monsters (voornamelijk CO<sub>2</sub> produktie) en de tweede waarbij de zakking van het maaiveld gevolgd wordt. De eerste methode, waarbij gekeken wordt naar een bepaalde component van zakking, heeft als nadeel de moeilijkheid om het in een daling van het maaiveld te vertalen. De tweede heeft als nadeel dat de zakking gemeten wordt en er weinig informatie is over de bijdrage van de verschillende zakkingscomponenten. Om de straks in het laboratorium verkregen gegevens om te kunnen zetten in een zakking van het maaiveld is van verschillende gebieden in Nederland een inventarisatie gemaakt van gegevens welke reeds bekend zijn. Allereerst volgt hieronder een overzicht van de methode welke bij zakkingsmetingen in Nederland gebruikt worden (2.2), vervolgens een overzicht van enkele veenweidegebieden in Nederland die mogelijk interessant zijn voor monsternamen (2.3) en daarna een overzicht van resultaten van oxydatiemetingen uit voornamelijk het buitenland en de verschenen literatuur over het proces oxydatie (2.4).

### 2.2. M e t i n g e n v a n z a k k i n g e n

#### 2.2.1. Metingen van zakking in het veld

De zakking wordt tot nog toe gemeten door te meten ten opzichte van een punt in de omgeving wat niet zakt. Dit punt is een baken, dat tot in de zandondergrond van het veen geslagen is en dus niet deelneemt aan de zakking. In de buurt van dit baken worden zakplaatjes in de grond gebracht. Dit zijn twee plaatjes welke horizontaal in de grond gedraaid worden op een bepaalde diepte ten opzichte van elkaar (10 cm). De meting bestaat nu uit de hoogtemeting van de plaatjes en van het maaiveld ten opzichte van het baken. De meting geschiedt 2 maal per jaar. Het resultaat is de zakking van het maaiveld en de zakking per 10 cm, dus er kan tevens gekeken worden welke laag de grootste zakking geeft. Dergelijke zakplaatjes zitten in diverse veenweidegebieden in Nederland al vele jaren in de grond (SCHOTHORST, 1980).

### 2.2.2. Berekening van zakking op grond van minerale samenstelling

Zakplaatjesmetingen geven te zien dat bij een peilverlaging van 60 cm er slechts 4 cm klink optreedt. Aangezien een dergelijke drastische peilverlaging nooit voorkwam in het verleden moet de sinds die tijd opgetreden zakking van circa 2 m voornamelijk in de bovengrond hebben plaatsgevonden, dus tengevolge van oxydatie en krimp. Deze kunnen op hierna volgende manier berekend worden door monsters te nemen van het veen (SCHOTHORST, 1978).

Aanname bij deze berekening is, dat het oorspronkelijke veenprofiel homogeen van samenstelling is geweest. In gebieden waar kleilaagjes zijn afgezet gaat dit dus niet op, danwel moet er hiervoor een correctie aangebracht worden, maar ook in een homogeen profiel als Zegveld geldt dit niet helemaal, aangezien bovenop vermoedelijk mosveen afgezet is geweest.

#### Berekening van zakking door krimp

Krimp kunnen we beschouwen als het samendrukken van grond. Een  $\text{cm}^3$  veen gaat dan naar evenredigheid van de samendrukking meer organische stof bevatten, waardoor het volumegewicht ( $W_h$ ) toeneemt. Onder het grondwater (hier treedt geen krimp op) bedraagt dit volumegewicht  $0,12 \text{ g/cm}^3 (=W_{h1})$ . De krimp wordt nu berekend volgens:

$$S_{sh} = \frac{d \cdot W_h}{W_{h1}} - d$$

met  $d$  = dikte van de veenlaag op dit moment in cm

$S_{sh}$  = krimp in cm

Hierbij wordt in feite wel aangenomen, dat het volumegewicht van de organische stof door oxydatie niet verandert, waardoor wanneer dit wel het geval zou zijn de krimp wordt onderschat. Gemiddeld bedraagt de krimp in het veenweidegebied 28 cm sinds de ontginning (SCHOTHORST, 1978).

#### Berekening van zakking door oxydatie

Wanneer organische stof oxydeert blijven de minerale bestanddelen achter. Uitgaande van een homogeen profiel kan uit de toename van het volumegewicht van de minerale delen naar de bovengrond toe de oxydatie worden berekend (onder het grondwater komt geen oxydatie

voor). Omdat door krimp het volumegewicht van de minerale delen ook toeneemt wordt deze eveneens bepaald.

Tevens kan de oorspronkelijke dikte van een huidige laag op deze manier berekend worden. Als oorspronkelijke waarde voor het volumegewicht van de minerale delen wordt  $0,025 \text{ gr/cm}^3$  genomen ( $W_{m1}$ ).

$$d_1 = d \frac{W_m}{W_{m1}}$$

$W_m$  = volumegewicht van de minerale delen

$d$  = dikte huidige laag

$d_1$  = oorspronkelijke dikte in cm

en

$$S_{sh} + S_{ox} = d \cdot \frac{W_m}{W_{m1}} - d$$

met  $S_{sh} + S_{ox}$  = zakking in cm tengevolge van oxydatie en krimp.

Op deze manier berekend, vond SCHOTHORST (1978) een zakking tengevolge van oxydatie van 176 cm sinds de ontginning. Het blijkt dus dat 85% van de totale zakking een gevolg is van oxydatie.

Uiteraard kunnen op deze manier ook zakkingen tengevolge van oxydatie en krimp per jaar uitgerekend worden als er maar steeds bemonsterd wordt. Tabel 2 geeft een overzicht van gemiddelde zakking sinds de ontginning (SCHOTHORST, 1978).

Tabel 2. Het gemiddeld volumegewicht van organische stof ( $W_h$ ) en de minerale delen ( $W_m$ ), de berekende krimp ( $S_{sh}$ ), krimp plus oxydatie ( $S_{sh} + S_o$ ) en de oxydatie ( $S_o$ )

| Diepte | $W_h$              | $W_m$              | $S_{sh}$ | $S_{sh} + S_o$ | $S_o$ |
|--------|--------------------|--------------------|----------|----------------|-------|
| cm -mv | $\text{g.cm}^{-3}$ | $\text{g.cm}^{-3}$ | cm       | cm             | cm    |
| 0-10   | 0,24               | 0,25               | 10       | 90             | 80    |
| 10-20  | 0,22               | 0,19               | 8        | 66             | 58    |
| 20-30  | 0,18               | 0,08               | 5        | 22             | 17    |
| 30-40  | 0,15               | 0,05               | 3        | 10             | 7     |
| 40-50  | 0,13               | 0,04               | 1        | 6              | 5     |
| 50-60  | 0,13               | 0,04               | 1        | 6              | 5     |
| 60-70  | 0,12               | 0,03               | 0        | 2              | 2     |
| 70-80  | 0,12               | 0,03               | 0        | 2              | 2     |
| totaal |                    |                    | 28       | 204            | 176   |

### 2.2.3. Berekening van zakking door oxydatie uit extra N-leverantie

Een tweede manier om oxydatie te berekenen is door te kijken naar de N-leverantie van de bodem. Bij oxydatie van het veen komt N vrij. Dit uit zich onder andere in een hogere opbrengst en een hoger eiwitgehalte van de droge stof (SCHOTHORST, 1978). Indien geen N wordt toegediend is de N-opname uit de bodem te bepalen aan de ruw-eiwit opbrengst.

Rekenvoorbeeld (SCHOTHORST, 1978)

Het N-gehalte in de organische stof van laagveengronden bedraagt circa 4%. Het opname-percentages door het gras wordt gesteld op 50%. Een veengrond met een slootpeil van 0,2 m -mv levert 2 ton ruw eiwit ofwel 500 kg extra ten opzichte van een zandgrond. Dit is

$$500 \cdot \frac{16}{100} = 80 \text{ kg N/ha (ruw eiwit 16\% N in gras).}$$

Dit komt overeen met een verlies aan organische stof van

$$\frac{80}{0,5 \times 0,04} = 4000 \text{ kg/ha}$$

Bij een gemiddeld volumegewicht van  $0,2 \text{ g/cm}^3$  is het verlies in cm per jaar  $0,04/0,2 = 0,2 \text{ cm/jaar}$ .

Bij een slootpeil van 0,7 m -mv komt de oxydatie volgens deze berekening neer op 6 mm per jaar dus 3 keer zoveel.

Tabel 3 geeft een overzicht van de zo verkregen resultaten door middel van meten en berekenen voor verschillende veenweidegebieden bij verschillende slootpeilen (SCHOTHORST, 1978).



Tabel 3. De zakking van maaiveld ( $s$ ), de inklinking van de ondergrond ( $S_s$ ), de berekende oxydatie ( $S_o$ ) en de irreversibele krimp ( $S_{sh}$ ) na zes jaar diepere ontwatering

| Proefobject    | Slootpeil | S   | $S_s$ | $S_o$ | $S_{sh}$ |
|----------------|-----------|-----|-------|-------|----------|
|                | m -mv     | mm  | mm    | mm    | mm       |
| Zegvelderbroek | 0,20      | 45  | 15    | 14    | 16       |
| Zegvelderbroek | 0,70      | 92  | 27    | 29    | 36       |
| Bleskensgraaf  | 0,35      | 10  | 0     | 12    | - 2      |
| Bleskensgraaf  | 0,70      | 52  | 16    | 19    | 17       |
| Bleskensgraaf  | 1,00      | 101 | 38    | 46    | 17       |
| Hoenkoop       | 0,40      | 20  | 7     | 14    | - 1      |
| Hoenkoop       | 0,70      | 40  | 14    | 24    | 2        |
| Hoenkoop       | 1,00      | 64  | 24    | 38    | 2        |

### 2.3. Inventarisatie van de zakking in de diverse veenweidegebieden

#### 2.3.1. Inleiding

Hieronder volgt een overzicht van enkele veengebieden welke mogelijk in aanmerking komen voor verder onderzoek naar oxydatie (bijvoorbeeld monsternamen). Als uitgangspunt van dit overzicht heb ik de aanwezigheid van zakplaatjes genomen, zodat van de gebieden de zakking over diverse jaren bekend is. Vervolgens is gekeken naar een verschil in veensoort en/of profielopbouw zoals het al dan niet aanwezig zijn van een kleidek. Vervolgens wordt hier bijgevoegd gegevens omtrent de pH, luchthuishouding en mogelijk andere van belang zijnde gegevens. De weergave zal zoveel mogelijk in grafische vorm zijn. De gegevens zijn gehaald uit diverse door C.J. Schothorst verrichte metingen in de jaren zeventig. Deze resultaten zijn terug te vinden in het archief van het ICW en in deze gevallen zal verder geen bron meer vermeld worden.

#### 2.3.2. Relatie grondwaterstand-slootpeil

Bij onderstaande gebieden zal steeds het slootpeil in cm onder het maaiveld aangegeven worden. De grondwaterstand is tengevolge van de lage infiltratiesnelheid uit de sloot (1 mm/d) en de hoge permeabiliteit van de bovengrond ongelijk aan het slootpeil maar volgt deze wel. Zo zal bij een verlaging van het slootpeil de verlaging over de gemiddelde grondwaterstand zo'n 60% hiervan bedragen (fig. 1, SCHOTHORST, 1982).

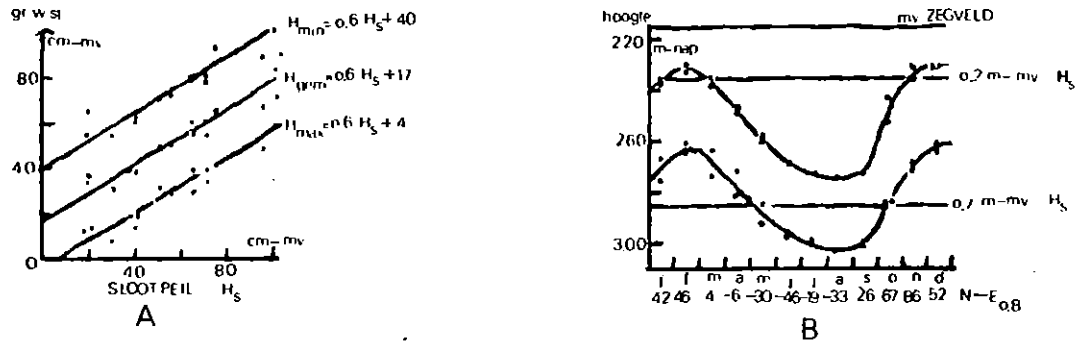


Fig. 1. De grondwaterstand als functie van het slootpeil.

$h_{gem}$ ,  $h_{max}$  en  $h_{min}$  is respectievelijk de gemiddelde, de diepste en de hoogste grondwaterstand en b het verloop van de gemiddelde grondwaterstand over het jaar waarbij aangegeven het overschot ( $N-E_{0,8}$ ) per maand bij slootpeil ( $h_s$ ) van 0,20 m en 0,70 m -mv in het Zegveld (SCHOTHORST, 1982)

### 2.3.3. Veenweidegebied Zegveld

2.3.3.1. In l e i d i n g. Proefboerderij Zegveld: ligging ten westen van Utrecht en ten noorden van Woerden. Het beslaat 120 ha oppervlak van een circa 6 m dik bosveenpakket op een zandondergrond. Voornamelijke opzet van de boerderij is onderzoek naar bedrijfseconomische aspecten van peilverlaging (zie bijlage 1: ligging Zegveld). De gemiddelde hoogteligging van het gebied bedraagt -2,15 m NAP. De verschillende slootpeilen bedragen in cm -mv: 20-30; 50-60; 70-80.

2.3.3.2. A l g e m e e n. Het profiel bestaat uit een vrij homogeen veenpakket van circa 6 m op een zandondergrond. Globaal is de opbouw van het profiel als volgt:

- 0 - 25 cm sterk veraard veen
- 25 - 70 cm zwart geoxydeerd bosveen
- 70 - 650 cm bruin bos- en zeggeveen
- 650 - .. cm zandondergrond.

Het organisch stofgehalte bedraagt 85% in de ondergrond en neemt naar boven toe af tot circa 40% (fig. 2A). De pH-KCl bedraagt 4-5 en is over het gehele profiel vrij constant (fig. 2B).

Het poriënvolume bedraagt circa 70% in de bovengrond en neemt naar onder toe tot circa 90% (volumepercentages). Het gemiddelde luchtgehalte in het voorjaar neemt af met de diepte van circa 10%

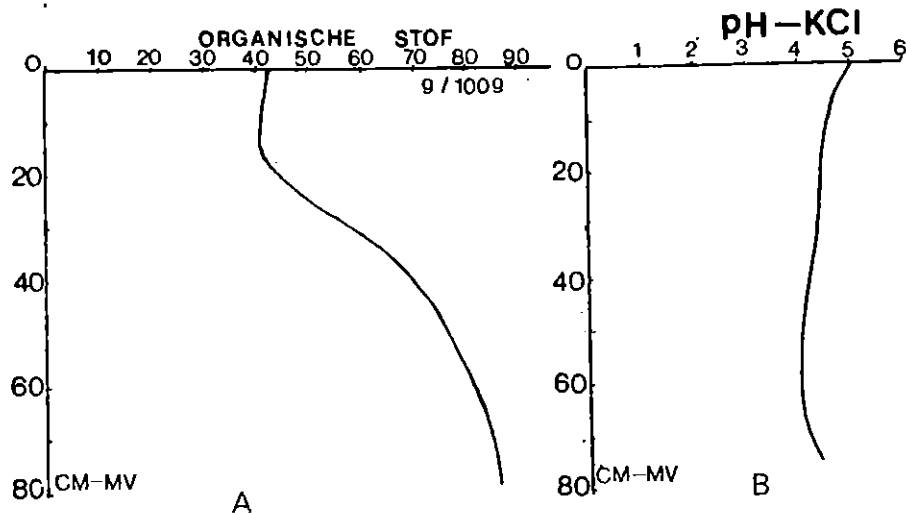


Fig. 2. Gemiddeld organische stofgehalte (A) en de pH-K Cl in relatie tot de diepte (B) op Zegveld

aan het oppervlak tot 1% op 50 cm bij een slootpeil van 30 cm. Een verlaging van het slootpeil naar 70 cm geeft een verdubbeling hiervan (SCHOTHORST, 1982).

De gemiddelde zakking op Zegveld bedraagt 8-17 mm/jaar en lijkt hoofdzakelijk afhankelijk van het slootpeil. Fig. 3 geeft bij verschillende slootpeilen de gemiddelde zakking in mm/jaar over de jaren '69-'76, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen zakking in de bovengrond (oxydatie en krimp) en zakking in de ondergrond (klink). Uit de lagere zakking bij 75 cm slootpeil ten opzichte van 65 cm slootpeil blijkt wel dat het slootpeil niet de enige factor is. Het verschil zit hem voornamelijk in de bovengrond (de klink bedraagt ongeveer 3 mm/jaar voor de profielen). De zakkingen zoals over deze jaren hebben niet altijd dergelijke proporties gehad. Zo is sinds de ontginning het hele profiel ruim 2 meter gezakt wat een gemiddelde zakking geeft van 2 mm/jaar. Dit verschil zit voornamelijk in de slechtere ontwateringstoestand in die tijd. Circa 80% van deze zakking komt voor rekening van oxydatie. Fig. 4 geeft aan hoeveel veen er uit een huidige laag van 10 cm verdwenen is en wat de oorspronkelijke dikte van de laag was. Hoewel de zakking veel geringer is dan de huidige zakking, is hier wel uit te halen, dat met een hoger slootpeil de oxydatie wel verlaagd, maar niet tegengegaan kan worden. Het beeld geeft verder aan, dat de oxydatie zich voornamelijk in de

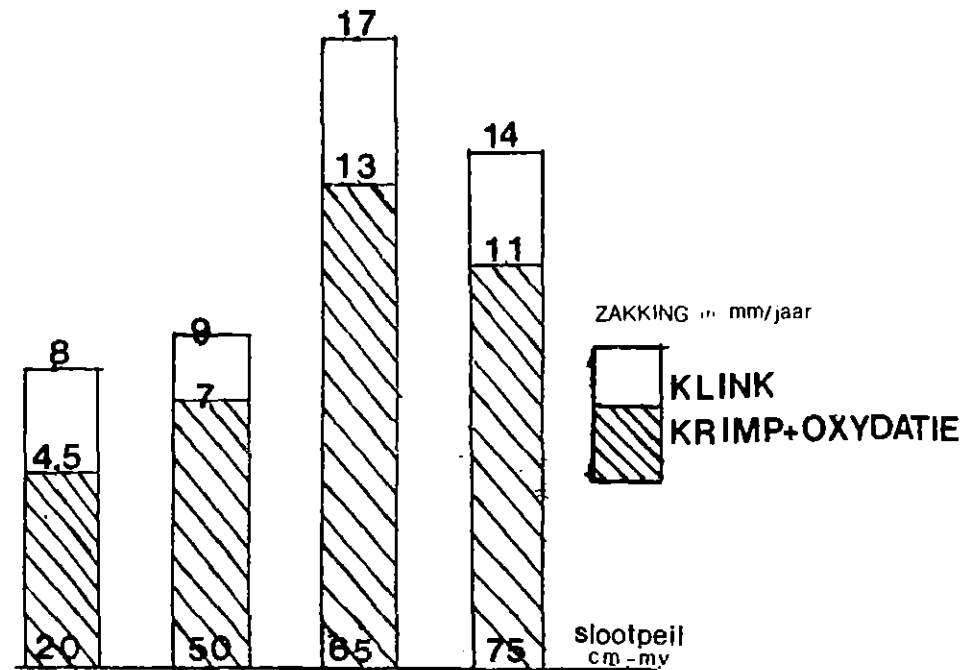


Fig. 3. Gemiddelde zakking in mm per jaar in relatie tot het slootpeil (Zegveld)

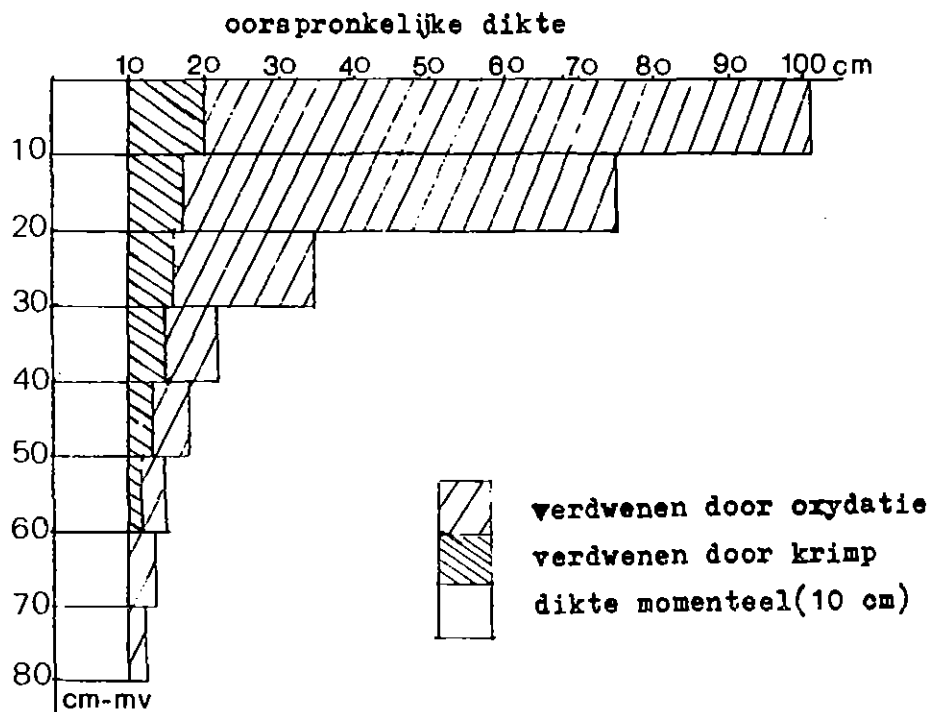


Fig. 4. De oorspronkelijke dikte per laag van 10 cm en de verdeling van de verdwenen dikte in krimp en oxydatie. Totaal verdwenen door oxydatie 176 cm; totaal verdwenen door krimp 28 cm in 900 jaar

bovengrond heeft afgespeeld, wat gezien de daarvoor nodige aerobie ook wel te verwachten viel. De schets geeft echter niet het niveau van de huidige oxydatiesnelheid aan. Zo kan niet gezegd worden, dat in de bovenste 10 cm de oxydatiesnelheid  $\frac{800}{900}$  mm/jaar bedraagt en in de laag van 70-80 cm  $\frac{30}{900}$  mm/jaar, aangezien de oxydatie in de ondergrond pas de laatste jaren is opgetreden. Voorheen lag deze laag op een diepte van 2,80 m -mv en was de oxydatie nul.

Het is zelfs niet uitgesloten, dat een laag in de ondergrond op dit moment sneller oxydeert dan de laag in de bovengrond. De in fig. 4 gegeven volume-afname door krimp en oxydatie is berekend aan de hand van de verandering in volumegewicht voor organische stof en minerale delen, met de diepte zoals weergegeven in fig. 5.

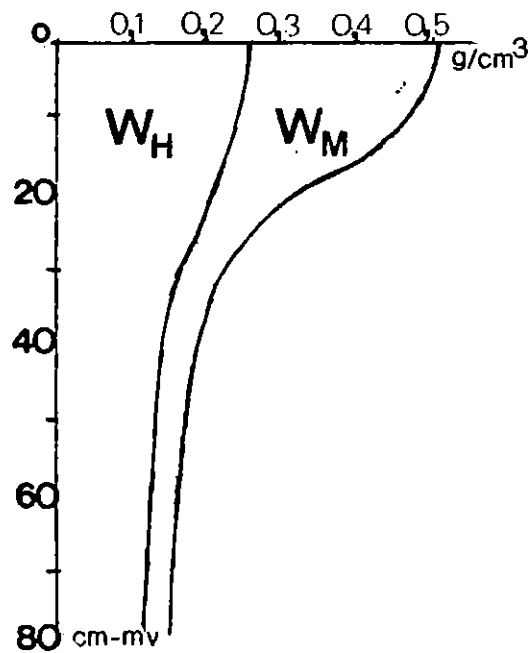


Fig. 5. Gewichtsaandeel organisch materiaal en minerale delen als functie van de diepte (Zegveld)

$W_h$  = org. stof;  $W_m$  = min. delen en  $W_s$  = massatotaal in  $g/cm^3$

2.3.3.3. Z a k k i n g p e r c e l e n 3, 8, 13 e n 16. Voor de ligging van de percelen op de proefboerderij wordt verwezen naar bijlage 2.

Naast de verschillen in grondwaterstand welke in grote mate de zakking bepaalt komen er op de percelen in Zegveld nog meer verschillen voor. Zo heeft een deel van de percelen een mineraal toemaakdek. Naast een verlaging van het organisch stofgehalte zal dit gevolgen hebben voor de fysische eigenschappen van de grond, met name voor de lucht en vochthuishouding en daarmee mogelijk ook voor de oxydatie.

Op grond hiervan zijn enkele percelen aan de hand van reeds verrichte bemonstering (SCHOTHORST) nader bekeken. Deze percelen zijn perceel 3 en 16 beide met een laag slootpeil en perceel 8 en 13 beide met een hoog slootpeil, waarbij de percelen 16 en 8 een toemaakdek hebben. In tabel 4 zijn voor deze percelen het slootpeil en de zakkingen aangegeven gemiddeld genomen over de jaren '66-'76. De zakking en krimp + oxydatie zijn gemeten met behulp van metingen aan zakplaatjes. De oxydatie is berekend zoals beschreven in 2.2.2 (allen in mm/jaar).

Tabel 4. Gemiddelde zakking over de jaren '69-'76 voor de percelen 3, 16, 13 en 8 in Zegveld

| Perceel | Slootpeil | Zakking | Krimp + Ox. | Oxydatie | Toemaakdek |
|---------|-----------|---------|-------------|----------|------------|
| 3       | 70        | 15,5    | 12,3        | 4,4      | niet       |
| 16      | 80        | 11      | 8,7         | 6,2      | wel        |
| 13      | 20        | 7,7     | 4,9         | 2,2      | niet       |
| 8       | 30        | 4,8     | 3,7         | 3,1      | wel        |

(Zakking uit: Drainage and behaviour of Peat Soils (SCHOTHORST, 1982)  
Opgemerkt moet hierbij worden, dat de krimp in de eerste jaren sneller was dan in de laatste jaren.

Uit deze tabel blijkt, dat de zakking (zoals verwacht) het grootst is bij de percelen met een diep slootpeil. Voor de oxydatie geldt hetzelfde. Opvallend is echter ook het verschil in oxydatie tussen percelen met en zonder toemaakdek bij (nagenoeg) gelijk slootpeil. De oxydatie verloopt bij de percelen met een toemaakdek sneller dan die zonder. Op grond van organisch stofgehalte zou echter het omgekeerde te verwachten zijn (fig. 6). Het verloop van het organisch stofgehalte met de diepte is verschillend voor de percelen. Dit zal voornamelijk een gevolg zijn van het toemaakdek, wat een logisch lager organisch gehalte tot gevolg heeft. De hogere oxydatie

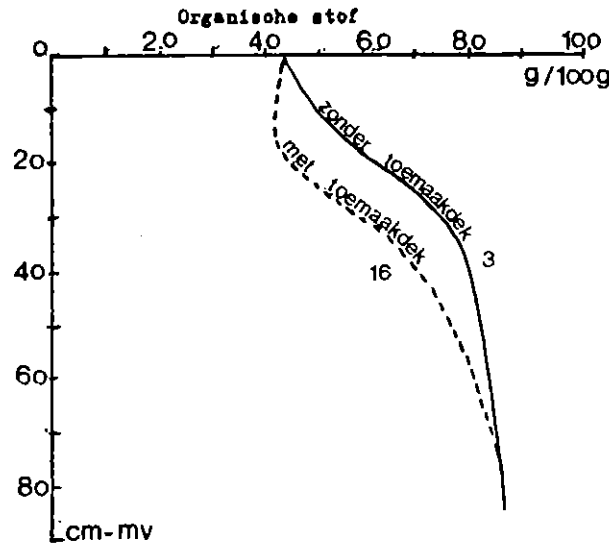


Fig. 6. Organische stof verdeling in een profiel zonder toemaakdek (perceel 3) en met toemaakdek (perceel 16) (Zegveld)

is dus zeker niet een gevolg van het organisch gehalte. Lettend op de luchthuishouding voor beide profielen (fig. 7) wordt hiervoor mogelijk wel een verklaring gevonden. In deze schets zijn vol.% lucht voor beide profielen uitgezet met de diepte. Het gebied geeft aan de waarden tussen de minimale en maximale luchtpercentages in.

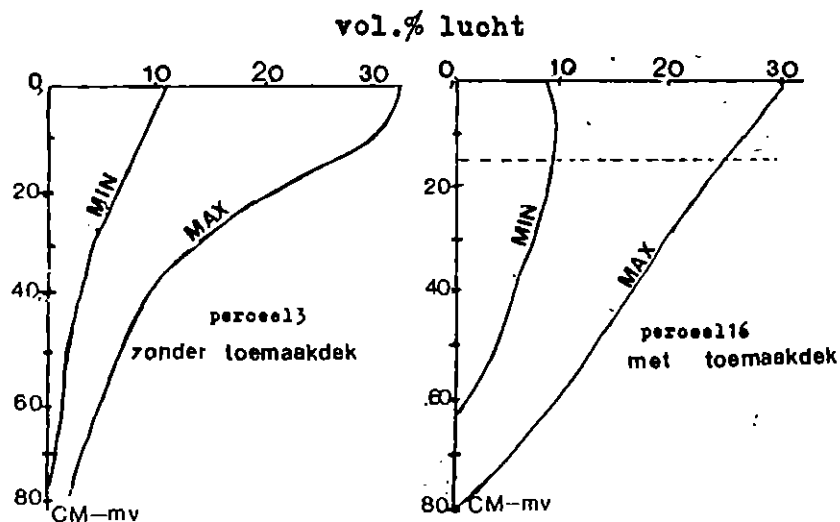


Fig. 7. Vergelijking van de gemeten vol.% lucht voor een perceel met toemaakdek (perceel 16) en een perceel zonder toemaakdek (perceel 13) in 1970 (Zegveld). Slootpeil resp. 80 en 70 cm -mv.

De bepalingen zijn verricht in maart, juni, augustus en september 1970. Op de bovenste 15 cm na is het luchtgehalte in percelen met toemaakdek veel hoger dan die zonder toemaakdek, dit terwijl neerslag, temperatuur, poriënvolume en grondwaterstand voor de profielen nage-  
noeg gelijk was. Het hoger vol.% lucht zal voor betere aerobie zorgen en daardoor mogelijk de oxydatie versnellen wat zich dan vooral zal moeten uiten in de laag van 20 tot 70 cm -mv. De hogere oxydatie is in overeenstemming met hetgeen gemeten is (zie tabel 4). Bestudering van de zakking gemeten met zakplaatjes per 10 cm geven geen duidelijk beeld wat hiermee overeenstemt, omdat bij deze gegevens de krimp niet van de oxydatie gescheiden kan worden.

2.3.3.4. C o n c l u s i e s. Op Zegveld komen na verlaging van het slootpeil zakkingen voor variërend van 4 tot 16 mm/jaar. De zakkingen door oxydatie bedragen 2 - 6 mm/jaar. De verschillen in oxydatie-snelheid van het veen lijken voornamelijk een fysische oorzaak te hebben. Hoe hoger het luchtgehalte is en des te dieper de lucht door kan dringen, des te sneller zakt het profiel door oxydatie. Chemische analyses van het veen zijn echter niet voorradig, hoewel hierin geen grote verschillen te verwachten zijn, gezien de homogeniteit van het veenprofiel op Zegveld.

#### 2.3.4. Veenweidegebied Hoenkoop

2.3.4.1. A l g e m e e n. Hoenkoop is gelegen in de Alblasserwaard. (Zie bijlage 1). De dikte van het veenpakket aldaar is circa 4 m met wisselende dikke en dunne kleilaagjes in het profiel. Het profiel is bedekt met een fluviatiel kleidek van 30-40 cm. De gemiddelde hoogteligging is 1,60 m -NAP met uitschieters naar 1,80 m en 1,10 m -NAP. Deze hoger gelegen delen komen overeen met de plekken waar het kleidek het dikst is. Over het algemeen wigt het kleidek uit en wordt dunner en minder zandig, naarmate de afstand tot de Hollandse IJssel toeneemt. Hoe de invloed van dit kleidek is op de zakking en oxydatie kan in dit gebied goed bestudeerd worden. Nader bekeken zullen hier worden de percelen B en C (zie bijlage 3 voor de ligging hiervan), waarvan perceel D duidelijk meer varieert in samenstelling dan profiel B en een hoger kleigehalte heeft. Fig. 8 geeft deze variatie aan.



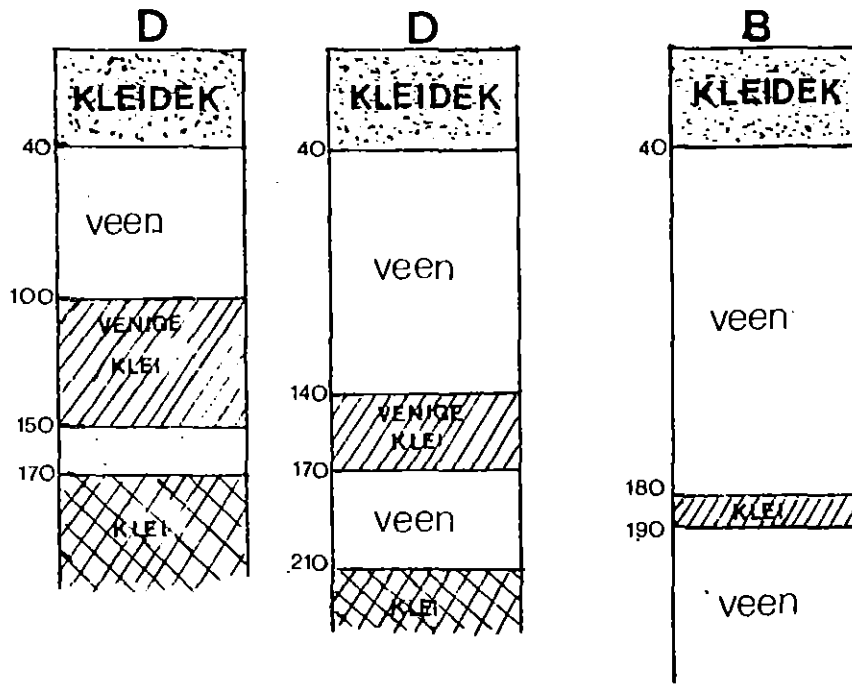


Fig. 8. Enkele profielen op Hoenkoop

De algemene profielopbouw is:

- 0 - 40 cm venige klei
- 40 - 70 cm zwart geoxydeerd bosveen
- 70 - 400 cm bruin bos en zeggeveen met slappe venige kleilaagjes
- >400 cm zware klei.

2.3.4.2. Z a k k i n g v a n d e p e r c e l e n B e n D (H o e n k o o p). De afwisseling van de dikte van de kleilaagjes in het profiel, alsmede de variatie in de dikte van het kleidek zorgen voor variaties in organische stofgehaltes op korte afstand. Ondanks deze variaties is gemiddeld genomen het organische stofgehalte van perceel B groter dan dat van perceel D (fig. 9).

Met behulp van zakplaatjes zijn de zakkingen van deze percelen gevolgd. Hieronder zijn de gemiddelde zakkingen genomen over de jaren '69-'79 weergegeven in mm/jaar. Hierbij is in '77 nogal wat gewisseld met het slootpeil op perceel D (verhoging) wat swelling tot gevolg had, vandaar de hier geringe gemeten zakking (zelfs kleiner dan de berekende oxydatie).

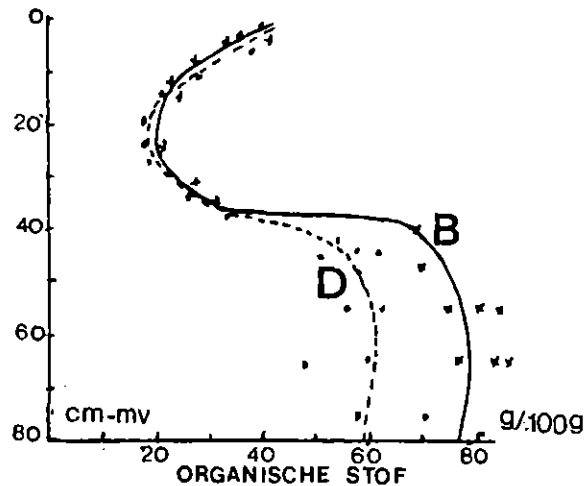


Fig. 9. Gemiddeld organisch stofgehalte voor de percelen B en D  
(Hoenkoop)

Tabel 5. Gemiddelde zakking in mm/jaar over '69-'79 na peilverlaging  
van 30 cm -mv naar 100 resp. 70 cm -mv in '69

| Perceel | Slootpeil | Zakking | Krimp + Ox. | Oxydatie | Opmerking                            |
|---------|-----------|---------|-------------|----------|--------------------------------------|
| B       | 100       | 11,1    | 8,4         | 7,0      |                                      |
| D       | 70        | 3,3     | 2,5         | 4,4      | in '77 slootpeil<br>verhoogd (40 cm) |

Tevens zijn jaarlijks maaiveldshoogtemetingen verricht waaruit de zakkingen gehaald kunnen worden (fig. 10). De gemiddelde zakking over '69-'70 bedraagt voor perceel B 7,5 mm/jaar en voor perceel D 6 mm/jaar, hetgeen terugredenerend overeenstemt met de hogere ligging van perceel D en eveneens met het lager organisch stofgehalte en de hogere grondwaterstand.

De zakking van 7,5 mm/jaar van het maaiveld komt niet overeen met de 11,1 mm zoals met de zakplaatjes gemeten werd. Dit kan het gevolg zijn van het meten over een ander aantal jaren maar kan ook veroorzaakt worden door de variaties die op korte afstand van elkaar voorkomen, zoals aangegeven.

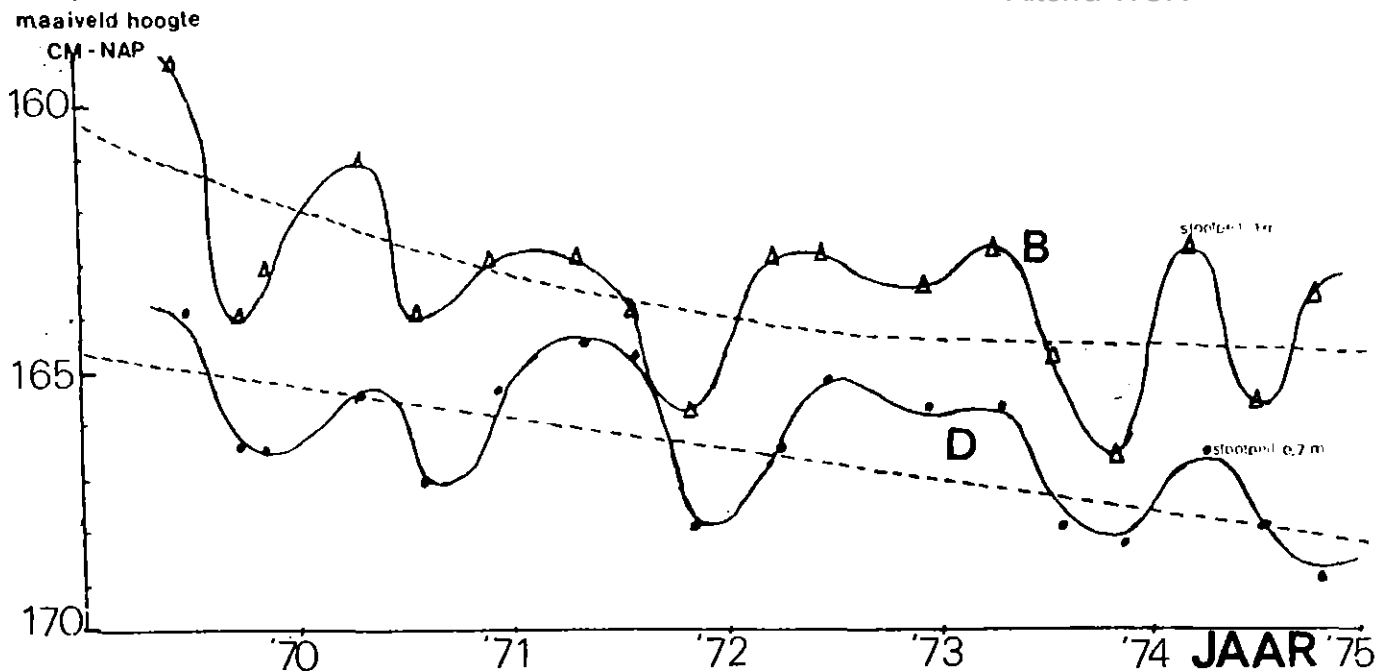


Fig. 10. Daling van het maaiveld voor de percelen B en D in de jaren '69-'75 (Hoenkoop)

Gemiddelde zakking: B = 7,5 mm/jaar; D = 6 mm/jaar

De oxydatiesnelheid van het veen is moeilijk met die van het veen op Zegveld te vergelijken, omdat de slootpeilen verschillen. De oxydatie bij de percelen D en 3 (Zegveld) is gelijk, maar een slootpeil van 1 m -mv zoals bij perceel B het geval is komt op Zegveld niet voor en dit slootpeil is juist zo van invloed op de oxydatie zoals bij Zegveld reeds bleek. Dat ook hier het slootpeil een rol speelt bij de oxydatie blijkt bij de bestudering van de droge stof-opbrengsten bij verschillend slootpeil en met verschillende N-gift (fig. 11). Hoewel een extra N-gift bij alle slootpeilen nog wel een positief effect heeft lijkt een slootpeilverlaging van 40 naar 70 cm nauwelijks effect te hebben. Dit in tegenstelling tot een slootpeilverlaging van 70 naar 1 m -mv, waarbij het effect veel groter schijnt te zijn. Een verklaring hiervoor ligt vermoedelijk deels ook weer op het vlak van de luchthuishouding.

In fig. 12 zijn luchtgehaltes in vol.% gegeven in relatie tot de diepte gemeten in maart en september van '72 en '73 op de percelen B (slootpeil 1 m -mv) en D (slootpeil 0,7 m -mv). Het gebied geeft de gehalten tussen de minimale en maximale gevonden waarde.

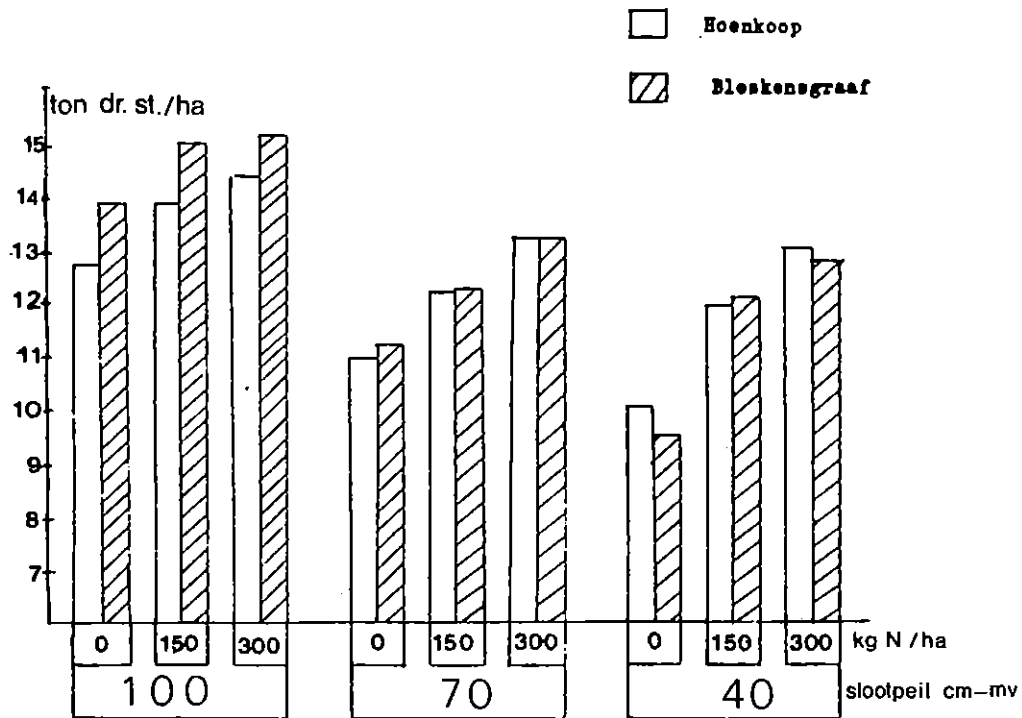


Fig. 11. Grasopbrengsten bij verschillende N-giften en slootpeil (Hoenkoop en Bleskensgraaf '70-'74)

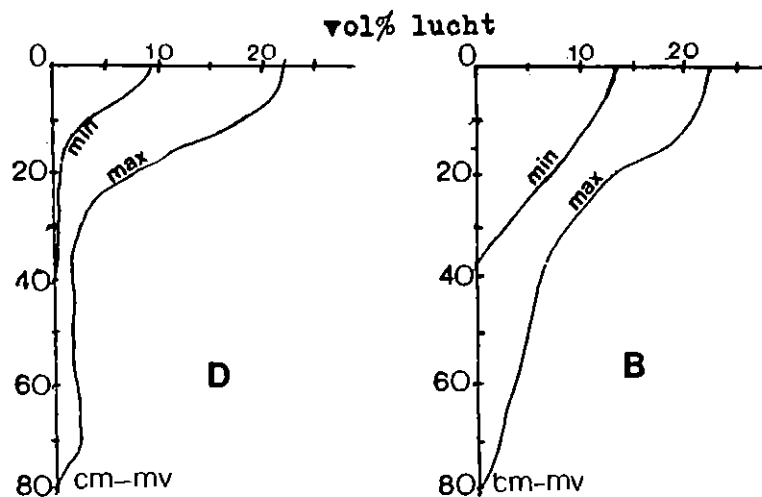


Fig. 12. Vergelijking van de gemeten vol.% lucht voor de percelen B en D in 1972 en 1973 (Hoenkoop)  
slootpeil 100 respectievelijk 70 cm -mv

Hieruit blijkt wel, dat het vol.% lucht in profiel B duidelijk groter is en tevens veel dieper doorgaat. Vooral dit laatste zou wel eens van belang kunnen zijn gezien het kleidek dat bovenop het profiel ligt. Op perceel D zit de lucht voornamelijk in de bovenste 25 cm, terwijl op perceel B de lucht tot circa 50 cm doordringt. Tevens zit er op 40 cm juist de grote sprong in organische stofgehalte, wat mede de oorzaak zal zijn van het grote oxydatieverschil tussen beide profielen. Per slot van rekening geeft een slootpeilverlaging van 30 cm maar een gemiddelde grondwaterstands daling van 18 cm, maar dit heeft wel even een verhoging in oxydatie tot gevolg van 4,4 naar 7,0 mm/jaar.

2.3.4.3. C o n c l u s i e. Concluderend omtrent Hoenkoop kan gezegd worden dat de oxydatie van het veen hier bepaald wordt door de grondwaterstand en het kleidek, dan wel het organisch stofgehalte wat daaraan gekoppeld is.

Hierbij blijkt een verlaging van 40 naar 70 cm van het slootpeil minder effect te hebben dan een verlaging van 70 naar 100 cm -mv. Deels zal dit komen door de sterke toename van het organisch stofgehalte onder het kleidek, maar gezien de grootte van de toename in oxydatiesnelheid is het niet ondenkelijk, dat het veen op deze grotere diepte onder het kleidek sneller oxydeert, dan het veen in de bovengrond, want de grondwaterstand is weliswaar diep, maar een oxydatiesnelheid van 7 mm/jaar is erg veel.

Verder lijkt het kleidek wel een gunstige invloed te hebben wanneer je de oxydatie snelheid vergelijkt met Zegveld, want bij een slootpeil van 100 cm -mv blijkt de oxydatie nauwelijks groter dan Zegveld met een slootpeil van 80 cm -mv (zie tabel 4 en 5), nog afgezien van het feit, dat uit draagkrachtsoogpunt een hogere grondwaterstand gehandhaafd kan worden.

#### 2.3.5. Veenweidegebied Alblasserwaard (Bleskensgraaf)

2.3.5.1. A l g e m e e n. Voor de ligging wordt verwezen naar bijlage 1.

Het profiel van Bleskensgraaf is vergelijkbaar met Hoenkoop, namelijk bos en zeggeveen met kleihoudende laagjes van wisselende dikte en een fluviatiel kleidek van circa 30-40 cm. De dikte van het veenpakket is 7-9 m en dus bijna 2 keer zo dik als Hoenkoop. De opbouw van het profiel is voor 2 percelen (I en III) weergegeven in fig. 13. De hoogteligging is circa 1,65 m -NAP. Het oorspronkelijke slootpeil

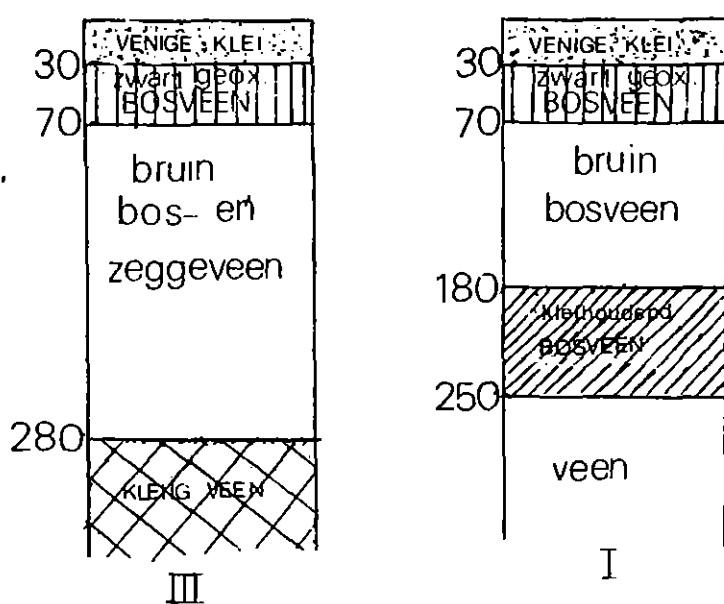


Fig. 13. Profielopbouw percelen I en III (Bleskensgraaf)

(30 cm -mv) is met de aanleg van de proefveldjes in '69 verlaagd naar 70 en 100 cm -mv. Verschil met Hoenkoop is echter dat over '69-'75 Bleskensgraaf beduidend sneller blijkt te zakken (tabel 6), namelijk 101 mm tegen 64 mm bij een slootpeil van 1 m -mv en 52 mm tegen 26 mm bij een slootpeil van 70 cm -mv. Dit laatste is echter beduidend minder dan de zakking van 98 mm welke voorkwam op Zegveld bij een slootpeil van 70 cm -mv. Hieruit blijkt de gunstige invloed, welke het kleidek op de zakking heeft.

Tabel 6. Afname in dikte van de profiellagen, de totale krimp + oxydatie ( $S_{sh}$ ), totale klink ( $S_c$ ) en de totale zakking ( $S$ ) over de periode 1969-1975 in mm; tussen haakjes over de periode 1973-1974 (SCHOTHORST, 1982)

| Depth in<br>m - surface                  | Zegveldebroek |        |        |        | Bleskensgraaf |         | Hoenkoop |        |
|------------------------------------------|---------------|--------|--------|--------|---------------|---------|----------|--------|
|                                          | 20b           | 20a    | 3      | 16     | III           | I       | D        | B      |
| 0-0.20                                   | 16(3)         | 21(0)  | 20(3)  | 22(1)  | 7(0)          | 13(2)   | 5(1)     | 11(2)  |
| 0.20-0.40                                | 8(2)          | 20(2)  | 21(2)  | 16(2)  | 9(3)          | 12(3)   | 9(5)     | 9(2)   |
| 0.40-0.60                                | 8(2)          | 18(4)  | 19(7)  | 11(5)  | 8(2)          | 13(2)   | 2(0)     | 10(3)  |
| 0.60-0.80                                | 6(2)          | 3(3)   | 11(6)  | 8(4)   | 8(2)          | 12(3)   | 1(0)     | 7(2)   |
| 0.80-1.00                                | 3(3)          | 2(2)   | 0(0)   | 2(0)   | 4(0)          | 13(6)   | 0(0)     | 3(0)   |
| 1.00                                     | 19(3)         | 20(10) | 27(4)  | 27(11) | 16(2)         | 38(6)   | 9(0)     | 24(3)  |
| $S_{sh}$                                 | 41(12)        | 64(11) | 71(18) | 59(12) | 36(7)         | 63(16)  | 17(6)    | 40(9)  |
| $S_c$                                    | 19(3)         | 20(10) | 27(4)  | 27(11) | 16(2)         | 38(6)   | 9(0)     | 24(3)  |
| $S$                                      | 60(15)        | 84(21) | 98(22) | 86(23) | 52(9)         | 101(22) | 26(6)    | 64(12) |
| Depth ditchwater<br>level in m - surface | 0.50          | 0.80   | 0.70   | 0.80   | 0.70          | 1.00    | 0.70     | 1.00   |

2.3.5.2. Z a k k i n g v a n d e p e r c e l e n I e n I I I (A l b l a s s e r w a a r d). Het slootpeil blijkt ook hier weer van groot belang te zijn. In fig. 14 zijn de zakkings weergegeven voor de percelen I (slootpeil 1 m -mv) en III (slootpeil 0,70 m -mv) bepaald door maaiveldshoogtemetingen over de jaren '69-'75 (zie bijlage 4).

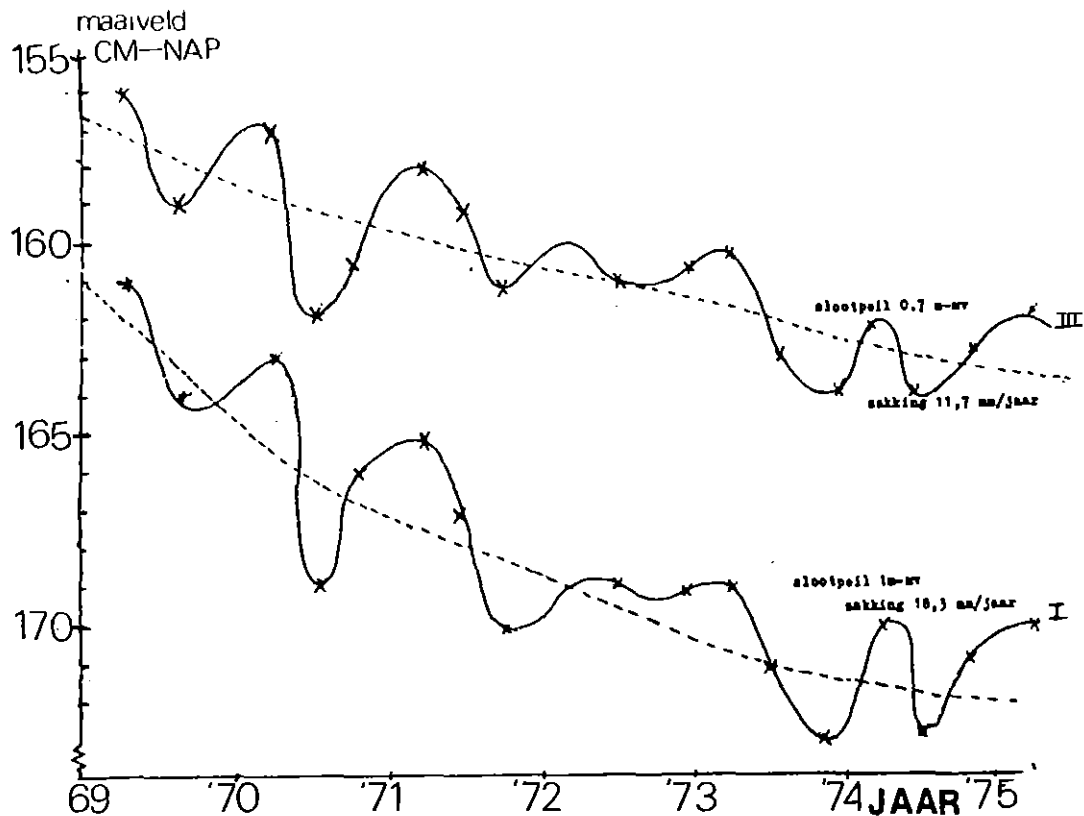


Fig. 14. Zakking van het maaiveld voor de percelen I en III (Bleskens-graaf)

De gemiddelde zakkings bedragen 11,7 mm/jaar voor perceel III en 18,3 mm/jaar voor perceel I. Uit de droge stof opbrengsten over '70-'74 (fig. K) blijkt, dat bij een dieper slootpeil de opbrengst groter is en daar dus een grotere oxydatie verwacht mag worden en tevens dat het effect van peilverlaging groter is dan bij Hoenkoop. Uit berekeningen via toename van het volumegewicht van de minerale delen wordt echter geen verschil in oxydatiesnelheid van het veen gevonden over de jaren '69-'76.

Tabel 7. Zakking van de percelen I en III in de jaren '69-'76  
(Bleskensgraaf)

| Perceel | Slootpeil | Zakking | Krimp +<br>oxydatie | Oxydatie |
|---------|-----------|---------|---------------------|----------|
|         | cm -mv    | mm/jaar | mm/jaar             | mm/jaar  |
| I       | 100       | 22      | 16,3                | 4,3      |
| III     | 70        | 9,9     | 9,1                 | 4,3      |

Het organisch stofgehalte voor beide profielen is nagenoeg gelijk (profiel III iets hoger (2 à 3%) in de bovengrond dan perceel I) en vergelijkbaar met Hoenkoop perceel B (fig. 9). De pH is ongeveer 4,5 en vrij constant met de diepte. De luchthuishouding geeft boven in het profiel meestal voor beide hetzelfde (soms iets hoger voor perceel III) en is voor perceel I in de ondergrond meestal iets hoger maar beide hebben diep nog een redelijk vol.% lucht. Deze gegevens zouden voor perceel I (dieper slootpeil) een hogere oxydatie doen verwachten, hetgeen kennelijk niet het geval is. Misschien dat dit verschil het gevolg is van een verschil in veensoort (zie profielopbouw fig. 13) wat dit effect teniet doet. Al met al lijkt de oxydatie geringer dan bij andere gebieden en is de zakking voornamelijk het gevolg van krimp.

2.3.5.3. C o n c l u s i e. Concluderend kan opgemerkt worden dat het slootpeil grote invloed heeft op de zakking, echter niet op de oxydatie. Dit laatste komt misschien doordat, hoewel het vol.% lucht bij verlaging van het slootpeil toeneemt, er bij het hoge slootpeil toch ook al tot op vrij grote diepte een redelijk vol.% lucht voorkwam (5% op 60 cm).

Anderzijds zou het verschil kunnen zitten in de samenstelling van het veen wat dan tevens een verklaring zou kunnen geven voor het relatief lage oxydatieniveau ten opzichte van andere gebieden (Zegveld/Hoenkoop).



### 2.3.6. Veenweidegebied Paaslo Oldemarkt (SCHOTHORST, 1980)

Een heel ander veengebied vinden we in Paaslo in N.W. Overijssel (bijlage 1). Hier zijn over de zakkingen en oxydatie slechts summier gegevens gevonden, aangezien in dit gebied voornamelijk gekeken werd naar verbetering van het bodemprofiel van klei op veengronden door vermenging van de grenslaag met de zware kleilaag.

De problemen welke zich op deze gronden voordeden waren geringe draagkracht in voorjaar en herfst en verdroging in de zomer.

De profielopbouw was als volgt:

- 0- 20 zware grijze kalkloze knippige klei
- 20- 30 zwartvenige gruislaag
- 30- 60 vast matig verweerd zeggeveen
- 60-140 bruin weinig verweerd zeggeveen
- 140-280 zeer slap rietzeggeveen
- > 280 zandondergrond.

De bewerkingen welke er op uitgevoerd zijn, zijn de volgende:

- B: bewerkt met mengrotor tot 40 cm + 30 ton schuimaarde      pH = 6,05
- C: geploegd tot 30 cm + 30 ton schuimaarde                      pH = 6,30
- E: onbehandeld                                                              pH = 4,25

Het effect van de bewerking was, dat de grond in de zomer beter werd (natter) maar wel later en minder draagkrachtig waardoor het totaal effect nadelig was.

De zakking van het, al lange tijd, diep ontwaterde profiel was respectievelijk 25, 11 en 14 mm, voor respectievelijk B, C en E in de eerste 3 jaar na bewerking.

De verliezen door oxydatie werden berekend op grond van de extra N-leverantie (opnamé). Deze bedroeg 1 mm/jaar voor de bewerkte en 2,5 mm/jaar voor de onbewerkte percelen. De verwachting was dat ten gevolge van de bewerking (veen in de bovengrond + hoge pH) de oxydatie bij de bewerkte percelen hoger zou zijn. Dit blijkt niet het geval te zijn, maar deze lagere mineralisatie is vermoedelijk het gevolg van de nattere omstandigheden. Opvallend is wel dat de oxydatiesnelheid zo laag is. Dit zit hem waarschijnlijk vast op de aard van het veen in dit gebied. Dit veen is minder verweerd, heeft een lagere pH en een lager N-gehalte dan het veen in de Westelijke veenweidegebieden. De lagere oxydatie-snelheden van deze

gebieden zullen dan ook voornamelijk een chemische oorzaak hebben. (Soortgelijke proeven op Mastenbroek en Spannenburg (1977) gaven dezelfde resultaten (LUTEN,       )).

### 2.3.7. Conclusies

Hoewel dit overzicht van de veengronden in Nederland geenszins volledig is (zo zijn bijvoorbeeld de veengebieden in Gelderland, met een ondiepe zandondergrond niet in beschouwing genomen) geeft het een indruk van mogelijke zakkingen in den lande en welk aandeel hierin voor rekening komt van oxydatie. Gemiddeld zal dit bij huidig ontwateringsregiem circa 5 mm/jaar zijn, zodat momenteel de veengronden 2 à 3 keer zo snel verdwijnen (en zakken) als in de voorgaande eeuwen. Uit het overzicht blijkt voorts, dat de zakking door de oxydatie veelal gekoppeld is aan het luchtvolume in de grond welke op zijn beurt voor een groot deel weer bepaald wordt door het slootpeil, maar dat dit niet de enige factor van belang is.

Voorts blijkt, dat de profielen met een kleidek minder snel zakken dan die zonder kleidek, wat weer enigszins teniet gedaan wordt door het handhaven van hoger slootpeil in deze gebieden. Een groot deel van de oxydatiesnelheid wordt zodoende bepaald door de fysische grootheden vocht- en luchtgehalte. Een tweede factor, welke zeker ook van belang is, is de veensoort en de chemische samenstelling van het veen wat zeer sterk tot uitdrukking komt in verschillen tussen objecten in het Westelijk veenweidegebied en die in N.W.-Overijssel. Maar misschien is het ook wel eens de oorzaak van het feit, dat de oxydatiesnelheid bij een peilverlaging van 70 naar 100 onevenredig veel meer toeneemt dan bij een peilverlaging van 40 naar 70 cm -mv.

De voorgaande inventarisatie verschaft niet alle informatie die nodig is om te kunnen bepalen wat de preciese invloed is van verschillende factoren (als luchtgehalte, vochtgehalte, temperatuur en samenstelling veen) op het oxydatieproces. Dit wordt nog eens versterkt doordat verschillende slootpeilen of variaties in samenstelling (kleilaagjes) een onderling vergelijk bemoeilijkt.

Dergelijke gegevens kunnen beter uit laboratoriumbepalingen gehaald worden welke voornamelijk in het buitenland verricht zijn. Hierna volgt een overzicht van resultaten verkregen uit diverse onderzoeken op oxydatiegebied met name in de V.S.

## 2.4. O x y d a t i e

### 2.4.1. Algemeen

Wanneer organische stof aan de lucht wordt blootgesteld, wordt deze afgebroken. Dit gebeurt in al onze gronden en is onafhankelijk van de hoeveelheid organische stof. Tegenover deze afvoer van organisch materiaal staat een aanvoer welke een gevolg is van afsterven van plantenwortels, toevoer van bovengrondse plantendelen, uitscheiding van levende plantenwortels en van eventuele organische bemesting. In verreweg de meeste gronden zijn aan- en afvoer met elkaar in evenwicht en komt het organische stofgehalte rond de 1 à 10% te liggen.

Duidelijk hierbuiten vallen onze veengronden waar de afvoer enkele malen groter is dan de aanvoer, wat deels een logisch gevolg is van het hoge organisch stofgehalte. Anderzijds is er een andere flora van micro-organismen, alsmede een vertraagde afbraak onder te natte omstandigheden en andere eindprodukten (org. zuren) (STEVENSON, 1982).

Het C-gehalte in alle produkten bedraagt gemiddeld 50%. Bij afbraak komt deze als  $\text{CO}_2$  vrij en dit wordt dan ook als maat voor de afbreeksnelheid gebruikt.

Wanneer men kijkt naar  $\text{CO}_2$  produktie van de grond, is een aanzienlijk deel (30%) hiervan afkomstig van de wortels, een klein deel tengevolge van chemische omzettingen en het gros tengevolge van afbraak van plantenmateriaal door micro-organismen. De 30% van de wortels zijn ongeveer voor de helft ook een gevolg van microbiële activiteiten, zodat in het totaal ongeveer 85% van de  $\text{CO}_2$  produktie voor rekening van micro-organismen komt. Dat het proces niet een en al microbiologisch is, blijkt uit de bestudering van het temperatuur-effect. Bij verhitting tot  $65^\circ\text{C}$  is er een toename, bij hogere temperaturen volgt een afname (te warm voor de meeste micro-organismen). Bij temperaturen boven de  $90^\circ\text{C}$  vindt echter weer een toename plaats, omdat het chemisch proces dan de overhand krijgt (STEVENSON, 1982).

Schematisch wordt het proces van aan- en afvoer weergegeven in fig. 15 (WAKSMAN, 1952). Dit schema doet de processen echter simpeler lijken dan ze zijn. In de natuur zijn verschillende groepen van micro-organismen constant bezig met afbreken en ombouwen van planten en dierlijke resten in andere vormen, soms simpeler, dan weer complexer. Zelfs wanneer een micro-organisme doodgaat stopt deze transformatie niet, omdat het dode organische substraat opnieuw gebruikt wordt door andere micro-organismen (fig. 16) (McLAREN and PAUL, 1978).

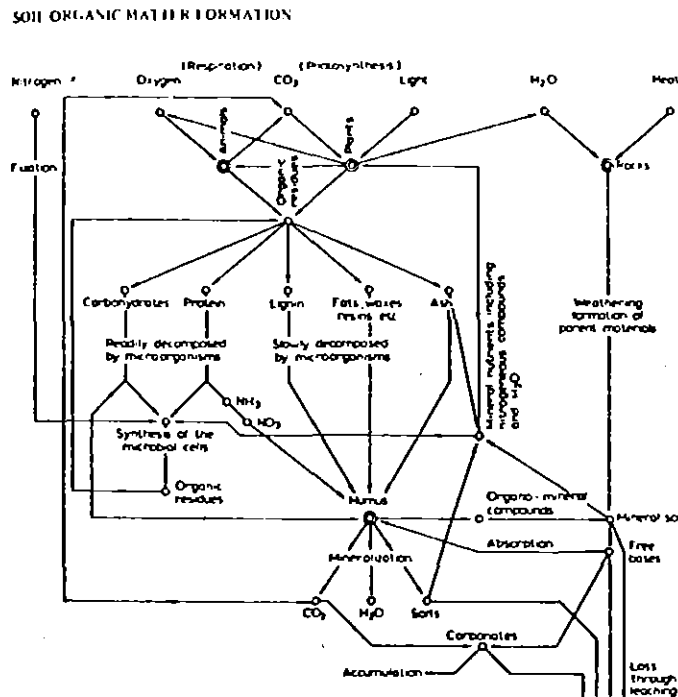


Fig. 15. De relatie tussen de verschillende processen welke betrekking hebben op de synthese en afbraak van organische stof in de grond (WAKSMAN, 1952)

In fig. 16 wordt de organische stof over 3 fracties verdeeld namelijk PM (welke het verse plantenmateriaal bevat, BIO, welke de biomassa in de grond omvat inclusief het materiaal wat wordt opgenomen bij de omzettingen en MET de gevormde metabolische produkten. De kwantitatieve verdeling van de organische stof over deze fracties wordt bepaald door de aan- en afvoer met hun snelheden, zoals schematisch is aangegeven. Bij afbraak wordt organische stof verdeeld over de fasen MET en BIO met de fracties  $f$  en afbraaksnelheden  $r$ . Hierbij komt CO<sub>2</sub> vrij. Na verloop van tijd ontstaat er evenwicht in de grond bepaald door de afbraaksnelheden en de aanvoer van vers materiaal.

De formatie en afbraak van humus is een cyclisch proces, alleen is de cirkel niet gesloten. Aanvoer van N, O, C, H, Ca, Mg, P en S geschiedt via een uitwendige bron, terwijl andere elementen verdwijnen via de lucht dan wel door fixatie. Ten tweede worden tijdens de afbraak van grote, kleine moleculen gemaakt en kleine moleculen verlaten de 'cirkel' gemakkelijker dan grote. Bij alle transformaties spelen de micro-organismen echter een belangrijke rol.

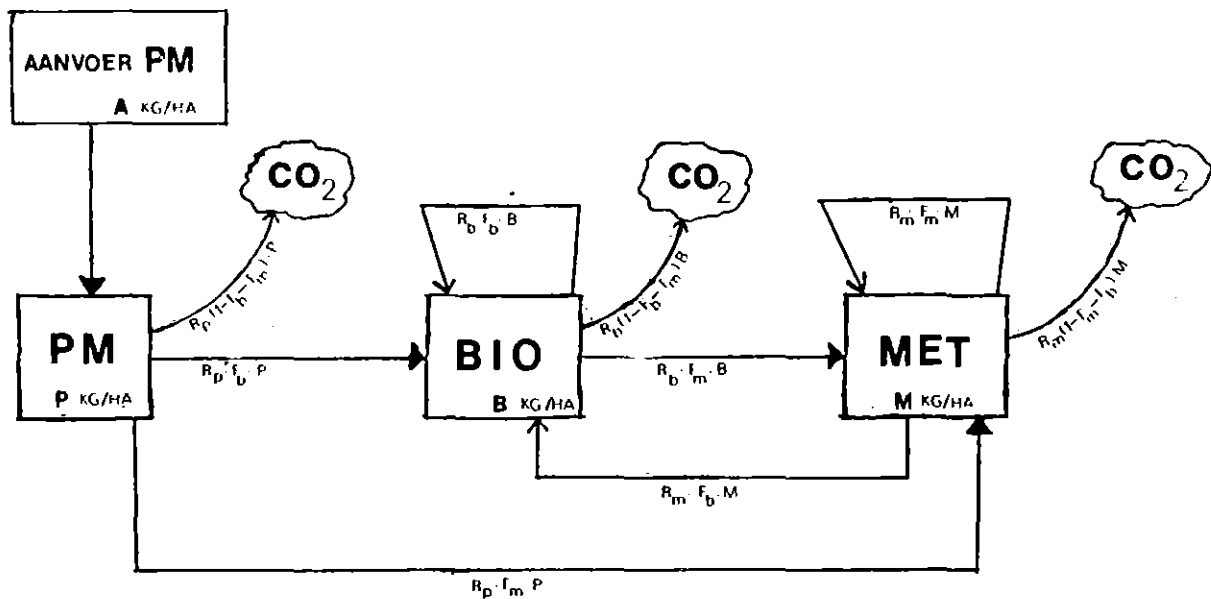
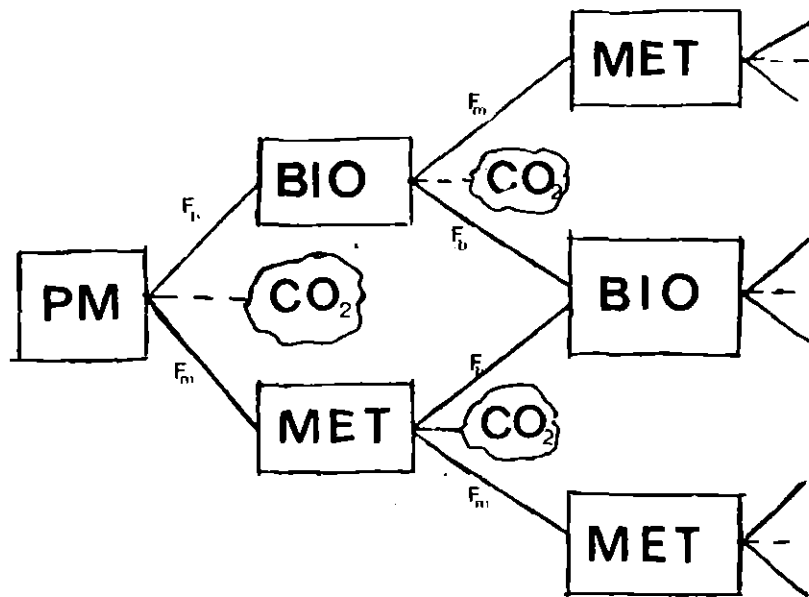


Fig. 16. Verdeling van organisch materiaal in plantenmateriaal (PM), biomassa (BIO) en metabolische produkten (MET) met de omzettingen en de daaruit tot stand komende evenwichtstoestand  
 $r$  = rel. omzettingssnelheid (g/g.t)  
 $f$  = fractie van de omzetting

#### 2.4.2. Micro-organisme in de bodem

2.4.2.1. A l g e m e e n. In de bodem bevinden zich gemiddeld 300-500 kg/ha micro-organismen. Een kenmerk van de micro-organismen is veelvuldig dat ze leven op hun bestaansminimum: ze zijn kleiner dan normaal en veelal in rustvorm aanwezig.

In de bodem komen 90% van de micro-organismen geadsorbeerd aan de vaste stof voor (voornamelijk aan de organische stof). Dit heeft onder andere tot gevolg dat de micro-organismen langer in leven blijven (halfwaardetijd van 1700 uur in plaats van 65 uur). Hierbij komt nog eens een delingstijd welke 10 - 100x korter is dan in het laboratorium bepaald. (Een delingstijd van 2 uur bij 30°C is niet abnormaal). Dit alles geeft micro-organismen de gelegenheid in te springen in goede tijden en een voorraad reservevoedsel op te bouwen, waarop enige tijd geteerd kan worden.

Een gevolg hiervan is, dat bij toediening van vers organisch materiaal aan grond er een 'explosie' van activiteit plaatsvindt (fig. 17). Deze explosie bestaat in eerste instantie uit een directe toename in activiteit (LAG fase), welke als maat gebruikt wordt voor in de grond aanwezige micro-organismen. (Maximale initiële respiratiesnelheid) gevolgd door een constante toename door groei (LOG fase).

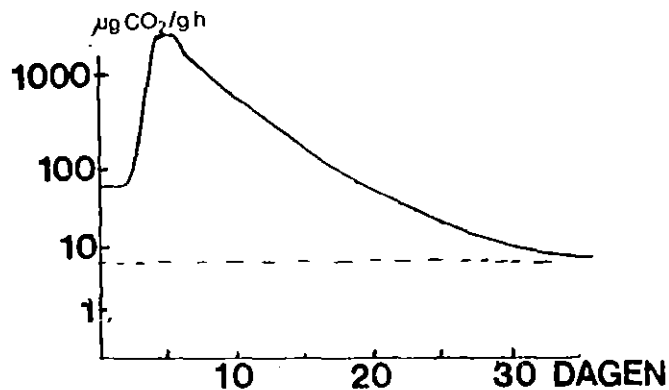


Fig. 17. Activiteit explosie van micro-organisme na toediening van vers organisch materiaal

Deze groei is exponentieel. Vervolgens volgt de stationaire fase, waarop het verse materiaal verbruikt is, gevolgd door de afstervingsfase welke enige tijd in beslag kan nemen, doordat micro-organismen

langzaam sterven en elkaar 'opeten'. Uiteindelijk wordt weer teruggekeerd op het uiteindelijke niveau. Een gevolg hiervan in de praktijk is tevens, dat het  $O_2$  gehalte in een grond na toediening van vers organisch materiaal, zeer sterk kan dalen en dit enige weken stand kan houden (EPSTEIN en KOHNKE, 1956).

2.4.2.2. G r o e p e n v a n m i c r o - o r g a n i s m e n . De groepen van organismen welke bij deze omzettingen een rol spelen zijn bacteriën, actinomyceten en schimmels (STEVENSON, 1964).

#### Bacteriën

Dit zijn de meest overvloedige en de meest verscheidene groep van micro-organismen, variërend van 2 tot 100 miljoen/gram grond. De grootste hoeveelheid bevindt zich in de bovenste 15 cm van de grond, echter de hoeveelheid wordt door veel factoren snel beïnvloed (pH, vocht, aeratie etc.). Ze zijn te verdelen in twee groepen namelijk autotroof (zelfvoorzienend) en heterotroof (breken organisch materiaal af), waarvan de laatste de overhand hebben.

#### Actinomyceten

In aantal wat minder dan bacteriën, maar in gewicht ongeveer gelijk. Hun aantal is niet zo sterk seizoensbeïnvloedbaar als de bacteriën, maar ze worden wel merkbaar beïnvloed door organische stof, vocht, pH en temperatuur.

Ze zijn heterotroof met een wijd voedselbereik en passen zich goed aan. Het zijn echter extreem langzame groeiers en kunnen daardoor voor de eerste afbraak nauwelijks als concurrenten voor de bacteriën gezien worden. Dat ze toch in grote hoeveelheden gevonden worden, zou er op kunnen wijzen, dat ze van belang zijn bij de afbraak van de meer resistente componenten. Ze zorgen voor de typische 'grondlucht'.

#### Schimmels

Schimmels zijn heterotroof en spelen tevens een rol in de afbraak van organische stof. De hoeveelheid waarin ze voorkomen is moeilijk te bepalen want ze komen voor in de vorm van vegetatief mycelium en reproducerende spore. Ze zijn gering in aantal, maar hebben grote cellen waardoor ze wat betreft microbieel protoplasma, de bacteriën en actinomyceten evenaren. In tegenstelling tot deze hebben ze een hoge zuurtolerantie en komen ze vooral voor bij pH's kleiner dan 4,5.

#### 2.4.3. Invloed van diverse uitwendige factoren op oxydatie van organische stof

De microbiologische balans moet bekeken worden als een dynamisch evenwicht. Vele uitwendige factoren beïnvloeden dit evenwicht al dan niet tijdelijk, en zijn daardoor ook van invloed op de oxydatie van het organisch materiaal en zijn er danook de oorzaak van dat er verschil in zakkingen van veengronden voorkomen van 1 tot 80 mm/jaar (MATHUR, 1981).

2.4.3.1. M a t e r i a a l. Verschillende plantenresten degraderen met verschillende snelheden. Zo zakken de lignine rijke autotrofe bosvenen in Indonesië minder dan 1 cm/jaar ondanks het warme vochtige klimaat, en zijn de verliezen tengevolge van oxydatie hoger in laagveen dan in hoogveen (MATHUR, 1981).

Eveneens is het N-gehalte van het materiaal van belang (ALLISON, 1973). Zo zal de afbraak maximaal zijn bij een C/N verhouding  $< 25$  Micro-organismen bouwen deze N in in hun cellen. Wanneer de C/N verhouding  $< 25$ , komt er N vrij bij de afbraak. Een hoger C/N hoeft niet direct vertragend te werken, doordat er dan minder N ingebouwd wordt. Te hoge C/N verhoudingen zorgen echter wel voor enige vertraging in de afbraak ( $>30$ ).

Tevens dient in dit kader genoemd te worden het effect dat klei heeft op de afbraak van organisch materiaal. Het feit, dat het organisch stofgehalte van kleigronden hoger is dan voor zandgronden gaf al lang de indruk, dat er een beschermende invloed van de klei uitgaat. Onderzoek (GREENLAND, 1965) wees uit, dat afbraak van organisch materiaal door bacteriën gemengd met grond langzamer verliep dan bij deze zonder grond. Een verklaring hiervoor moet gezocht worden in het feit, dat een bescherming wordt gegeven door een verandering van een configuratie, het niet beschikbaar zijn van bepaalde groepen of adsorptie van enzymen. Tevens zijn er aanwijzingen, dat de ademhaling bij adsorptie van micro-organismen aan klei geremd wordt om een nog niet bekende reden.

Naast deze bescherming kan er ook nog een stimulerende werking van de klei uitgaan door verandering van fysische omstandigheden, dan wel adsorptie van toxische stoffen en concentratie van het af te breken materiaal op het kleioppervlak.



Welke van de twee ook de overhand heeft, het is duidelijk, dat de klei zijn invloed heeft en dit zal dan ook merkbaar zijn in de veengebieden die een kleidek hebben. Bij de inventarisatie (Hoenkoop) werd al opgemerkt, dat er mogelijk een verschil was tussen oxydatiesnelheid van het veen in en onder het kleidek.

2.4.3.2. **K l i m a a t.** Binnen een groep van laagveen wordt een correlatie gevonden tussen de Lang factor (mm neerslag/gemiddelde temp.) en de jaarlijkse zakking. De verschillen waren groot tot een maximum van 70 mm/jaar (EGGELSMAN, 1976) (fig. 18) en minimum van  $\pm 10$ .

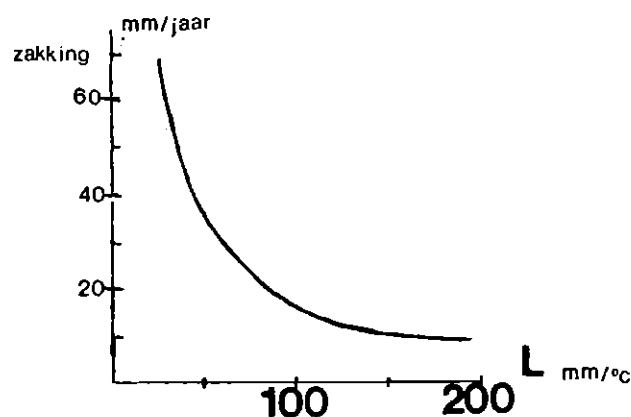


Fig. 18. Relatie zakking-Lang factor ( $L = \text{neerslag/temperatuur}$ )  
(EGGELSMAN, 1976)

2.4.3.3. **L a n d g e b r u i k.** Het landgebruik is sterk van invloed op de zakking. Zo is bij gebruik als grasland onder andere de aanvoer van organische stof groter en mede daardoor de zakking geringer. Verder geeft gebruik van dezelfde grond als bouwland een verdriedouping van de zakking door toename van de oxydatie (HETTINGA en SCHOTHORST, 1976).

2.4.3.4. **G r o n d w a t e r s t a n d e n v o c h t g e h a l t e.** Zoals uit de inventarisatie al bleek is de zakking sterk gecorreleerd met het grondwaterniveau. NELLER (1944) vond een rechtlijnig verband tussen  $\text{CO}_2$  produktie en grondwaterstand. Boven een bepaald minimum is het vochtgehalte voor de afbraak niet beperkend (ALLISON, 1973). Indirect is zijn invloed echter veel meer van belang, namelijk des te groter het vochtgehalte, des te lager het luchtgehalte. Wanneer

de oxydatie van veen dan ook gereduceerd wordt door teveel vocht, moet de oorzaak hiervoor gezocht worden in een zuurstoftekort.

Het optimale vochtgehalte voor oxydatie wordt meestal uitgedrukt in % van de watercapaciteit (= max. vochtgehalte). Dit optimum heeft een bereik wat loopt van 50 tot 100% terwijl WAKSMAN (1952) een reductie vond bij vochtgehalten boven de 80% en onder de 50% (fig. 19).

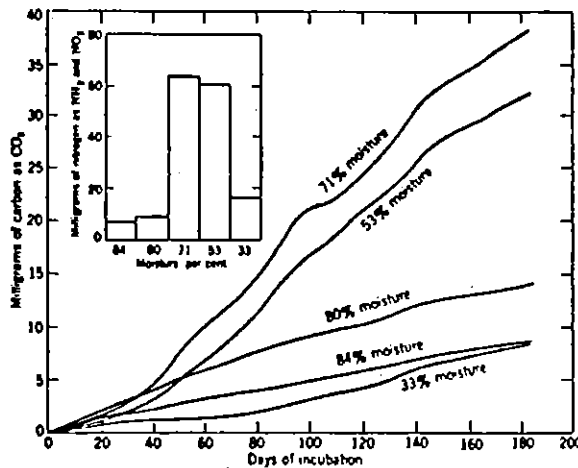


Fig. 19. Invloed van vocht op de afbraak van veen  
(vochtgehalte in % van de watercapaciteit) (WAKSMAN, 1952)

Het vochtgehalte kan beter uitgedrukt worden in waterdruk. Een optimum wordt dan gevonden bij 50 cm  $H_2O$  druk, maar in 15 dagen wordt er nauwelijks een reductie gevonden in een bereik van 1 - 3160 cm  $H_2O$ . Andere waarnemers gaven een optimum bij 150-500 cm  $H_2O$  druk met nauwelijks afnames voor lagere drukken (ALLISON 1973).

Wanneer vocht echter beperkend wordt voor micro-organismen om te leven, treedt er tevens nog een verandering in populatie op. De actinomyceten krijgen dan de overhand. Actinomyceten hebben voor hun metabolische activiteiten minder vocht nodig dan bacteriën en/of schimmels.

Verder blijkt, dat naast dit optimale vochniveau een wisseling van het vochtgehalte een positief effect heeft op de oxydatie van het veen om een niet duidelijke reden (WAKSMAN, 1952/STEPHENS and ALLEN).

2.4.3.5. T e m p e r a t u u r. Temperatuur is de factor, die de grootste invloed heeft op de oxydatie, maar deze beïnvloedt verschillende micro-organismen op een verschillende manier.

VOLK (1973) vond in laboratoriumbepalingen, dat in een bereik van 5 tot 45 °C bij elke 10°C stijging in temperatuur een verdubbeling van de CO<sub>2</sub> produktie optrad (een zogenaamd Q<sub>10</sub>). Over het algemeen wordt aangenomen, dat waardes voor deze Q<sub>10</sub> liggen tussen de 2 en 3 in. Hieruit blijkt al wel dat er geen exacte waarde voor gegeven wordt, hetgeen ook niet kan, gezien de grote variatie in micro-organismen, welke zich bezig houden met de afbraak.

Normaal gesproken worden micro-organismen in twee groepen ingedeeld: mesofiele bacteriën, actinomyceten en schimmels (groei van 0-45°C) en de thermofiele bacteriën en actinomyceten (groei 45-60°C). Veel thermofiele micro-organismen groeien echter ook (suboptimaal) bij lagere temperaturen.

Het proces van de afbraak is onafhankelijk van de temperatuur (ALLISON, 1973), maar zijn snelheid verandert. Een uitzondering hierop is wanneer de temperatuur voor een andere dominante flora zorgt, zoals de verschuiving van bacteriën naar actinomyceten.

Naast deze Q<sub>10</sub> waarde is tevens een ondergrens voor de temperatuur van belang met name in de wintermaanden als de temperatuur onder het vriespunt daalt. WAKSMAN (1952) maakt melding, dat de afbraak van organische stof onder de nul graden doorgaat. ALLISON (1973) vermeldt dat onder de 0°C sommige micro-organismen afsterven, maar de meeste 'slappend' in leven blijven en bij temperatuurstijging weer in actie komen, terwijl STEPHENS and SPEIR (1969) van mening zijn, dat deze minimumtemperatuur 5°C bedraagt, maar zij claimen deze niet als de enig juiste.

Al met al is het effect van de temperatuur (zij het dan niet helemaal exact bekend) een van de voornaamste oorzaken van verschil in oxydatiesnelheid in verschillende klimaten.

2.4.3.6. pH. De invloed van de pH is over het algemeen velerlei. In de eerste plaats zorgt een andere pH voor een verschil in vegetatie en de verschillen in samenstelling van organisch materiaal, welke op deze wijze in de grond komt heeft zijn invloed op de snelheid van de afbraak en het verloop van het proces (ALLISON, 1973).

Ten tweede heeft de pH zijn invloed op de samenstelling van het micro-organismenleven in de grond. Zo zijn er bij een hoge pH meer bacteriën en krijgen bij een lage pH de schimmels de overhand. Over het algemeen groeien bacteria sneller en zetten ze een groter deel van de organische stof om in  $\text{CO}_2$ . Na afbraak van de schimmels zelf wordt uiteindelijk het eindprodukt wel gelijk, maar de tussenliggende stappen zijn verschillend. Over het algemeen wordt de afbraak versneld bij hoge pH met het grootste effect in het traject  $\text{pH}_4$ - $\text{pH}_6$  (MATHUR, 1981).

In vele beschouwingen wordt het effect van de pH niet meegenomen, omdat bij een zure grond zowel de afbraak als de aanvoer geringer zijn, waardoor het effect twee kanten op werkt. Ten tweede (en dit geldt met name voor de akkerbouwgronden) worden de gronden bekalkt, aangezien een lage pH niet wenselijk is. Bekalking van veenkoloniale gronden is de reden dat er a) een gewas op kan groeien en b) er snellere afbraak plaatsvindt bij pH-verhoging van 3,5 naar 4,5 à 5.

#### 2.4.3.7. A e r a t i e. Micro-organismen functioneren

100% zelfs bij  $\text{O}_2$  concentraties ter plaatse van 0,2%. Lage  $\text{O}_2$  gehalten in de bodem zorgen echter voor lagere toevoersnelheden, waardoor plaatselijk anaërobie voor kan komen. Hierdoor wordt de afbraak, in zijn geheel beschouwd, vertraagd. Onder compleet anaërobe omstandigheden zijn andere bacteriën actief en worden er andere eindprodukten gevormd (organische zuren, iets  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  en  $\text{H}_2\text{S}$  en plantenmaterialen, die niet afgebroken kunnen worden). Bij wisselende aerobe/anaërobe toestanden worden deze tussenprodukten bij  $\text{O}_2$  toetreding snel afgebroken tot de normale eindprodukten (ALLISON, 1973).

#### 2.4.4. Berekening zakking door oxydatie bij gegeven grondwaterstand en temperatuur

2.4.4.1. I n l e i d i n g. Bij bepaling van de ontwateringsdiepte van een veengebied is het van belang een indruk te hebben van de zakking, die deze tot gevolg zal hebben. Zakkingen zijn in vele gebieden al vele jaren gemeten, waarbij in Everglades, Florida, 75% van deze zakking aan oxydatie wordt gewijd en in Rusland slechts 14%, waarbij dit dan tevens nog als bodemvormend wordt beschouwd.

STEPHENS en STEWART (1976) hebben ter vergelijking van de verschillende gebieden getracht een formule te maken welke, gebaseerd op temperatuur en grondwaterstand, het mogelijk moet maken de zakking door oxydatie uit te rekenen (STEPHENS-STEWART-CHEW relatie).  
(STEPHENS and SPEIR (1969)/STEPHENS and ALLEN/STEPHENS and STEWART (1976)/STEPHENS (1974).

#### 2.4.4.2. S t e p h e n s - S t e w a r t - C h e w F o r m u l e .

De omrekening is gebaseerd op de Arrhenius Law en is als volgt:

$$S_2 = S_1 \cdot (Q_{10})^x$$

met  $S_1$  = zakking door oxydatie in bekend gebied en temp.  $T_1$

$S_2$  = gevraagde zakking in een ander gebied en temp.  $T_2$

$$x = \frac{(T_2 - T_1)}{10}$$

Verdere uitbreiding van deze vergelijking, waarbij de grondwaterstand werd ingevoerd (gebaseerd op veldwaarnemingen, waarbij een rechtlijnig verband geconstateerd werd) geeft:

$$S_T = (a + bD) \cdot Q_{10}^{(T - T_o)/10}$$

met  $D$  = grondwaterstand (cm -mv)

$T_o$  = minimale temperatuur, waarbij oxydatie plaatsvindt (hier 5°C genomen)

Invullen van twee gemeten zakkingen in Florida bij een  $T$  van 25°C geeft de mogelijkheid de waarden voor  $a$  en  $b$  uit te rekenen.

Resultaten van deze formule maken het mogelijk om bij een bepaalde grondwaterstand en temperatuur een gemiddelde zakking door oxydatie te berekenen (fig. 20) ( $T_o = 5^\circ\text{C}$  en  $Q_{10} = 2,0$ ).

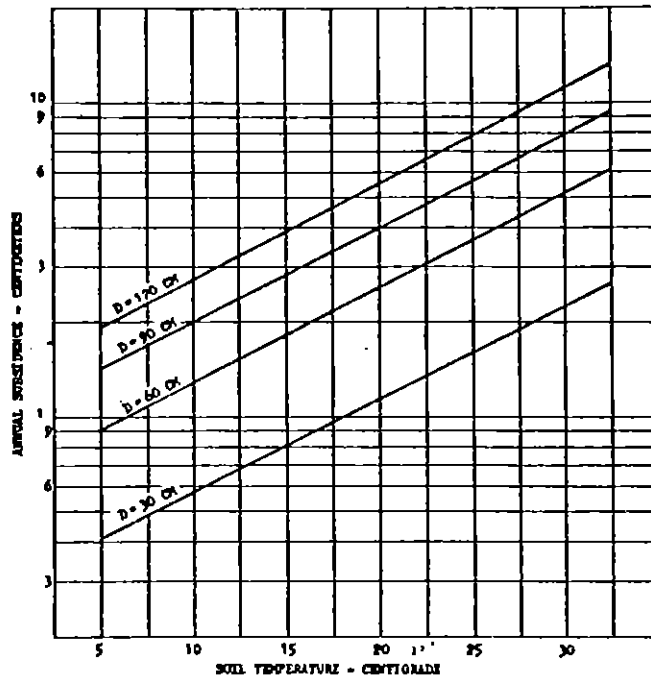


Fig. 20. Jaarlijkse maaiveldszakking van veen als functie van temperatuur en diepte grondwaterspiegel (D) (STEPHENS, 1974)

2.4.4.3. Toepassing Stephens Stewart Chew Formule voor Nederland. Een vergelijking trekkend met de situatie zoals we die in Nederland vinden, komen we wat de temperatuur betreft, 9 maanden boven de 5°C uit (gemiddeld 11,5°C) wat op jaarlijkse basis een gemiddelde zou geven van 8,6°C. (Bij berekening is er dus van uitgegaan, dat er onder de 5°C geen oxydatie voorkomt en dus zijn deze maanden niet meegerekend). Wij vinden dan bij een slootpeil van 70 cm een zakking door oxydatie van ongeveer 12 mm/jaar. Voor de zakking door oxydatie in ons land zijn tot nu toe waarden gevonden van om en nabij de 4-4,5 mm/jaar onder grasland en circa 15 mm onder bouwland.

Nu worden in het buitenland de zakkingsgegevens veelal verzameld voor landbouwgronden, die niet in gebruik zijn als weidegrond. Dit gebruik had echter een sterke invloed op de oxydatiesnelheid (zoals reeds eerder vermeld: verdrievoudiging). Gezien het verschil in landgebruik is de formule in zijn huidige vorm voor ons land niet bruikbaar. (Bij gebruik als bouwland klopte de zakking aardig).

Andere haken en ogen aan deze formule zijn, dat (naast het onbekend zijn van  $Q_{10}$  en  $T_0$ ) er alleen gekeken wordt naar invloed van temperatuur

en van grondwaterstand en verder geen factoren ingebouwd zijn. Zo wordt onder andere de veensoort niet in beschouwing genomen, terwijl deze wel degelijk (zeer sterk zelfs) de oxydatiesnelheid bepaalt. Zodoende zullen de waarden voor a en b veranderen met het landgebruik en de veensoort.

#### 2.4.5. Beheersing van de oxydatie van veen

2.4.5.1. O v e r z i c h t h u i d i g t o e g e p a s t e m e t h o - d e n. Gezien de continuïteit van het oxydatieproces is het wenselijk om deze aan banden te leggen. Pogingen hiertoe zijn in twee hoofdgroepen te verdelen: op het fysisch vlak en op het chemisch vlak.

Op het chemisch vlak ligt de vermindering van de 'luchtinlaat'. Dit kan bereikt worden door handhaven van een hoog grondwaterpeil. Deze methode is het meest voor de handliggend, maar wordt eigenlijk nooit toegepast aangezien een hoge grondwaterstand het land voor zijn landbouwkundig gebruik praktisch ongeschikt maakt. Het gebruik van het land dient hierbij ook genoemd te worden. Zo oxydeert het veen onder grasland veel minder snel dan onder bouwland (factor 3). Op het chemische vlak ligt het handhaven van een lage pH wat met behulp van bemesting goed mogelijk is. Bezwaar hierbij is weer dat door een lage pH de gewassen minder zullen groeien.

Momenteel wordt onderzoek verricht naar het creëren van een milieu wat wel acceptabel is voor plantengroei, echter niet voor micro-organismen. Veel successen worden behaald met toediening van Cu aan de grond. Dit zorgt voor inactivering van de extracellulaire enzymen van de micro-organismen. Aanbevolen hoeveelheden van toediening zijn hiervoor 15 kg/ha in het eerste jaar en 5 kg/ha in de daarop volgende jaren. De hoeveelheden welke hiermee bereikt worden zijn 100 tot 400 ppm Cu (afhankelijk van de bulkdichtheid) en de grens voor schade door Cu vergiftiging wordt gesteld op 2000 ppm. De Cu wordt toegediend in de bovenste 20 cm en migreert nauwelijks omlaag daar de capaciteit van humus voor Cu ligt bij 50 000 ppm. Eveneens bleek menging met minerale lagen op een mogelijke Cu vergiftiging geen effect te hebben. Over resultaten over toepassingen op grasland, welke beweid worden wordt verder geen melding gemaakt (CAMPBELL, 1981; MATHUR and LEVESQUE, 1982).

Een methode voor bescherming, welke veelvuldig werd toegepast in weidegebieden is het bedekken van het veen met een zandlaag. Naast een direct beschermende functie tegen oxydatie kan in deze gebieden eveneens een hogere grondwaterstand (in verband met betreding) gehandhaafd worden (GREENLAND, 1965).

Eveneens wordt het veen vaak gemengd met zand uit de ondergrond. Hierbij moet ter bestrijding van de oxydatie het uiteindelijk organisch stofgehalte kleiner zijn dan 10%. (Naarmate het organisch stofgehalte hoger is, moet een hogere grondwaterstand gehandhaafd worden). In ons land zijn hiervan toepassingen te vinden daar waar dunne veenlagen voorkomen (Gelderland, Overijssel) maar wordt voor het westelijk veenweidegebied een kostbare zaak, omdat het zand van elders moet worden aangevoerd.

2.4.5.2. B e s c h e r m i n g u i t g a a n d e v a n e e n k l e i d e k. Hoewel niet zo snel een kleidek op veen zal worden aangelegd, moet het hier toch genoemd worden, gezien de tragere oxydatie in veengebieden met een kleidek (b.v. Hoenkoop). Gedeeltelijk berust dit op het feit, dat de laag veen, welke boven het grondwater ligt, dunner en natter is. Echter ook de tragere oxydatie van organische stof in klei moet hierbij in beschouwing genomen worden (zie 2.4.3.1). Naast deze directe vorm van bescherming tegen oxydatie kan uit het oogpunt van de draagkracht een hogere grondwaterstand gehandhaafd worden, hetgeen op die manier de oxydatie beperkt.

2.4.5.3. C o n c l u s i e s. Naast handhaving van een hoog slootpeil, een lage pH en gebruik als grasland, wordt de oxydatie verminderd door bezanden van het veen, mengen met zandondergrond en door Cu-bemesting van het veen.

Vaak treden bij toepassing van dergelijke maatregelen bezwaren op met betrekking tot de bruikbaarheid van het veen voor gras- of bouwland. Ook spelen kosten van uitvoering een rol van betekenis bij de toepasbaarheid van maatregelen tegen oxydatie.

Er blijven nog vele zaken over die om betere kwantificering vragen zoals het effect van een wisselende grondwaterstand, van de diepte van de grondwaterspiegel, op welke diepten de oxydatie plaats heeft en waarom deze daar plaatsvindt. Verder door welke factoren de oxydatie bepaald wordt (beperkt wordt) en waardoor er verschillen zijn in oxydatiegevoeligheid van diverse veensoorten in diverse veengebieden.



### 3. MONSTERNAME EN MEETMETHODE

#### 3.1. I n l e i d i n g

Uit de inventarisatie van de zakking in diverse veenweidegebieden werd een indruk verkregen omtrent welke zakkingen er voorkomen en onder welke omstandigheden. Hierbij bleek de oxydatie vooral bepaald te worden door het slootpeil en de luchthuishouding van het veen, welke daarmee nauw verbonden is. Anderzijds was de chemische samenstelling van het veen duidelijk ook een factor van belang. Met name op dit laatste gebied is de informatie welke verkregen wordt vooralsnog summier. Een bijkomstigheid is daartoe, dat de oxydatie door vele uitwendige factoren beïnvloed wordt hetgeen een vergelijk onder natuurlijke omstandigheden bemoeilijkt. Het nemen van monsters veen van de diverse gebieden en het meten van de oxydatie daarvan onder in het laboratorium geconditioneerde omstandigheden zal daarom waardevolle informatie kunnen toevoegen aan de in het veld gemeten en berekende zakkingen. Aangezien dergelijke metingen nog niet eerder verricht waren, was het zaak monsters door te meten en de resultaten hiervan te vergelijken met de zakplaatjesmetingen, verricht op de plaats van de monstername. Tevens zal gekeken worden naar het verloop van deze oxydatie met de diepte en de invloed van de uitwendige factoren als vocht en temperatuur, hierop.

#### 3.2. M o n s t e r n a m e

Doel van de monstername was om van een bepaalde plek, lagen uit het veenprofiel ongestoord naar het laboratorium te halen. Met name dit ongestoorde karakter was hierbij van belang, aangezien de oxydatie in gestoorde monsters meestal veel hoger is dan die in ongestoorde.

##### 3.2.1. Materiaal

Uit dit oogpunt en mede uit het oogpunt dat de oxydatie nog wel meetbaar moet zijn, mogen de monsters niet te klein zijn. In eerste instantie werd gedacht aan verfblikken zonder bodem. Deze werden echter na het verwijderen van de bodem dermate slap, dat ze niet meer geschikt waren. (Zelfs bij monstername in zeer slappe ondergrond werd dit blik nog ingedeukt). Het tweede bezwaar was de te verwachten aantasting van het blik door het zure veen.

Op grond hiervan werd overgestapt op PVC-buizen welke voor riolering gebruikt worden. De diameter van de buis was 16 cm (uitwendig) en de dikte van het materiaal 4 mm. Als lengte werd eveneens 16 cm genomen, zodat de inhoud van de ring  $2900 \text{ cm}^3$  was. Aan de zijkant werden de potten van 3 gaatjes voorzien (op 4, 8 en 12 cm van boven af) om later meetinstrumenten in de potten aan te kunnen brengen. De afsluiting van de potten geschiedt met harde PVC afsluitkappen (voor riolering) welke iets opgeruimd zijn, zodat ze gemakkelijk op en af genomen kunnen worden, en in het midden voorzien van een gaatje, waardoor lucht toe- en afvoer plaats kunnen vinden.

Om bij de monsternamen te voorkomen dat het materiaal te veel wordt ingedrukt, mag de rand niet zo dik zijn en moet deze scherp zijn. Hiervoor werd een metalen 'snijkop' gemaakt, welke precies op de monsterringen past.

### 3.2.2. Methode van monsternamen

De ring met de snijkop werd met een hydraulische krik de grond ingedrukt. De zode die zeer grote weerstand kon bieden werd met een mesje rondom de ring voorgesneden. Ondanks de zeer natte periode voorafgaand aan de monsternamen, bleken de grondankers, de, voor het indrukken van de ring van 0-16 cm, benodigde tegenkracht, niet geheel te kunnen houden. De eerste ring moest daarom voor een deel met een hamer in de grond worden geslagen. De monsters op grotere diepte (meer dan 60 cm) konden met de hand worden ingedrukt. Nadat de ringen in de grond gedrukt waren, werden ze uitgegraven en het grensvlak geëgaliseerd, waarna de deksels erop gedaan werden. De gaatjes in de deksels en potten werden zolang afgeplakt met tesaband om zoveel mogelijk verdamping tegen te gaan.

### 3.2.3. Gegevens omtrent de monsternamen

De monsters zijn genomen op Zegveld perceel no. 3, aangezien Zegveld door afwezigheid van een kleidek en gezien zijn homogene profielopbouw het meest geschikt was voor een eerste meting.

Omdat er aan de monsternamen een erg natte periode vooraf was gegaan werd gekozen voor perceel no. 3, aangezien deze als een van de drogere percelen genoteerd stond.

Tevens werden in plastic zakken, op verschillende diepten genomen monsters, bewaard voor verdere analyse.

Datum monstername: 2-10-1984

Plaats : Zegveld, Perceel no. 3

Grondwaterstand : 36 cm -mv

Slootpeil : 70 cm -mv

Weer : droog, bewolkt (af en toe zonnig);  
voorafgaande dagen veel regen.

Dieptes van monstername:

| Pot no.         | 1    | 2   | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|-----------------|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Diepte<br>in cm | 0-16 | 0-8 | 15-31 | 21-37 | 43-59 | 63-79 | 79-95 | 33-49 | 52-68 | 76-92 |

Pot no. 2 is een halve pot van 8 cm i.p.v. 16 cm

De monsters in plastic zakken werden bij 15°C bewaard voor alle analyses uitgezonderd het vochtgehalte.

Waarnemingen aan nat veen:

Diepte:

- 0-16: kleur licht bruinig, 'veel' minerale delen zichtbaar, veel worteltjes aanwezig. Duidelijke grondlucht.
- 15-31: zwarter van kleur, minder duidelijke grondlucht, minder minerale delen zichtbaar, weinig worteltjes.
- 21-37: klonterig met vooral in deze klonten stukjes zegge, tevens stukjes onverteerd hout, kleur is zwart en roodbruin door elkaar (niet één kleur).
- 43-59: erg nat (waterverzadigd), stukjes onverteerd hout tot ± 10 cm lengte. Veen voelt vettig aan (mogelijk door het water), kleur erg zwart, geur neutraal, stukjes zegge in het veen.
- 63-79: zwart van kleur met plaatselijk wat roodbruin, bevat stukjes onverteerd hout, geur: neutraal, stukjes zegge in het veen.
- 79-95: zelfde als bij diepte 63-79.
- > 95 : roodbruin van kleur, zeggeveen, stinkt naar H<sub>2</sub>S.

#### 3.2.4. Behandeling van het veen na monstername voor het meten

De behandeling van de monsters is verschillend voor die welke boven het grondwater wegekomen (potten 1 t/m 4) en die welke onder het grondwater wegekomen.

### Monsters boven het grondwater

De potten met veen welke boven het grondwater wegekomen zijn direct dichtgeplakt met siliconenkit en aan de 'zeug' aangesloten. De temperatuur bedroeg circa 23°C (schommelend).

### Monsters onder het grondwater

De potten met veen welke onder het grondwater genomen zijn hebben circa 2 weken bij 23°C gestaan, terwijl de gaatjes afgeplakt bleven. Gedurende deze tijd liep er water uit de potten. Hierna zijn om anaërobie te voorkomen de gaatjes van de potten geopend.

Op 1-11-1984 werd het luchtvolume van de potten bepaald, wat ongeveer 10% bleek te zijn. Vervolgens werden de deksels van de potten afgehaald en werden de potten bij circa 16°C vijf dagen liggend te drogen gelegd, waarbij circa 300 ml vocht verdampte. Daarna zijn de deksels er weer op gedaan en zijn de potten afgeplakt met siliconenkit en op 22-11-1984 aangesloten aan de zeug. (Tot die tijd overgestaan met de gaatjes open en een luchtvolume van 25-30%).

Zodoende hebben de potten welke onder het grondwater wegekomen gedurende de 1e 4 weken anaëroob en vervolgens nog circa 3 weken aëroob gestaan, voordat met meten werd begonnen.

## 3.3. M e t i n g v a n d e o x y d a t i e v a n d e v e e n - m o n s t e r s

### 3.3.1. Principe

Het principe van de meetopstelling is om door het veen lucht te laten lopen en het  $O_2$  verbruik en  $CO_2$  produktie te meten aan de hand van het verschil in concentraties van deze beide tussen in- en uitstromende lucht. Om eventuele 'systeem invloeden' te voorkomen wordt in plaats van instromende lucht, die lucht gebruikt welke uit een blanco (= lege pot) komt en verder dezelfde behandeling ondergaat als de uit een monster stromende lucht.

### 3.3.2. Meetopstelling

De opstelling zag er als volgt uit (fig. 21). Voor de aanvoer wordt een gasfles lucht gebruikt met een druk van 200 atm. welke gereduceerd wordt tot circa 0,5 atm. en vervolgens met een precioso

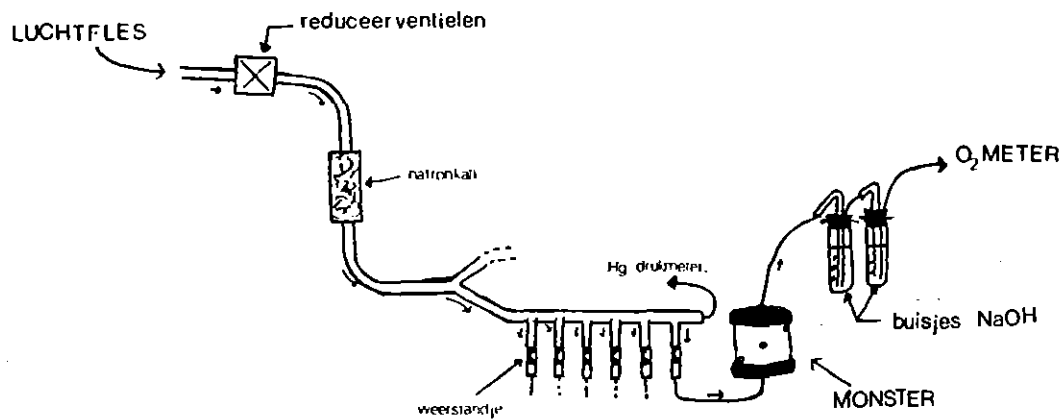


Fig. 21. Schematische weergave van de meetopstelling

reduceerventiel tot 0,127 atm. (16 cm Hg). Vervolgens loopt de lucht door een kolom gevuld met vast Natronkalk (met indicator), welke er voor dient om de  $\text{CO}_2$  uit de lucht te vangen. Deze lucht wordt met behulp van weerstandjes gelijkmatig over de potten verdeeld, zodanig dat de toevoersnelheid circa 10-15 ml/min. bedraagt per pot. De lucht stroomt via het gat in de onderste deksel de pot in en komt er aan de bovenkant weer uit.

Deze lucht wordt opgevangen in borrelbuisjes met 30 ml NaOH 0,5 M (twee stuks achter elkaar), waarmee de geproduceerde  $\text{CO}_2$  opgevangen wordt en bepaald. De uit de buisjes stromende lucht wordt naar een  $\text{O}_2$  analysator geleid.  $\text{O}_2$  en  $\text{CO}_2$  metingen geschieden ten opzichte van een blanco (lege pot).

### 3.4. D e f l o w m e t i n g

De gasflow door de weerstand is evenredig met het drukverschil over de weerstand. Een verdubbeling van de druk geeft ongeveer een verdubbeling van de flow. Daarom wordt voor het constant houden van de flow, de druk op een constante waarde gehouden. De controle van deze druk gebeurt met een Hg manometer, welke permanent op het systeem is aangesloten. Correctie van de druk was slechts zelden nodig.

#### 3.4.1. Methode

In eerste instantie is de flow gemeten met behulp van een flowmeter: hierin wordt een balletje in een pijpje omhoog geblazen, hoe hoger de flow des te hoger komt het balletje. Aangezien deze flowmeter niet nauwkeurig genoeg was, werd later de flow anders gemeten, namelijk met behulp van een opstijgende zeepbel. Via een T-stukje wordt de lucht van onderen in een buret gelaten. Door via de onderingang van het T-stukje wat zeep voor de inlaat te brengen, ontstaat er een zeepbel welke in de buret omhoog wordt gedrukt. Met behulp van een stopwatch wordt de tijd gemeten en het aantal ml lucht wat in die tijd stroomt wordt door de zeepbel in de buret aangegeven.

#### 3.4.2. Verandering van de flow door het CO<sub>2</sub> opvangbuisje

Door aansluiting van de buisjes met Natronloog wordt het drukverschil, dat over de weerstandjes staat (wat de doorstroomsnelheid bepaalt) verlaagd en wel met 25 cm waterdruk (= waterdruk van de borrelbuisjes).

Het drukverschil, nodig om het gas door het monster en de O<sub>2</sub> meter te laten stromen is nihil. De druk voor de weerstand was  $16 \times 13,6 = 218$  cm H<sub>2</sub>O en wordt hierdoor 193 cm H<sub>2</sub>O. Dit geeft een verandering in de flow van circa 11%.

De gevolgen zijn dat voor de flowmeting de lucht gebruikt moet worden, welke uit het buisje stroomt en niet kan worden volstaan met het meten van de flow welke de pot ingaat. Deze flow zal dan namelijk circa 11% hoger gemeten worden dan hij in werkelijkheid is. (In praktijk werd als ingaande flow 18,8 ml/min. gemeten en na het opvangbuisje 16,9 ml/min).

Een tweede gevolg is, dat de flow verandert door de aansluiting van de opvangbuisjes en er dus niet direct na deze aansluiting een O<sub>2</sub> meting plaats kan vinden.

#### 3.4.3. Invloed van de flow op de oxydatie en de instelling van het evenwicht

Omdat de flow niet voor alle monsters gelijk was, is gekeken of de flow invloed had op de oxydatie zelf. Hiervoor is de druk eenmalig verlaagd, zodanig dat de flow in alle potten bijna gehalveerd werd. Het gevolg was, dat de O<sub>2</sub> concentratie in de uitstromende lucht ging dalen (fig. 22).

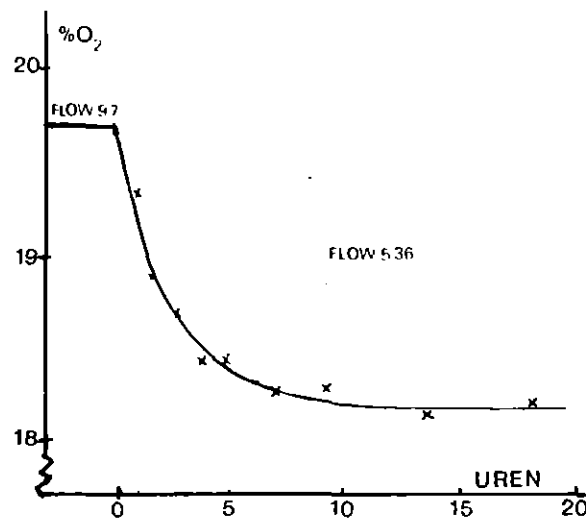


Fig. 22. Daling van het O<sub>2</sub> gehalte van de uitstromende lucht na flowverlaging van 9,7 naar 5,36 ml/min.

De tijd die verstreek voordat er weer evenwicht was bedroeg circa 11 uur (bij een flow verlaging van 9,7 naar 5,36 ml/min). In deze 11 uur is er circa 3500 ml door de pot gestroomd, welke een inhoud heeft van 3 l. Hierbij moet nog wel opgemerkt worden, dat het lucht-volume in de potten lager is, namelijk ongeveer 450 ml.

Gezien het feit, dat door aankoppeling van de buisjes de flow niet zo sterk verlaagd wordt en tevens hoger is, zal het evenwicht in dat geval sneller bereikt zijn. In het algemeen bleek het O<sub>2</sub> gehalte 2 uur na aansluiting van de buisjes niet meer te veranderen.

De invloed van de flow op de oxydatiesnelheid van het veen, bleek na meting niet merkbaar te zijn. Slechts bij een van de monsters werd een lager O<sub>2</sub> verbruik gemeten, maar de CO<sub>2</sub> produktie bleef daarentegen constant, zodat aangenomen mag worden, dat dit op een meetfout berust.

Het blijkt, dat de flow op zich geen invloed heeft op de oxydatiesnelheid, hetgeen natuurlijk alleen geldt voor niet te grote verlagingen van de flow, aangezien anders de O<sub>2</sub> concentratie te laag kan worden. Verder moet na een kleine verandering van de flow, enige tijd (circa 2 uur) gewacht worden alvorens de meting beginnen kan.

### 3.5. Meting van de oxydatie door $O_2$ verbruik bepaling

#### 3.5.1. Methode

Als de lucht door het monster loopt wordt er  $O_2$  verbruikt en  $CO_2$  geproduceerd. Er gaat bijna  $CO_2$  vrije lucht in de pot, maar de uitstromende lucht bevat wel  $CO_2$ , waardoor relatief het  $O_2$ -gehalte lager is. Om deze fout te elimineren wordt het  $O_2$ -verbruik gemeten, nadat de  $CO_2$  eruit gevangen is. Het gevolg hiervan is, dat de lucht welke de  $O_2$  meter ingaat, vochtig is. Om hierdoor geen storing te krijgen wordt de  $CO_2$ -opvang tevens bij de blanco ingebouwd. De meting geschiedt ten opzichte van deze blanco. De door een Taylor Servomex gemeten  $O_2$ -concentratie wordt door een schrijver weergegeven. De meting gaat steeds gepaard met een flowmeting.

#### 3.5.2. Berekening van het verbruik

De meter (en de schrijver) wordt geijkt met N-gas (0%  $O_2$ ) en lucht (21%  $O_2$ ), waaruit berekend wordt hoeveel de uitslag is per procent  $O_2$  (dit is ongeveer 3,4 cm).

De afstand gemeten tussen het monster en de blanco, wordt gedeeld door deze waarde, hetgeen het verbruik in % weergeeft. Dit verbruik wordt vermenigvuldigd met de flow (ml/min) waardoor het verbruik in ml per 100 minuten gevonden wordt.

Omrekening naar verbruik per 24 uur geschiedt met de factor 14,4. Gevonden is dan het verbruik in ml/24 uur. Om het verbruik in mg/24 uur te vinden wordt dit vermenigvuldigd met  $\frac{32}{22,4} \cdot \frac{273}{(273 + T)} = 1,35$  bij 15,5°C (32 = molaire massa  $O_2$ , 22,4 = volume van 1 gmol  $O_2$  bij 273°K en 1013 mbar en T = temperatuur in graden Celcius).

| V.B.:  | Flow   | verbruik    | verbruik        |             |             |
|--------|--------|-------------|-----------------|-------------|-------------|
|        | ml/min | $O_2$ in cm | $O_2$ in vol. % | =ml/dag pot | =mg/dag pot |
| diepte |        |             |                 |             |             |
| 43-59  | 19,2   | 0,31        | 0,09            | 25          | 34          |

Deze waarden kunnen vervolgens via volume correctie opgerekend worden in mg/l 24 uur.



### 3.5.3. Fouten in de $O_2$ meting

- Afleesfout welke 0,2 mm bedraagt (in verband met potloodstreep), hetgeen neerkomt op 0,006%  $O_2$ . Dit geeft uiteindelijk een fout van 1-7%, afhankelijk van het  $O_2$  verbruik.
- Fout in de flowmeting welke ongeveer 1% bedraagt.
- Gebruik makend van een foutieve flow doordat er  $CO_2$  uitgevangen wordt en daardoor de flow lager. Deze fout is echter nog geen 0,5% en wordt nog weer gecompenseerd, doordat het  $O_2$ -gehalte hierdoor relatief gezien stijgt. Deze fout is dus verwaarloosbaar.

Omdat het grootste deel een absolute fout is (afleesfout) bedraagt de fout bij grotere verbruiken circa 1%, maar neemt toe tot 8% bij lage verbruiken. Dit is het gevolg van het meten van erg kleine verschillen (0,09%  $O_2$ -afname).

In het begin werden doordat toen een andere schrijver (minder gevoelig) gebruikt werd, waardoor de fout bijna 2 x zo groot was, soms bij lage verbruiken duidelijk foute waarnemingen gedaan.

De fout in de uiteindelijke waarde kan bij de huidige meet-schaal (1% = 3,4 cm) gesteld worden op 1 - 2,5 mg/24 uur en is het grootst bij de lage verbruiken. Een verlaging van de flow kan hierin verbetering brengen, omdat de fout in de  $O_2$ -meting relatief geringer wordt en de relatieve fout in de flowmeting gelijk blijft door verlenging van de tijd waarover de verplaatsing van het zeepvlies wordt gemeten.

## 3.6. B e p a l i n g v a n h e t $CO_2$ -v e r b r u i k

### 3.6.1. Methode

De lucht welke uit de monsterpotten komt wordt in borrelbuisjes opgevangen in 30 ml Na OH 1M. Om alles op te vangen worden er twee buisjes achter elkaar gezet. De monsters worden op deze manier gedurende circa 24 uur aangesloten, waarbij deze tijd genoteerd wordt. Hierna worden ze geanalyseerd op totaal anorganisch C met een Beckman total Carbon Analysor model 915 A. De meter wordt geijkt met een standaardreeks van 20, 30, 40, 60, 80 en 100 mg C/l. De uitslag wordt op een schrijver genoteerd. Gemeten wordt er ten opzichte van de lege pot (blanco).

### 3.6.2. Berekening

De uitslag wordt opgemeten en de concentratie wordt afgelezen uit de ijklijn in mg C/l. De opvang geschiedt in 30 ml dus er moet met 0,03 vermenigvuldigd worden. Vervolgens worden beide buizen samen genomen en wordt de blanco eraf getrokken. Daarna wordt er vermenigvuldigd met 24/tijd om de produktie te vinden in mg C/24 uur per pot.

Voorbeeld CO<sub>2</sub>-meting van monsterdiepte 15-31 cm. Buisjes voor opvang CO<sub>2</sub> gedurende 22 uur aangesloten. Uitslag analysator:

buisje 1 (50 x verdund) = 4,5 cm = onverdund 225 cm

buisje 2 (onverdund) = 13,5 cm

Via de ijkcurve geeft dit 1766 mg C/l. De inhoud van de buisjes is 30 ml Natronloog, zodat is opgevangen 54 mg C in 22 uur. In dezelfde tijd is er in de blanco 1 mg opgevangen. Correctie hiervan geeft in 22 uur tijd 53 mg (wat neerkomt op 58 mg C/24 uur per pot). Met behulp van het volume van de pot (circa 2900 cm<sup>3</sup>) kan de produktie per liter veen uitgerekend worden.

### 3.6.3. Fouten in de CO<sub>2</sub>-meting

- Niet alles wordt gemeten, doordat de opvang niet volledig is.

Deze fout is vrij gering omdat in de tweede buis meestal minder dan 10% van de eerste buis gemeten wordt, dus de hoeveelheid die er in een eventuele derde buis opgevangen zou worden is maximaal 1% van de hoeveelheid en vermoedelijk veel kleiner.

- Meetfout.

Variaties in metingen tussen duplo's geven een fout aan, die gemiddeld 1-2% bedraagt.

- Volumefout.

De 30 ml Na OH is toegediend met een maatkolf. Na afloop wordt aangenomen, dat dit er nog steeds in zit, terwijl er vloeistof uit verdampt is en er tevens aan het borrelbuisje wat NaOH blijft kleven. Wegen van de vloeistof is geen goede oplossing, omdat er CO<sub>2</sub> opgevangen wordt, wat dan wordt meegewogen.

Al met al is dit een fout, die meerdere kanten opwerkt en een schatting ervan ligt in de orde van grootte van 2%.

De totale fout die hiermee gemaakt wordt, ligt zodoende om en nabij de 3%, hetgeen niet onacceptabel is en in ieder geval beter dan de meting

met O<sub>2</sub>-verbruik (welke overigens wel sneller en eenvoudiger gaat). Een ander voordeel wat deze meting heeft boven de O<sub>2</sub> meting is, dat de O<sub>2</sub>-meting binnen een minuut gepleegd wordt (momentopname), terwijl de CO<sub>2</sub>-opvang continu verloopt. Niet inbegrepen in de fouten-analyse is het feit, dat het natronloog de carbonaatbepaling stoort. Dit wordt opgevangen door na elke bepaling een zuur in te spuiten ter neutralisatie van het loog.

### 3.7. B e p a l i n g l u c h t v o l u m e

Nadat de monsters dichtgeplakt zijn met siliconenkit (luchtdicht) wordt de bovenuitgang verbonden met een manometer gevuld met water. Aan de onderzijde wordt met behulp van een injectiespuit een bekend volume lucht (circa 15 ml) ingespoten. De verandering in druk wordt op de manometer afgelezen en daarmee het luchtvolume berekend door:

$$P_1 V_1 = P_2 \cdot V_2 = P_2 (V_1 + \Delta V) \rightarrow V_1 = \Delta V \cdot \frac{P_1 + \Delta P}{\Delta P} \quad (P_1 = 1013 \text{ mbar})$$

met  $\Delta P$  en  $\Delta V$  voor respectievelijk verandering in druk en volume.

Om nu te weten te komen of er voldoende lucht in de pot zit vóór aansluiting (b.v. voor de monsters onder het grondwater) is het zaak het volume te bepalen voordat de potten dichtgeplakt zijn. Afsluiting van de potten met een plank waarop celrubber was aangebracht, bleek niet te functioneren. Het bepaalde volume is dan zeer sterk afhankelijk van de druk, die je op het plankje aanbrengt en tevens treedt er lekkage op. Een gemaakte deksel met daarin een perspex plaatje en een O-ring voldeed evenmin. Een O-ring is voor een dergelijke afsluiting niet geschikt. De hele problematiek rond deze afsluiting wordt bemoeilijkt door de onregelmatigheid van het materiaal (geen constante dikte, niet rond, niet vlak).

Het beste resultaat gaf in dit geval het aanbrengen van een laagje vet (fig. 23). Bij een dergelijke afdichting moet dan een bekend volume uit de pot gezogen worden (onderdruk). De afdichting is goed en de drukverandering constant. Een nadeel aan deze methode is, dat er na de bepaling vet aan potten en deksel zit, wat haast niet te verwijderen is, waardoor de siliconenkit niet meer hecht. Deze moet tijdens de meting 25 cm H<sub>2</sub>O druk kunnen weerstaan, dat is een kracht op de deksel van ruim 4,5 kg.

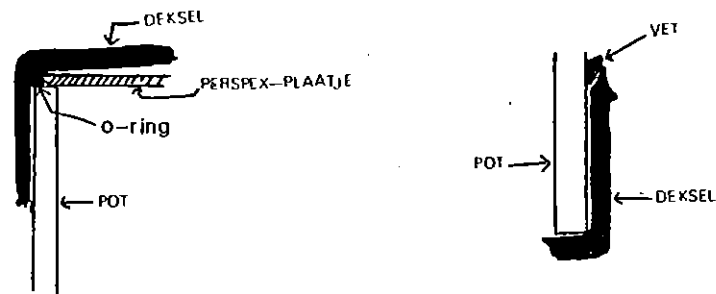


Fig. 23. De afdichting van de monsterpotten door middel van een O-ring (A) en door middel van een laagje vet (B) voor luchtvolumebepaling

### 3.8. B e p a l i n g v a n h e t v o c h t g e h a l t e e n d e z u i g s p a n n i n g

Het vochtgehalte van het veen in de potten is bepaald door via de gaatjes in de zijkant (boven en onder) met een boortje een monster-tje te nemen en deze vervolgens te drogen.

De zuigspanning wordt gemeten met een kleine tensiometer, die in het middelste gat in de zijkant aangebracht is. De meting wordt gedaan op het moment waarop er geen  $\text{CO}_2$  opgevangen wordt, aangezien de druk in de pot die daardoor ontstaat, de meting stoort.

### 3.9. B e p a l i n g v a n h e t o r g a n i s c h e s t o f - g e h a l t e

Het organische stofgehalte is bepaald met de gloeiverliesmethode bij  $90^\circ\text{C}$ . De bepaling is gedaan aan de monsters, die in het veld genomen zijn en in plastic zakken bewaard. De resultaten van deze waarden zijn weergegeven in fig. 24.

Aan de hand van deze figuur wordt voor elke pot het organische stofgehalte grafisch bepaald, omdat de bepaling was uitgevoerd aan de gestoorde monsters, genomen in het veld vlak om de monsterring heen, maar niet voor elke ring apart.

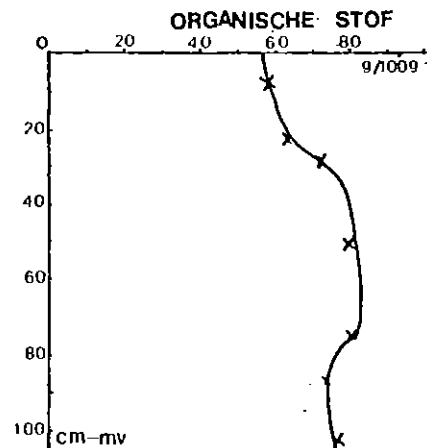


Fig. 24. Het verloop van het organische stofgehalte met de diepte voor Zegveld perceel no. 3 op de plaats van monsternamen van oxydatiemeting

#### 4. RESULTATEN VAN DE OXYDATIEMETING VAN HET VEEN (ZEGVELD PERCEEL 3)

##### 4.1. I n l e i d i n g

Hier volgen de resultaten van, op voorafgaande wijze beschreven (3), de meting van de oxydatie aan veenmonsters, genomen op perceel 3 te Zegveld. Allereerst wordt de toestand van het monster beschreven tijdens de oxydatiemeting (4.2), gevolgd door het  $O_2$ -verbruik (4.3) en de  $CO_2$  produktie (4.4). Daarna wordt ingegaan op het verloop met de tijd (4.5), de verhouding  $O_2/CO_2$  (4.6), de invloed van de temperatuur (4.7) en de invloed van het vochtgehalte (4.8). Tot slot wordt de relatieve afbreeksnelheid van de organische stof berekend (4.9) en worden de resultaten globaal omgerekend in zakking van het maaiveld (4.10), waarna de conclusies volgen in 4.11.

##### 4.2. F y s i s c h e g e g e v e n s v a n h e t v e e n i n d e m o n s t e r p o t t e n

Het volume van de pot bedraagt  $2900 \text{ cm}^3$ . Wanneer de potten geheel gevuld zouden zijn is dit tevens het volume van de grond. Echter om te voorkomen, dat bij het vullen de bovenkant van de grond werd plat-

gedrukt zijn deze potten niet geheel gevuld geweest ( $\pm \frac{1}{2}$  cm speling). Ten tweede zijn de monsters uit de ondergrond tijdens het drogen wat geklonken. Een gevolg hiervan is dat bijvoorbeeld het luchtvolume, zoals bepaald is, niet het luchtvolume van het veen is, maar van de pot en dat de fout hierin meer dan 50% kan bedragen. Om hiervoor te corrigeren wordt als volume gebruikt, een volume bepaald uit visuele waarnemingen van vulling en eventuele ontstane ruimte tussen wand en monster.

In de faseverdeling wordt voor de volumefractie lucht ( $f_a$ ) het restant genomen na bepaling van de volumefractie vocht ( $f_l$ ) en de volumefractie vaste fase ( $f_s$ ); ( $f_s + f_l + f_a = 1$ ).

In tabel 8 zijn de fysische gegevens van het veen weergegeven op het moment van de oxydatiebepaling. Deze waarden zijn als volgt tot stand gekomen.

-  $sg$  = soortelijk gewicht van de vaste stof  $g/cm^3$

$$sg = \frac{1}{(f_{os/1,43}) + (1 - f_{os/2,65})}$$

met  $f_{os}$  = fractie van de organische stof (= % OS/100)

$1 - f_{os}$  = fractie minerale delen (g/g)

1,43 = soortelijk gewicht van de organische stof

2,65 = soortelijk gewicht van de minerale delen

-  $\rho_n$  = natte bulkdichtheid  $g/cm^3$

$$\rho_n = (\text{gewicht grond nat/volume grond}) g/cm^3$$

-  $\rho_d$  = droge bulkdichtheid  $g/cm^3$

$$\rho_d = (\text{gewicht grond droog/volume grond}) g/cm^3$$

-  $w_H$  = volumieke massa van de organische stof  $g/cm^3$

$$w_H = \text{gewicht droge grond} \times \% \text{ OS/volume grond } g/cm^3$$

-  $w_M$  = volumieke massa van de minerale delen  $g/cm^3$

$$w_M = (\text{gewicht droge grond} - \text{gewicht organische stof})/\text{volume grond } g/cm^3$$

-  $SM$  = gemiddelde zuigspanning van een aantal metingen gedurende de proef (cm  $H_2O$ )

Tabel 8. De fysische samenstelling van de veenmonsters op moment van  
monstername

| Pot | Diep-<br>te | Vo-<br>lume | Gew.<br>grond<br>nat | Gew.<br>grond<br>droog | %<br>org.<br>stof | sg   | $\rho_n$ | $\rho_d$ | $W_H$ | $W_M$ | SM  |
|-----|-------------|-------------|----------------------|------------------------|-------------------|------|----------|----------|-------|-------|-----|
| 2   | 0- 8        | 1250        | 1641                 | -                      | 57                | 1,75 | 1,31     | -        | -     | -     | 60  |
| 1   | 0-16        | 2600        | 3062                 | 1754                   | 58                | 1,74 | 1,18     | 0,67     | 0,39  | 0,28  | -   |
| 3   | 15-31       | 2700        | 2999                 | 974                    | 63                | 1,69 | 1,11     | 0,36     | 0,23  | 0,13  | 40  |
| 4   | 21-37       | 2700        | 2811                 | 729                    | 73                | 1,60 | 1,04     | 0,27     | 0,20  | 0,07  | 25  |
| 8   | 33-49       | 2600        | 2535                 | 684                    | 77                | 1,57 | 0,98     | 0,26     | 0,20  | 0,06  | 130 |
| 5   | 43-59       | 2720        | 2503                 | 501                    | 78                | 1,56 | 0,92     | 0,18     | 0,14  | 0,04  | 115 |
| 9   | 52-68       | 2600        | 2456                 | 368                    | 81                | 1,53 | 0,94     | 0,14     | 0,11  | 0,03  | 50  |
| 6   | 63-79       | 2800        | 2554                 | 460                    | 82                | 1,53 | 0,91     | 0,16     | 0,13  | 0,03  | 40  |
| 10  | 76-92       | 2550        | 2576                 | 438                    | 76                | 1,57 | 1,01     | 0,17     | 0,13  | 0,04  | 35  |
| 7   | 79-95       | 2600        | 2695                 | 539                    | 74                | 1,59 | 1,04     | 0,21     | 0,16  | 0,04  | 40  |

In tabel 9 is de fasenverdeling in fracties van het volume weer-  
gegeven voor vaste stof, water en lucht en tevens het poriënvolume  
waarin:

- $f_s$  = volumefractie vaste stof = gewicht droog/sg x volume grond
- $f_l$  = volumefractie vocht = volume vocht/volume grond
- $f_a$  = volumefractie lucht =  $1 - f_s - f_l$
- $\epsilon$  = poriënvolume in vol.% =  $(f_l + f_a) \times 100$

Tevens zijn in tabel 9 gegeven de luchtgehaltenes in vol.% welke  
bepaald is zoals beschreven in 3.7. Deze gehaltenes zijn duidelijk  
te hoog. Het verschil tussen de luchtgehaltenes op beide manieren  
bepaald, is gemiddeld ongeveer 17% wat bijna 500 ml is.  
Het is niet onwaarschijnlijk dat een deel van dit volume zit in de  
bolling van de deksels of het net niet helemaal passend sluiten  
hiervan, terwijl tevens een deel in de slangen zit. Hoe dan ook,  
vooralsnog blijkt, dat de bepaling van het luchtvolume voor de  
berekening niet bruikbaar is, omdat niet het luchtvolume van de  
grond berekend wordt, maar van de pot.

Tabel 9. De fasenverdeling van de monsters in de potten: vaste fase ( $f_s$ ), vocht ( $f_l$ ) en lucht ( $f_a$ ) + met drukmeting bepaalde luchtgehalte

| Pot | Diepte | $f_s$ | $f_l$ | $f_a$ | $\epsilon\%$ | Gemeten vol.% lucht |
|-----|--------|-------|-------|-------|--------------|---------------------|
| 1   | 0-16   | 0,39  | 0,50  | 0,11  | 61           | 27                  |
| 3   | 15-31  | 0,21  | 0,75  | 0,04  | 79           | 23                  |
| 4   | 21-37  | 0,17  | 0,77  | 0,06  | 83           | 18                  |
| 8   | 33-49  | 0,17  | 0,71  | 0,12  | 83           | 29                  |
| 5   | 43-59  | 0,12  | 0,74  | 0,14  | 88           | 27                  |
| 9   | 52-68  | 0,09  | 0,80  | 0,11  | 91           | 28                  |
| 6   | 63-79  | 0,10  | 0,75  | 0,15  | 90           | 24                  |
| 10  | 76-92  | 0,11  | 0,84  | 0,05  | 89           | 27                  |
| 7   | 79-95  | 0,13  | 0,83  | 0,04  | 87           | 21                  |

300  
MGR

#### 4.3. Het $O_2$ verbruik

Het  $O_2$ -verbruik is bepaald zoals beschreven in 3.5. In eerste instantie werd alleen gemeten aan de monsters boven het grondwater (37 cm). Het verbruik werd in de tijd gevolgd, waarbij na 25 dagen de temperatuur werd verlaagd van 23 naar 15,5°C. Na 39 dagen werd het  $O_2$ -gehalte eerst verhoogd (28%) en daarna verlaagd (13%) en na circa 50 dagen werden de monsters afgekoppeld.

De resultaten van het  $O_2$  verbruik zijn weergegeven in fig. 25. De produktie is gegeven in mg  $O_2$ /24 uur per liter monster.

Zeven weken na monsternamen zijn de monsters, welke onder het grondwater vandaan komen (37 cm) aangesloten (zie 3.2.4.). Het  $O_2$ -verbruik in relatie tot de tijd is voor deze monsters gegeven in fig. 26.



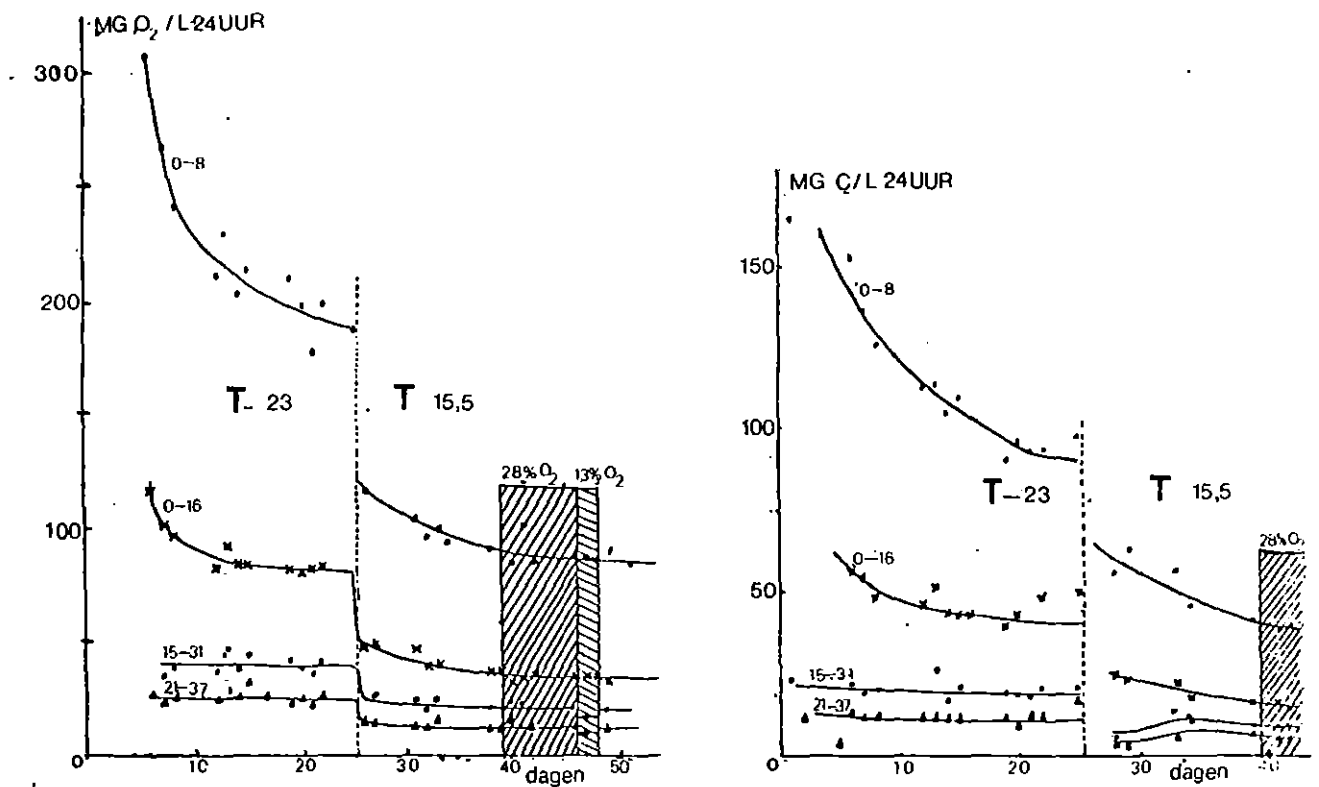


Fig. 25. Het  $\text{O}_2$ -verbruik en  $\text{CO}_2$ -produktie gemeten aan de monsters boven het grondwater (37 cm) op Zegveld in relatie tot het aantal dagen na aansluiting van de monsters; zuigspanning 25-60 cm  $\text{H}_2\text{O}$ ; temperatuur 23 en  $15,5^\circ\text{C}$ . Consumptie en produktie gegeven in mg/24 uur per liter veen

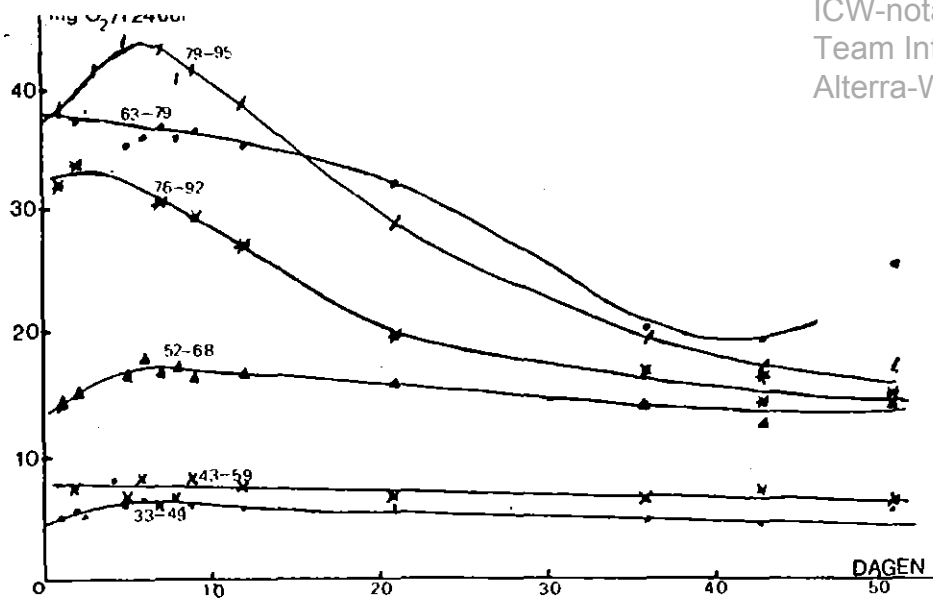


Fig. 26. Het O<sub>2</sub>-verbruik gemeten aan monsters genomen onder het grondwater (37 cm) op Zegveld in relatie tot het aantal dagen na aansluiting van de monsters.

Zuigspanning 40-130 cm H<sub>2</sub>O; temperatuur 15,5°C.

Consumptie gegeven in mg O<sub>2</sub>/24 uur per liter veen

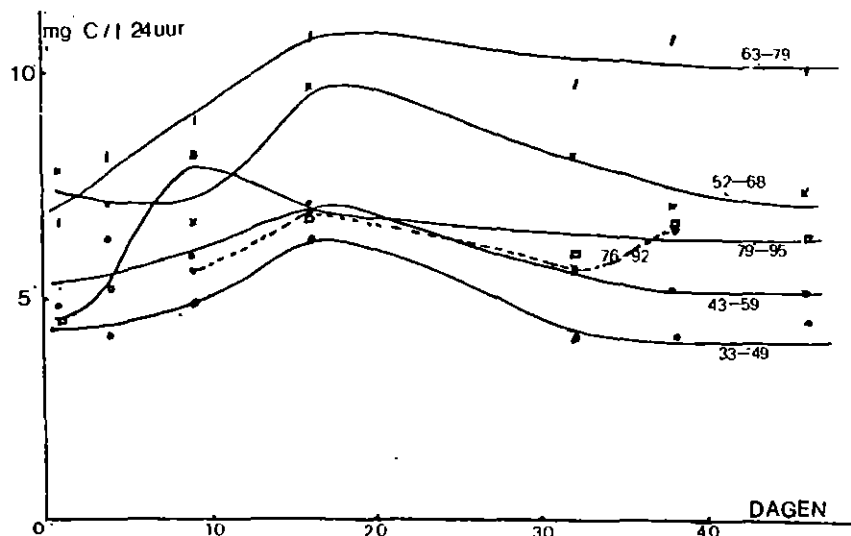


Fig. 27. De CO<sub>2</sub>-produktie gemeten aan de monsters onder het grondwater (37 cm) op Zegveld in relatie tot het aantal dagen na aansluiting van de monsters.

Zuigspanning 40-130 cm H<sub>2</sub>O; temperatuur 15,5°C.

Produktie gegeven in mg C/24 uur per liter veen

----- = lekkende pot

#### 4.4. De $\text{CO}_2$ -p r o d u k t i e

De  $\text{CO}_2$ -produktie voor de monsters boven het grondwater is weer-gegeven in fig. 25. De produktie is gevolgd tot aan de verhoging van het  $\text{O}_2$ -gehalte in de lucht (2 metingen hiervan zijn meegenomen). De produktie wordt gegeven in mg C/24 uur per pot, de tijd in het aantal dagen na aansluiting.

Voor de monsters onder het grondwater (>37 cm) is dit verband tussen de produktie en de tijd weergegeven in fig. 27.

#### 4.5. H e t v e r l o o p v a n d e o x y d a t i e i n d e t i j d

##### 4.5.1. Het oxydatieverloop in de tijd voor monsters boven het grondwater en de invloed van de zode hierop

In deze monsters is een opvallend verschil tussen het veen boven de 16 cm en die onder de 16 cm. De onderste potten hebben zowel wat betreft  $\text{CO}_2$ -produktie als het  $\text{O}_2$  verbruik een constante waarde. Ongetwijfeld zal na langere tijd een lichte daling optreden door het verbruiken van voedsel, maar vooralsnog is hiervan niets waarneembaar.

Opvallend is wel de zeer sterke afname van  $\text{CO}_2$ -produktie en  $\text{O}_2$ -consumptie voor de monsters, welke de zode bevatten. Een eerste vraag is dan ook hoe beïnvloedt deze zode de meting.

De wortels in de grond scheiden zeer veel makkelijk afbreekbare stoffen uit. Als gevolg daarvan bevinden zich in de directe omgeving van de wortels (Rhizosfeer) meer micro-organismen dan op grotere afstand hiervan (verhouding 5 tot 100). Daardoor is tengevolge van deze wortelactiviteit de  $\text{O}_2$ -consumptie ( $\text{CO}_2$ -produktie) hoger. McLAREN en PETERSON (1967) maken melding, dat de  $\text{O}_2$ -consumptie van permanent graslandzode 28 keer zo groot was met levende wortels als met dode wortels. Hierbij wordt geen melding gemaakt, hoe deze wortels gedood zijn, want wanneer ook de micro-organismen gedood worden zal dit getal te hoog zijn.

Metingen met toediening van gelabeld substraat op het ITAL gaven een jaarlijkse C-produktie die gelijk was aan 66% van de wortelopbrengst (telefonisch contact ITAL). Deze waarde geldt echter voor tarwe op zandgrond.

Aannemend, dat dit percentage voor grasland op veen niet veel verschilt kan voor de produktie van  $\text{CO}_2$  door micro-organismen tengevolge van uitscheiding van wortelprodukten het volgende berekend worden.

Stel de wortelproduktie jaarlijks op 6 ton organische stof, dat is ongeveer 3500 kg C/ha jaar. Per jaar komt 66% hiervan vrij, dus 2310 kg C/ha jaar. Per potoppervlak ( $180 \text{ cm}^2$ ) per dag komt dit op 11 mg C. Omrekening voor het temperatuur-effect (gemiddelde jaartemperatuur omrekenen naar  $23^\circ\text{C}$ , factor ongeveer 3,3) geeft 36 mg C/ $180 \text{ cm}^2$  per dag. Voor de laag van 0-16 komt dit neer op 13 mg C/liter veen per dag en voor 0-8 cm op 25 mg C/liter veen per dag bij  $23^\circ\text{C}$ . Wanneer de wortels afsterven stopt dit proces en zal de C-produktie afnemen. Uit fig. 25 blijkt de C-produktie per dag meer te dalen voor de potten met zode, dan hier berekend. Er is dus meer aan de hand. Wanneer wortels sterven komen hun makkelijk afbreekbare stoffen in een keer vrij. Dit heeft een toename in de populatie van micro-organismen tot gevolg zoals geschetst in 2.4.2.

Bij een hoeveelheid wortels van 4 ton/ha zal ongeveer 2,5 gram makkelijk afbreekbare C per pot vrijkomen (bijna 1 gram per liter veen voor de laag van 0-16 en 2 gram per liter veen voor de laag 0-8). Dit is dan 800 (1600)  $\mu\text{gram/gram}$  veen, hetgeen ruim voldoende is om een activiteitsexplosie zoals geschetst te veroorzaken (2.4.2).

In deze hoek zal waarschijnlijk tevens de verklaring gezocht moeten worden voor het feit, dat de produktie in de laag van 0-8 hoger is dan in die van 0-16 cm. Circa 80% van de wortels zit in de bovenste 5 cm en het al dan niet afsterven van deze wortels of uitscheiden van makkelijk afbreekbare stoffen bepaalt in grote mate hoeveel er gemeten wordt.

Hierdoor zullen vele factoren de meting hier beïnvloeden, zoals hoeveelheid van de wortels, snelheid van afsterven, verschil in delingstijd van de micro-organismen, waardoor het verschil in deze twee potten vermoedelijk toeval is (gevolg van variatie in de wortels). Na verloop van lange tijd zal dit zich dan wel moeten herstellen.

Om wat meer inzicht te krijgen in het oxydatieniveau van een zode, hebben we de oxydatie gemeten van een kleigrond, die al jaren onder grasland ligt en in evenwicht is (geen zakking en/of verandering in het organische stofgehalte). De grond is een kleigrond en komt uit de tuin van de barakken naast het ICW.

Het gemeten  $O_2$ -verbruik was circa 50 mg  $O_2$ /24 uur, 1 en de  $CO_2$ -produktie circa 78 mg  $CO_2$ /24 uur, 1 bij 15,5°C. In vergelijking tot de veengronden is dit een toch wel vrij grote waarde, waaruit nog maar weer eens blijkt, dat de invloed van de zode, op de gemeten oxydatie vermoedelijk erg groot is. Nu stond er op deze kleigrond wel meer gras en was er meer dierlijk leven in de grond (met name pissebedden). Verder bleek dat dit niveau nauwelijks daalde in de tijd en zelfs na 70 dagen was het  $O_2$ -verbruik nog meer dan 40 mg/24 uur 1. Bij openen van de potten bleek, dat het gras nog steeds groen was op de kleigrond en op de veengrond al volledig verrot was. De  $O_2/CO_2$ -verhouding bedraagt ongeveer 0,9 (zie 4.6).

#### 4.5.2. Het oxydatieverloop met de tijd voor monsters onder het grondwater

Kijkend naar de  $O_2$ -consumptie en de  $CO_2$ -produktie is het eerste wat opvalt, dat terwijl de  $O_2$ -consumptie afneemt de  $CO_2$ -produktie eerder toeneemt (fig. 26/27/28c). Bij vergelijk met de monsters van boven het grondwater valt op, dat de  $CO_2$ -produktie hoewel ook toenemend met de diepte in dezelfde orde van grootte ligt als de monsters net boven het grondwater. De stijging in de tijd zou dan het gevolg kunnen zijn van het op evenwicht moeten komen (een groei van aerobe micro-organismen, welke onder het grondwater niet kunnen leven). Een vergelijk van de zuurstofverbruiken leert, dat deze veel hoger is dan bij de monsters boven het grondwater wat zich later herstelt door de daling in het  $O_2$ -verbruik.

Om te kijken of een en ander een gevolg is van een anaerobe periode bij grondwaterstands daling, heb ik het monster van een diepte van 21-37 cm gevuld met water en een maand later weer leeg laten lopen, gevolgd door meting van de oxydatie. Deze gaf geen toename van het  $O_2$ -verbruik te zien, zodat deze grondwaterstandsstijging van 1 maand kennelijk geen effect had. Het is echter zeer wel mogelijk dat deze maand niet lang genoeg geweest is.

Mogelijke verklaringen voor het verloop zijn:

- tijdens de anearobe fase vindt gedeeltelijke omzetting plaats in stoffen welke onder aerobe toestand snel worden afgebroken en misschien met een andere  $O_2/CO_2$ -verhouding
- de afbraak wordt gedaan door andere micro-organismen. Zo bouwen schimmels

- bijvoorbeeld meer C in dan bacteriën tijdens afbraak;
- er vindt in eerste instantie groei plaats van aerobe en daarna afname door voedselafname;
  - in het veen dat nog nauwelijks met  $O_2$  in aanraking is geweest zitten veel  $O_2$ -arme stoffen, welke bij omzetting zorgen voor de hoge  $O_2/CO_2$ -verhouding (zie 4.6). Er worden misschien stoffen omgezet, die helemaal geen C hebben, zoals  $H_2S$ .

#### 4.5.3. Het evenwichtsniveau

Hieronder wordt verstaan de  $O_2$  consumptie en  $CO_2$ -produktie, zoals die zouden zijn wanneer na verloop van tijd een constante waarde geme-ten wordt. Deze waarde wordt dan gebruikt om de oxydatiesnelheid weer te geven van het veen, waarbij de bijdrage van de wortels verdwenen is en in de ondergrond het hoge  $O_2$ -verbruik gezien wordt als een gevolg van een groei van de populatie en dus niet als afbraak, maar als een omzetting van organische stof en waarbij wordt aangenomen, dat deze afbraaksnelheid wordt gegeven door het verwachte niveau na 40 dagen. In tabel 10 worden deze niveau's gegeven voor de verschil-lende potten in consumptie, respectievelijk produktie per pot.

Tabel 10.  $O_2$ -verbruik en C-produktie in mg/24 uur per pot

| Diepte              | 0-8 | 0-16 | 15-31 | 21-37 | 33-49 | 43-59 | 52-68 | 63-79 | 76-92 | 79-95 |
|---------------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $O_2$ mg/<br>24 uur | 75  | 70   | 55    | 32    | 26    | 31    | 65    | 100   | 60    | 65    |
| C mg/<br>24 uur     | 35  | 30   | 22    | 15    | 11    | 14    | 18    | 26    | 17    | 17    |

In tabel 11 worden deze niveau's nogmaals gegeven alleen nu niet per pot, maar per kg organische stof.

De oxydatiesnelheden van het veen in relatie tot de diepte worden weergegeven in fig. 28. Deze figuur geeft de produktie en consumptie in mg/l 24 uur in relatie tot de diepte weer. De niveau's zoals hier gegeven zijn zoals ze op dit moment (na circa 50 dagen) geschat worden. Heel wel mogelijk, zullen deze niveau's nog wat lager komen te liggen na langere tijd.

Tabel 11.  $O_2$ -verbruik en C-produktie in mg/24 uur per kg organische stof

| Diepte              | 0-8 | 0-16 | 15-31 | 21-37 | 33-49 | 43-59 | 52-68 | 63-79 | 76-92 | 79-95 |
|---------------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $O_2$ mg/<br>24 uur | NB  | 71   | 90    | 60    | 50    | 79    | 217   | 265   | 180   | 164   |
| C mg/<br>24 uur     | NB  | 29   | 36    | 28    | 21    | 36    | 60    | 69    | 51    | 43    |

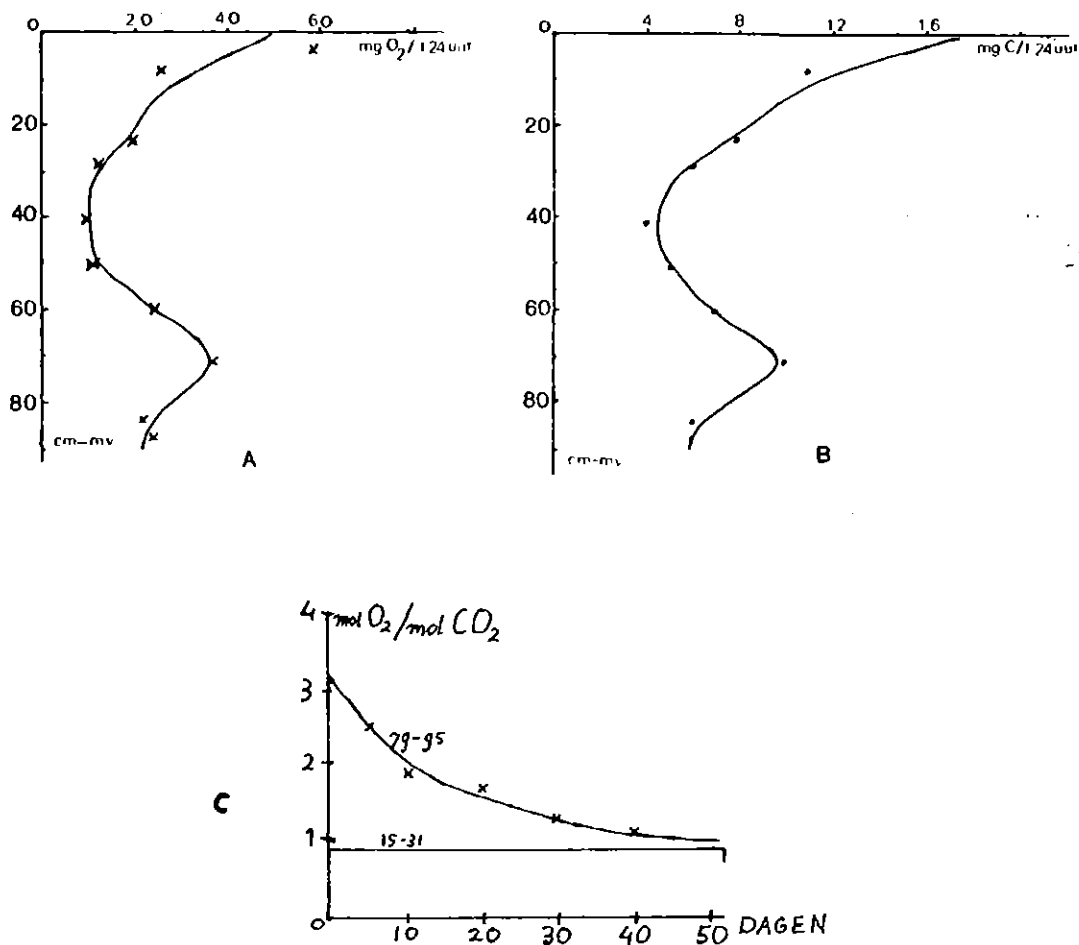


Fig. 28.  $O_2$ -verbruik (A) en  $CO_2$ -produktie (B) gemeten aan de veenmonsters in relatie tot de diepte bij  $15,5^\circ C$  na 50 dagen.

Weergave in mg  $O_2$  respectievelijk mg C per 24 uur per liter veen na het bereiken van evenwicht (C): het verloop van de verhouding  $O_2$  consumptie/ $CO_2$ -produktie in de tijd voor een diepte 15-31 en 79-95 cm (C)

#### 4.6. De $O_2/CO_2$ -verhouding

Gezien op molaire basis zal voor de produktie van 1 mol  $CO_2$  gemiddeld 1 mol  $O_2$  nodig zijn. In tabel 12 is de molaire verhouding  $O_2/CO_2$  gegeven voor de verwachte evenwicht niveau's.

Tabel 12. De molverhouding voor de verwachte evenwichtniveau's

| Diepte     | 0-8 | 0-16 | 15-31 | 21-37 | 33-49 | 43-59 | 52-68 | 63-79 | 76-92 | 79-95 |
|------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $O_2/CO_2$ | 0,8 | 0,9  | 0,9   | 0,8   | 0,9   | 0,8   | 1,3   | 1,4   | 1,3   | 1,4   |

Hieruit blijkt dat deze verhouding boven het grondwater 0,9 bedraagt. Echter bij de monsters welke dieper wegekomen bedraagt deze verhouding 0,9 tot 1,4 (toenemend met de diepte).

In eerste instantie bedroeg direct na aansluiting deze verhouding zelfs 3. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn al gegeven namelijk: ander substraat door omzetting tijdens anaerobe fase onder water. Andere  $O_2/CO_2$  verhouding van het veen dat lang onder grondwater heeft gezeten, of omzetting door een andere groep van micro-organismen, welke meer C inbouwen.

In dit laatste kader moet nog worden opgemerkt, dat de bovenste monsters een 'typische grondlucht' hadden, welke kenmerkend is voor de actinomyceet, dit in tegenstelling tot de neutrale geur in de ondergrond en de  $H_2S$  lucht op nog grotere diepte (bij oxydatie van  $H_2S$  komt geen  $CO_2$  vrij!).

#### 4.7. De invloed van de temperatuur

Om de resultaten om te kunnen rekenen tot een jaargemiddelde moet de zakking onder andere voor de temperatuur gecorrigeerd worden. Daarvoor is de temperatuur verlaagd van  $23^\circ C$  naar  $15,5^\circ C$  (fig. 25). Dit is een daling in temperatuur van  $7,5^\circ C$ . De verandering is gegeven in een  $Q_{10}$  waarde welke de factor geeft waarmee de produktie verhoogd wordt bij  $10^\circ C$  temperatuurstijging.

Deze zijn uitgerekend voor zowel de  $CO_2$ -produktie als de  $O_2$ -consumptie en zijn weergegeven in tabel 13. Deze beide waarden zouden



Tabel 13.  $Q_{10}$  waarden voor oxydatie van veen boven het grondwater

| Diepte | $Q_{10}$ d.m.v. $\Delta CO_2$ | $Q_{10}$ d.m.v. $\Delta O_2$ | $Q_{10}$ gemiddeld |
|--------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 0- 8   | 1,6                           | 1,9                          | 1,8                |
| 0-16   | 1,9                           | 2,0                          | 1,9                |
| 15-31  | 2,9                           | 2,2                          | 2,6                |
| 21-37  | 3,0                           | 2,3                          | 2,7                |

gelijk moeten zijn omdat het niet aannemelijk is (bij niet te extreme temperatuurverhogingen) dat het proces op zich verandert. Daarom zijn in tabel 13 tevens gemiddelde waarden weergegeven voor  $Q_{10}$ .

Drie dingen vallen duidelijk op:

- de  $Q_{10}$  waarde is niet constant, dit wil zeggen ze verschilt per pot;
- de  $Q_{10}$  waarde neemt toe met de diepte;
- de  $Q_{10}$  waarde bepaald met  $CO_2$ -produktie verschilt van die bepaald met de  $O_2$ -consumptie.

Opgemerkt moet worden, dat de verschillen in  $Q_{10}$  met de diepte het grootst zijn bij berekening met  $CO_2$ -produktie en dat hierin de fout ook het grootst is door delen van twee kleine getallen op elkaar. Het feit echter, dat de toename van een  $Q_{10}$ -waarde met de diepte zowel bij de  $CO_2$ -produktie als bij de  $O_2$ -consumptie wordt gevonden, geeft aan, dat dit wel juist kan zijn. Het verschil is te verklaren doordat er andere omzettingen plaatsvinden waaraan bijvoorbeeld de wortels schuld zouden kunnen hebben. Mogelijk, dat meerdere bepalingen, tevens van de diepere monsters en van de kleigrond, hierover meer informatie zullen geven. Gezien de onzekerheid van deze factor zal verder een waarde voor  $Q_{10}$  van 2,1 genomen worden.

#### 4.8. Invloed van het vochtgehalte

De zuigspanning van de monsters ligt tussen de 25 en 150 cm  $H_2O$  in, zodat op grond hiervan geen reductie van de oxydatie verwacht mag worden (2.4.3.4). Aangezien de monsters zeker niet te droog zullen zijn, zou een eventuele reductie van de oxydatie het gevolg moeten zijn van een  $O_2$ -gebrek, waardoor plaatselijk anaerobie ontstaat.

Om te kijken of dit verschijnsel zich al voordeed is het  $O_2$ -gehalte in de bodemlucht verhoogd tot 28%. Dit bleek op geen van de potten effect te hebben (fig. 25), zodat aangenomen mag worden, dat de monsters niet te nat waren en dus wat betreft hun vochtgehalte in het optimum zitten.

Een verlaging in de bodemlucht van het  $O_2$ -gehalte naar 13% had een verlaging van de oxydatie tot gevolg voor de potten uit een diepte 15-31 en 21-37 met een zuigspanning van respectievelijk 40 en 25 cm  $H_2O$  (resp. 20% en 27%). Dit betekent, dat deze vochtspanningen dicht bij het minimum komen voor maximale oxydatie. Bij de metingen moet verder dus een zuigspanning van 40 als 'veilig' minimum genomen worden, wat natuurlijk al erg nat is.

Om te kijken of verder uitdrogen invloed heeft op de oxydatie zijn de potten 1 en 2 te drogen gezet (tot een zuigspanning van ruim 300 cm  $H_2O$ ). Meten van het  $O_2$  verbruik gaf een lagere waarde (circa 22 mg  $O_2$ /l 24 uur) maar het tijdsverschil tussen de metingen is bijna 2 maanden waardoor dit niveau misschien anders ook wel bereikt zou zijn. Tevens is het mogelijk dat de droging wat te snel is geschied en voornamelijk de bovenste laag heeft uitgedroogd.

Bij herbevochtiging of opnieuw meten met andere potten zal moeten blijken of deze afname echt het effect is van een lager vochtgehalte, hetgeen ik niet verwacht, aangezien andere waarnemingen (4.2.3.4) geen afname geven bij zuigspanning tot 3000 cm  $H_2O$ .

#### 4.9. B e r e k e n i n g v a n d e r e l a t i e v e a f b r a a k - s n e l h e i d v a n h e t v e e n R

De relatieve afbraaksnelheid R wordt gegeven door:

$$dc/dt = -R \times C$$

met  $\bar{c}$  = mg organische stof in monster (=  $1,72 \times C$ )

t = tijd in dagen

Vervolgens is deze waarde omgerekend naar een jaar en voor omzetting bij 30°C. Dit is gedaan om een vergelijk mogelijk te maken met waarden gebruikt door het ITAL voor bouwland (tabel 14).

Tabel 14. Verdeling van organische stof en de relatieve afbraaksnelheid bij 30°C

| Fractie                    | Percentage van de organische stof | R<br>jaar <sup>-1</sup> |
|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| a) gemakkelijk afbreekbaar | 1%                                | 16                      |
| b) recalcitrant            | 1%                                | 0,16                    |
| c) oud                     | 97%                               | 0,02                    |
| d) biomassa                | 1%                                | 4                       |

In tabel 15 worden de relatieve afbraaksnelheden gegeven van het veen in de monsterpotten bij 30°C met R in jaar<sup>-1</sup> ( $Q_{10} = 2,1$ ).

Tabel 15. Relatieve afbraaksnelheid van het veen (R) bij 30°C (Zegveld)

| Diepte               | 0-16 | 15-31 | 21-37 | 33-49 | 43-59 | 52-68 | 63-79 | 76-92 | 79-95 |
|----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R jaar <sup>-1</sup> | 0,06 | 0,07  | 0,05  | 0,04  | 0,07  | 0,11  | 0,13  | 0,10  | 0,08  |

Deze waarden zijn berekend uitgaande van de na enige tijd te bereiken evenwichtstoestand en de afbraak zal in het begin sneller zijn.

Berekening voor een gemiddelde afbraaksnelheid van de organische stof voor bouwland bij de gegeven samenstelling door het ITAL levert een waarde van  $R = 0,24$ , hetgeen hoog lijkt. Deze waarde wordt echter zeer sterk bepaald door 1% gemakkelijk afbreekbare materialen. Dit zijn voornamelijk produkten welke vers in de grond komen. Dit is bij de veengrond procentueel gezien veel lager. Over de totale hoeveelheid organische stof in het veen gerekend, is de afbraaksnelheid van veen die van 'resistente' (oude) organische stof.

#### 4.10. Berekening daling van het maaiveld uit metingen van oxydatiesnelheden

Bij de berekening wordt aangenomen, dat organische stof 58% C heeft en als C-produktie wordt het niveau genomen, dat na enige tijd verwacht

wordt (zie 4.5.3.). Dit wordt omgerekend in een produktie per jaar en gedeeld door het oppervlak van het monster ( $180 \text{ cm}^2$ ). Vermenigvuldiging met 10 en delen door de volumieke massa ( $W_H$ ) van organische stof zoals gegeven in tabel 8 geeft de zakking in mm/jaar.

De zakking wordt dus als volgt berekend:

$$\text{Zakking in mm/jaar} = \text{C-produktie} \times 365/W_H / 180 \times 10 \times 1,72$$

De zakking welke bij de gemeten  $\text{CO}_2$ -produktie per pot zou optreden wordt gegeven in tabel 16.

Tabel 16. De zakking door oxydatie van het maaiveld in mm/jaar berekend uit oxydatiemetingen bij  $15,5^\circ\text{C}$ . Zegveld perceel 3

| Diepte              | 0-16 | 15-31 | 21-37 | 33-49 | 43-59 | 52-68 | 63-79 | 76-92 | 79-95 |
|---------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Zakking<br>in mm/j. | 2,7  | 3,4   | 2,6   | 1,9   | 3,5   | 5,7   | 7,0   | 4,5   | 3,7   |

Bij een gemiddelde grondwaterstand van 60 cm -mv mag volgens deze berekening bij  $15,5^\circ\text{C}$  een jaarlijkse zakking van het maaiveld verwacht worden van 9,6 mm/jaar. Dit is echter berekend op grond van wat er oxydeert. Nu is de zakking het verschil tussen de aanvoer van organische stof en de afvoer door oxydatie.

Wanneer deze aanvoer 5 ton organische stof/ha jaar bedraagt oftewel ongeveer  $3 \cdot 10^{-2} \text{ gr C/cm}^2$  jaar komt deze aanvoer neer op 2,2 mm/jaar. Hierdoor komt de zakking berekend uit oxydatiemeting neer op 7,4 mm/jaar bij  $15,5^\circ\text{C}$ . Voor de gemiddelde jaartemperatuur van circa  $8,5^\circ\text{C}$  komt dit neer op 4,3 mm/jaar. Dit komt wel zeer goed overeen met de gemeten oxydatie in het veld van 4,4 mm/jaar voor Zegveld perceel 3 (zie inventarisatie 2.3.3.3) vooral wanneer je bedenkt dat hier jaargemiddelden zijn gebruikt, terwijl juist als de temperatuur het hoogst is, de grondwaterstand ook het laagst is. Berekening per maand in het veld van temperatuur en grondwaterstand kunnen voor een betere omrekening zorgen.

Wat betreft de totale zakking blijkt aardige overeenstemming. Het is nu de vraag of de gevonden oxydatie met de diepte ook overeenstemt met de gegevens omtrent de zakking met de diepte, welke uit de zakplaatjes wordt gehaald. Deze zakplaatjes zijn om de 20 cm geplaatst.

De afname van de dikte tussen de plaatjes geeft de zakking weer welke het gevolg is van oxydatie en krimp en onder het grondwater klink. In tabel 17 worden de gemiddelde zakkingen van 0-80 cm gegeven over de jaren '69-'83 voor Zegveld perceel 3. Eveneens wordt de gemiddelde zakking gegeven voor de jaren '69-'75 en '75-'83. Ter vergelijking is de oxydatie gegeven in dezelfde tabel, welke uit de metingen verwacht worden bij 8,5°C (gemiddelde jaartemperatuur).

Tabel 17. De zakkingen in mm/jaar over de jaren: '69-'83, '69-'75 en '75-'83 en de gemeten zakking door oxydatie aan de veenmonsters

| Laag             | 0-20 | 20-40 | 40-60 | 60-80 |
|------------------|------|-------|-------|-------|
| Zakking '69-'83  | 3,1  | 2,9   | 2,5   | 1,8   |
| Zakking '69-'75  | 3,8  | 3,0   | 1,2   | 2,5   |
| Zakking '75-'83  | 2,5  | 2,8   | 3,5   | 1,3   |
| Gemeten oxydatie | 1,7  | 1,5   | 2,1   | 4     |

Over '69-'83 neemt de zakking met de diepte af (vooral als je bedenkt dat de aanvoer van organische stof in de bovengrond er nog bijgeteld moet worden). Kijkend naar de laatste 8 jaren valt op, dat deze op 40-60 cm toeneemt en dat de zakking in deze laag ook groter is dan in de jaren daarvoor. Dit was niet te verwachten omdat klink zich voornamelijk in de eerste jaren na ontwatering voordoet. Deze grotere zakking op 40-60 cm is wel in overeenstemming met de grotere oxydatie, welke voor deze laag gemeten werd.

Voor de bovenste 60 cm geldt dat de gemeten oxydatie aan de monsters lager is dan de gemeten zakking met de zakplaatjes. Enerzijds zal dit veroorzaakt worden door de krimp welke bij de zakplaatjes meegenomen wordt, anderzijds is misschien de gemiddelde temperatuur van 8,5°C wat aan de lage kant. Duidelijk is echter wel, dat de gemeten oxydatie op 60-80 cm van 4 mm/jaar zich niet voordoet, ongetwijfeld doordat deze laag te nat is gedurende lange tijd, voor deze oxydatie.

Een poging om per laag van 10 cm aan de hand van de volumieke massa's voor organische stof en minerale delen, verzameld in de jaren '69, '70, '71 en '72 de oxydatie te berekenen (zie 2.2.2) loopt op

niets uit, doordat de variatie in deze volumieke massa's in deze jaren vallen binnen de fout (variabiliteit in de grond) van de bepaalde waarden. Zo is op 40-50 cm de volumieke massa voor minerale delen 0,03-0,04 maar dit verschil komt wel even overeen met een zakking van 33 mm. Misschien dat vergelijking van deze getallen met monsters op dit moment (15 jaar later) genomen, wel bruikbaar zijn in dit kader. Hierbij moet je dan wel weer aannemen, dat van '69-'85 de oxydatie constant is geweest, hetgeen vermoedelijk niet het geval is.

Nader onderzoek naar vergelijkingen van metingen met zakplaatjes en berekening uit volumieke massa's met gemeten oxydatieverliezen (bijvoorbeeld door andere profielen te bekijken) verdient zeker aanbeveling, mede om inzicht te krijgen in de bruikbaarheid van de oxydatiemetingen zoals ze hier verricht zijn. Hierbij lijkt mij de verdelingen per 20 cm (zoals bij de zakplaatjes gebeurt) te grof.

#### 4.11. Conclusies en enkele punten voor verder onderzoek

##### 4.11.1. Conclusies

Uit de resultaten van de meting van de oxydatie van het veen van Zegveld perceel no. 3 kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

- \* Uit de gemeten C-productie wordt een maaiveldsdaling door oxydatie berekend van 4,3 mm/jaar tegenover een zakking van 4,4 mm/jaar wanneer deze berekend wordt uit de minerale samenstelling.
- \* De relatieve afbraaksnelheid van het veen is laag, hetgeen er op wijst, dat de zakking van het maaiveld niet zozeer een gevolg is van het gemakkelijk afbreekbaar zijn van deze organische stof, maar eerder een gevolg is van de grote hoeveelheid ervan.
- \* De relatieve afbraaksnelheid van het veen neemt toe met de diepte, wat tot gevolg zal hebben, dat bij verlagen van het slootpeil de oxydatie meer dan evenredig toe zal nemen. Verder zal deze snelheid dan na langere tijd vermoedelijk afnemen (gezien de lagere afbraaksnelheid van het al langer ontwaterde deel) waardoor tevens de zakking door oxydatie dan af zal nemen.
- \* Zolang de zuigspanning in het veen boven de 40 cm  $H_2O$  ligt, zal dit geen belemmering geven voor de oxydatie tot aan een bovengrens welke

vermoedelijk om en nabij de 3000 ligt. Daartussen mag verwacht worden dat het vochtgehalte niet van invloed is.

- \* De verhouding tussen  $O_2$ -consumptie en  $CO_2$ -produktie is niet constant maar lijkt toe te nemen met de diepte. Na ontwatering (en daardoor blootstellen aan de lucht) neemt de  $O_2/CO_2$ -verhouding af in de tijd. Een en ander is mogelijk het gevolg van omzetting door andere micro-organismen of door omzetting van een ander substraat. Bij dit laatste moet eraan gedacht worden, dat het veen van grotere diepte vrijwel nooit met  $O_2$  in aanraking is gekomen en daardoor het veen mogelijk een lagere  $O_2/CO_2$  verhouding heeft. In de laag met wisselende aerobe en anaerobe periode is het mogelijk, dat tijdens een anaerobe fase gedeeltelijke afbraak plaatsvindt en omzetting in stoffen welke in aerobe toestand dan weer snel afgebroken worden.
- \* De temperatuur heeft grote invloed op de oxydatiesnelheid. De bepaling voor een  $Q_{10}$  waarde geeft een toename van deze met de diepte te zien in de bovenste 40 cm. Hoe deze waarde in de diepere lagen is, is niet bekend. Als gemiddelde waarde wordt een  $Q_{10}$  van 2,1 genomen.
- \* De bepaling van het luchtgehalte zoals hier uitgevoerd geeft het luchtgehalte in de pot zelf en niet het luchtgehalte in het veen, hetgeen de bepaling in deze vorm niet zinvol maakt.
- \* In de bovengrond is de aanwezigheid en afsterven van de wortels een nog onzekere factor welke echter wel degelijk zijn invloed heeft op het  $O_2$ -verbruik, een invloed welke nog nader onderzocht moet worden.
- \* Het meten van de oxydatie geschiedt het snelst door meten van het  $O_2$  verbruik. De fout hierin is wat groter dan bij de  $CO_2$  bepaling. Voor het omrekenen van  $O_2$  verbruik naar de zakking moet echter de  $O_2/CO_2$  verhouding bekend zijn, welke niet constant is. Het verloop van beide metingen met de diepte is gelijk, maar in de tijd is het verloop verschillend.

#### 4.11.2. Punten voor verder onderzoek

Omtrent de meting op zich moet met name de invloed van de wortels nader bekeken worden. Enerzijds zou dit kunnen door uit de veenmonsters de bovenste 5 cm te verwijderen en de oxydatie opnieuw te meten, anderzijds door het gras in het kleimonster af te knippen, waardoor de wortels sneller afsterven en de invloed daarvan op de meting te volgen.

Tevens moet nader bekeken worden waarom de  $O_2/CO_2$  verhouding niet constant is, opdat dan beter gezegd kan worden welke de oxydatie juist weergeeft. Misschien door eventuele  $CO_2$  produktie in een  $O_2$  vrij gas te meten (anearoob). Voor de invloed van de temperatuur moet er nog een  $Q_{10}$  waarde bepaald worden voor monsters onder het grondwater, aangezien deze waarde nog niet precies bekend is.

Omtrent het vochtgehalte moet nog nader bekeken worden bij welke zuigspanning reductie optreedt bij uitdroging. Metingen van de oxydatie aan andere profielen zullen ook meer inzicht geven in bovengenoemde processen.

Om de gemeten oxydatie om te rekenen in een zakking van het maaiveld moeten in het veld waarnemingen verricht worden. Hierbij is dan van belang de bodemtemperatuur met de diepte en de zuigspanning gekoppeld aan de grondwaterstand. Bij dit laatste gaat het er dan voornamelijk om wanneer de grenzen van de zuigspanning waarboven reductie optreedt bereikt worden. Wanneer het verloop van beide bijvoorbeeld maandelijks gemeten wordt kunnen de in het laboratorium gemeten waarden beter omgerekend worden. Anderzijds zullen metingen aan andere profielen en vergelijk hiervan met de gemeten zakkingen hierover eveneens meer informatie leveren.

## 5. CHEMISCHE SAMENSTELLING VAN HET VEEN

### 5.1. I n l e i d i n g

Metingen van oxydatie aan veen in de tijd zullen het mogelijk maken op den duur voorspellingen omtrent de zakking te doen en omtrent het verloop daarvan met de tijd. Een andere ingang hiertoe is het bepalen van de afbraaksnelheid van organische stof en dan op grond van aan- en afvoer de zakking te berekenen. Hieruit kan dezelfde informatie verkregen worden als lange termijn gegevens. Nu bleek in 4.9 al dat de afbraaksnelheid van veen niet constant is. De ene organische stof is kennelijk de andere niet.

Zonder twijfel is organische stof het meest complexe materiaal in de natuur en bevat waarschijnlijk de meeste, zo niet alle, natuurlijk voorkomende organische verbindingen, elk met hun eigen afbraaksnelheid. Gezien de variëteit in structuur van natuurlijke produkten oneindig is, lijkt het niet zo zinvol, stof voor stof te gaan bestuderen, maar lijkt een indeling naar groepen bruikbaar.



Om de verschillen in afbraaksnelheid van het veen uit te drukken in een verschil in samenstelling wordt hier de organische stof in groepen verdeeld, welke verschillen in afbraaksnelheid. De samenstelling wordt beschreven in 5.2, de bepalingmethode in 5.3 met de resultaten (5.4) en vergelijk hiervan met de relatieve afbraaksnelheid (5.5).

Vervolgens zal worden ingegaan op de invloed van de C/N-verhouding op de afbraak (5.6) gevolgd door de bepaling hiervan (5.7) en een berekening van de te verwachten N-leverantie op grond hiervan (5.8). De conclusies en enkele punten voor vervolg van het onderzoek volgen in 5.9.

## 5.2. Samenstelling organische stof

Als vers materiaal in de bodem komt wordt het direct afgebroken door micro-organismen. Als gevolg hiervan verdwijnt een deel als  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ , een deel wordt gebruikt voor celsynthese en een derde deel wordt omgezet in een donkere uniforme massa, welke als humus wordt aangegeven. Deze humus mag gezien worden als een min of meer stabiel eindprodukt, maar niet als een absoluut resistent produkt. Wanneer dat wel zo zou zijn zouden er dikke lagen organisch materiaal ontstaan en de voorraad beschikbare C in de atmosfeer zou snel uitgeput raken en verder leven onmogelijk maken.

De organische stof in de bodem bestaat uit verschillende stadia van afbraak. Plantenmateriaal is opgebouwd in 4 hoofdgroepen: carbohydraten, lignine, proteïne en vetten + wassen.

### \* carbohydraten

Het totaal aan carbohydraten in een bodem bedraagt 5-20% van de organische stof. Ze bestaan voornamelijk uit poly sachariden, cellulose en hemicellulose.

De polysachariden die in de bodem voorkomen zijn hoofdzakelijk van microbiele oorsprong. Dit viel ook wel te verwachten, aangezien ze snel en gemakkelijk afgebroken worden. Mede gezien hun oplosbaarheid is het verwonderlijk, dat ze meer dan als sporen elementen voorkomen. Een mogelijk verklaring daarvoor is, dat ze opgesloten zitten in aggregaten en cellen en weefsels en door deze, zolang ze intact blijven, vastgehouden worden.

Cellulose vormt het voornaamste bestanddeel van planten. De cellulose in de bodem is dan ook hoofdzakelijk van plantaardige oorsprong. Omdat ze onderworpen zijn aan microbiele afbraak is het gehalte in organische stof aanwezig in gronden lager dan in het oorspronkelijke plantenmateriaal.

Bijvoorbeeld cellulose en hemicellulose vormen 30-50% van de droge stof van plantenmateriaal, welke voor veenvorming zorgden. Maar de organische stof in de meeste gronden bevat slechts 5 tot 30%.

Anderzijds kunnen deze bestanddelen in anaerobe venen lange tijd stand houden. Bos-zeggevenen zijn meestal laag in cellulose gehalte, terwijl het gehalte in veenmosveen circa 30% kan zijn.

Hemicellulose wordt net als cellulose snel afgebroken door een grote verscheidenheid aan micro-organismen. Evenals voor cellulose geldt, dat het gehalte in de grond lager is dan in planten.

De afbraak van cellulose en hemicellulose is onder aerobe omstandigheden snel en volledig, echter minder snel dan de polysachariden.

Beide bevatten geen N, waardoor hun afbraak afhankelijk van de N-toelevering in de grond is.

#### \* Lignine achtige complexen

Na cellulose en hemicellulose is lignine de derde belangrijkste component in plantenmateriaal. Een verschil is echter, dat de afbraak veel langzamer is en minder compleet. De lignine accumuleert in de grond en diensgevolge is het gehalte in de bodem hoger dan in het plantenmateriaal. Veel veenmosvenen bestaan voor 20-30% uit lignine en zeggeveen voor 50%.

Als regel kan gesteld worden dat hoe hoger de graad van afbraak is, hoe hoger het lignine-gehalte zal zijn.

#### \* Proteïne

Proteïnen en daaraan gerelateerde substantie vormen in hoofdzaak de nitrogene bestanddelen van de organische stof.

De variatie in afbraaksnelheid is groot. Omdat N vaak als beperkende factor optreedt mag verwacht worden, dat beschikbare N snel wordt omgebouwd in proteïnen.

Wanneer voldoende carbohydraten aanwezig zijn loopt de produktie van ammonia (een gevolg van de afbraak van proteïne) parallel aan de afbraak hiervan. Wanneer er onvoldoende carbohydraten zijn wordt

de produktie van ammonia onderdrukt omdat de N dan direct weer ingebouwd wordt in microbiele proteïne.

\* Vetten en wassen

Meestal is het gehalte aan deze stoffen in organische stof < 2% echter in veengronden kunnen hogere gehalten voorkomen tot circa 5% voor zeggeveen en > 15% in veenmosveen. Ze worden slechts langzaam afgebroken en hebben de neiging tot accumulatie in de grond. Als regel kan gesteld worden, des te ouder de afzetting, des te hoger het gehalte aan vetten en wassen.

Zoals uit het bovenstaande blijkt, is de samenstelling van venen onderling verschillend. Tabel 18 geeft dit nogmaals weer.

Tabel 18. Hoofdbestanddelen van de organische stof in diverse venen (BEAR, 1955)

| Type and Location of Peat             | Depth (in) | Reaction (pH) | Total Organic Matter (%) | Water Soluble (%) | Ether + Alcohol Soluble (%) | Hemicellulose (%) | Cellulose (%) | Lignin-Humus Complex (%) | Total N (%) |
|---------------------------------------|------------|---------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|---------------|--------------------------|-------------|
| Sphagnum, Orono, Maine                | 2-4        | 3.8           | 95.5                     | 8.6               | 7.2                         | 25.2              | 13.3          | 17.9                     | 0.6         |
|                                       | 8-12       | 3.8           | 95.7                     | 5.2               | 7.8                         | 24.1              | 17.1          | 18.0                     | 0.8         |
| Heath, Beaufort, North Carolina       | 0-3        | 4.0           | 92.8                     | 4.9               | 7.4                         | 10.8              | 5.3           | 49.3                     | 1.9         |
|                                       | 3-9        | 3.5           | 97.7                     | 3.4               | 9.1                         | 8.0               | 4.9           | 55.7                     | 1.7         |
| Saw-grass, Belle Grade, Florida       | 0-4        | 5.3           | 91.5                     | 4.1               | 2.2                         | 11.8              | 3.6           | 43.5                     | 3.9         |
|                                       | 32         | 6.3           | 93.3                     | 2.1               | 2.3                         | 4.4               | 2.0           | 60.1                     | 3.5         |
| Woody sedge, Monroe, Washington       | 0-6        | 4.6           | 89.2                     | 8.9               | 9.2                         | 8.1               | 2.7           | 35.0                     | 3.0         |
|                                       | 10-16      | 4.5           | 93.5                     | 5.9               | 7.7                         | 7.0               | 3.2           | 38.2                     | 3.3         |
| Sedimentary Miami Canal Lock, Florida | 15-30      | 6.2           | 53.4                     | 6.1               | 3.5                         | 3.6               | 1.1           | 39.6                     | 3.9         |
|                                       | 42-48      | 5.9           | 89.7                     | 2.9               | 2.2                         | 4.2               | 1.7           | 46.1                     | 3.5         |

\* Data from Feustal and Byers based on 100 parts of organic matter.

Hierin staat water oplosbaar voor polysachariden en eenvoudige suikers + enkele aminozuren en staat ether + alcohol oplosbaar voor vetten en wassen.

Behalve de verschillen onderling is er tevens gewezen op verschillen met oorspronkelijk plantenmateriaal. De samenstelling van organische stof verandert tijdens de afbraak hiervan. Een voorbeeld hiervan wordt gegeven voor paardenmest in fig. 29, waaruit blijkt, dat het lignine gehalte toeneemt en het gehalte aan cellulose en hemicellulose afneemt.

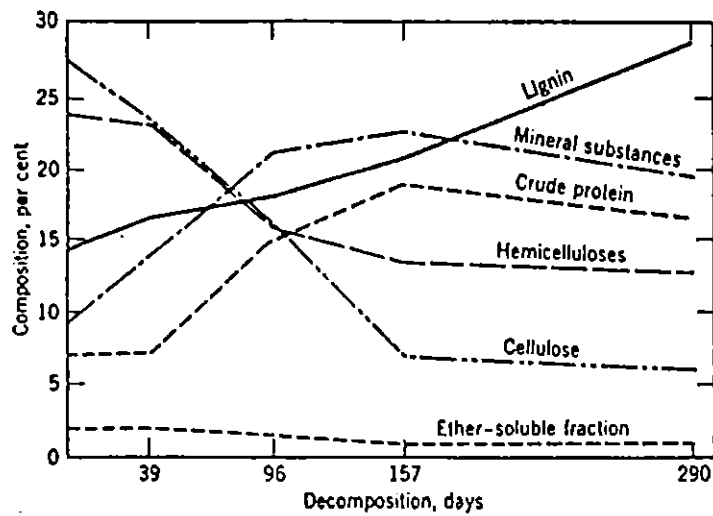


Fig. 29. Verandering in samenstelling van paardenmest tijdens verschillende stadia van afbraak (WAKSMAN, 1952)

Hiervan uitgaand kan aan de hand van de samenstelling een maat gevonden worden voor de graad van afbraak (WAKSMAN, 1952). Dit wordt weergegeven in fig. 30, waarin blijkt, dat hoe lager het ligninegehalte en hoe hoger het cellulose-gehalte des te hoger is de graad van afbraak (WAKSMAN, 1952).

De verdeling van organische stof zoals hier beschreven, zal worden uitgevoerd voor de monsters van Zegveld perceel no. 3.

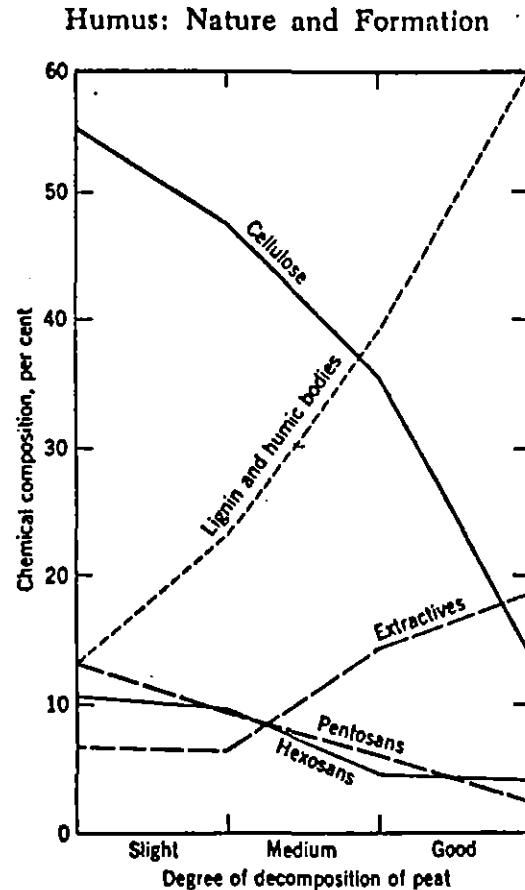


Fig. 30. Afbraak van planten bestanddelen tijdens veenvorming  
(WAKSMAN, 1952)

### 5.3. Methode

#### 5.3.1. Algemeen

De methode toegepast bij de analyse van het veen is gebaseerd op een methode ontwikkeld door WAKSMAN en STEVENS (beschreven in Soil Science 24, 26 en 30) en vervolgens aangepast aan praktische mogelijkheden. De methode bestaat uit een opeenvolging van extracties aan één veemonster en wel:

- 1) alcohol extractie: wassen, vetten en looizuren;
- 2) water extractie: polysacchariden, eenvoudige suiker en enkele aminozuren;
- 3) 2% HCl hydrolyse: hemicellulose;
- 4) geconc.  $H_2SO_4$  hydrolyse: cellulose;
- 5) residu: lignine complex + proteïne.

Het residu bestaat uit lignine complex en proteïne waarvan deze laatste in tegenstelling tot de eerste gemakkelijk afgebroken worden. Deze fractie kan in het residu bepaald worden door totaal N in het residu te bepalen. Dit is niet gebeurd, vandaar dat beide fracties samengenomen zijn. Hieronder wordt de methode beschreven welke voor 6 monsters in één week uitgevoerd kan worden. De analyse wordt uitgevoerd aan gedroogde gemalen veenmonsters. Verder is aan niet gedroogde monsters de pH-H<sub>2</sub>O bepaald.

#### 5.3.2. Alcohol extraheerbare fractie

- Principe: een bekend gewicht droge grond wordt 4 uur geschud met alcohol 96%. Vervolgens wordt de grond gefiltreerd door een gedroogd en gewogen filtreerpapiertje. Het residu wordt teruggebracht in de erlenmeyer en door middel van indampen van het filtraat wordt de opgeloste fractie bepaald.
- Methode: in een met een glazen stop afsluitbare erlenmeyer van 250 ml wordt circa 5 gram droge gemalen veengrond nauwkeurig ingewogen. Hieraan wordt 150 ml alcohol 96% toegevoegd en het geheel wordt 4 uur geschud. Na 4 uur even laten bezinken en filtreren door een gedroogd en gewogen filtreerpapiertje. Het residu wordt teruggebracht in de erlenmeyer en het filtreerpapiertje gedroogd en opnieuw gewogen. Het residu wordt bewaard voor het bepalen van de waterextraheerbare fase (5.3.3).

De alcohol wordt overgebracht in een destillatie-opstelling (fig. 31) en overgedestilleerd totdat het onderste pijpje achterblijft (circa 10 ml). Dit wordt quantitatief overgebracht in een schoon, droog en gewogen metalen grondbakje en op een waterbad verder ingedampt. Het laatste restje wordt in de droogstoof gedroogd en door wegen wordt de alcohol-oplosbare fractie bepaald.

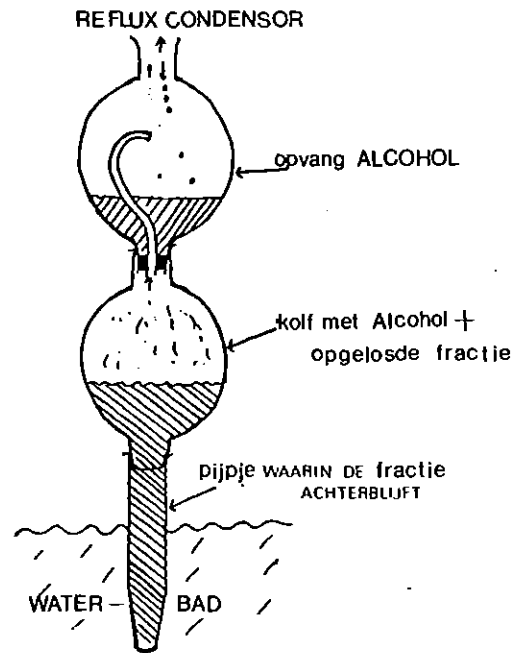


Fig. 31. Opstelling gebruikt voor overdestillatie van de alcohol voor bepaling van de alcoholoplosbare fractie. Het geheel wordt onder een reflux-condensor geplaatst.

- Berekening: de fractie wordt uitgedrukt in gewichtspercentage van de organische stof.

### 5.3.3. De wateroplosbare fractie

- Principe: het residu van de alcohol-extractie (5.3.2) wordt gedurende 18 uur geschud met water. Vervolgens wordt gefiltreerd waarbij het residu wordt bewaard voor de bepaling van hydrolyse met 2% HCl en in het filtraat wordt door middel van indampen de opgeloste hoeveelheid bepaald.
- Methode: aan het residu van 5.3.2 wordt in dezelfde erlenmeyer 150 ml water toegevoegd. Deze wordt gedurende 18 uur geschud. Vervolgens wordt gefiltreerd door een gewogen en gedroogd filtreerpapier in een schoon, droog en gewogen bekersglas van 250 ml. Hierbij worden de erlenmeyers goed leeggespoeld en het residu uitgewassen. Dit residu wordt met het filtreerpapier gedroogd en gewogen en vervolgens bewaard voor hydrolyse met verdund zuur (5.3.4).

Het filtraat in het bekerglas wordt op een waterbad ingedampt en vervolgens gedroogd in de droogstoof. De opgeloste fractie wordt door middel van wegen bepaald. Het kan voorkomen (met name bij monsters in de bovengrond) dat het filtraat troebel is. Het filtraat wordt dan opgezogen in een membraanfilter en vervolgens door deze filter geperst. Na deze behandeling is de oplossing wel helder.

- Berekening: de fractie wordt uitgedrukt als gewichtpercentage van de organische stof van het oorspronkelijke materiaal verminderd met de verliezen.

#### 5.3.4. Hydrolyse met verdund zuur, 2% HCl

- Principe: het residu van de waterextractie (5.3.3) wordt quantitatief overgebracht in een destructiekolf. Toegevoegd wordt 100 ml 2% HCl en dit wordt 6 uur gekookt onder een reflux condensor. Na filtratie wordt de opgeloste fractie bepaald door meten van het gewichtsverlies van het residu.

- Methode: het op een filtreerpapiertje gedroogde residu van de waterextractie (5.3.3) wordt gewogen en overgebracht in een destructiekolf. Door middel van terugwegen wordt bepaald hoeveel er in de kolf gebracht is. Vervolgens worden er ten behoeve van regelmatig koken wat van te voren gewogen glasparsels toegevoegd. Hierna wordt 100 ml 2% HCl toegevoegd en dit wordt onder een reflux condensor langzaam aan de kook gebracht.

Het geheel blijft 6 uur koken. Het hete extract wordt gefiltreerd door een droog en gewogen filtreerpapier en de kolf wordt door het filter helemaal leeggespoeld (dus inclusief de glasparsels). Het residu wordt met water goed uitgewassen alvorens het met filtreerpapier en al in de droogstoof wordt gedroogd. Door middel van wegen hiervan na drogen wordt na correctie voor filtreerpapier en glasparsels het gewichtsverlies bepaald. Het residu wordt bewaard voor hydrolyse met geconcentreerd zuur  $H_2SO_4$  (5.3.5).

- Berekening: de fractie wordt uitgedrukt als gewichtpercentage van de organische stof van het oorspronkelijk materiaal gecorrigeerd voor de verliezen.



#### 5.3.5. Hydrolyse met geconcentreerd zuur $H_2SO_4$

- Principe: aan het residu van de hydrolyse met zwak zuur (5.4.3) wordt 20 ml geconcentreerd  $H_2SO_4$  toegevoegd en dit blijft 1,5 uur zo staan. Vervolgens wordt 150 ml  $H_2O$  toegevoegd en het geheel gedurende 5 uur onder een reflux condensor gekookt.
- Methode: het residu van de hydrolyse met zwak zuur (5.4.3) wordt na drogen inclusief papier en glaspapels gewogen. Vervolgens wordt het tesamen met de glaspapels overgebracht in een destructiekolf en door middel van terugwegen wordt het overgebrachte gewicht bepaald. Hieraan wordt 20 ml geconcentreerd zwavelzuur toegevoegd en dit blijft 1½ uur zo staan. Vervolgens wordt voorzichtig 150 ml water toegevoegd en gedurende 5 uur onder een reflux condensor gekookt (langzaam aan de kook brengen, gaat schuimen).  
Na 5 uur wordt het hete extract door een droog en gewogen filter gegooid en wordt de kolf met water nagespoeld (helemaal leeg). Het residu in de filter wordt goed uitgewassen met water alvorens het in de droogstoof gedroogd wordt. Na drogen wordt door weging en correctie voor filter en glaspapels het gewicht en daarmee tevens het gewichtverlies vastgesteld.
- Berekening: evenals bij voorgaande wordt de fractie uitgedrukt in percentage van de organische stof van het uitgangsmateriaal gecorrigeerd voor de verliezen.

#### 5.4. R e s u l t a t e n

- pH: de pH is bepaald nadat 10 gram natte grond 2 uur geschud heeft met 50 ml  $H_2O$  (dit is 2 keer zoveel als gebruikelijk is, om een suspensie-effect ten gevolge van sterke zwelling zoveel mogelijk te vermijden). Het resultaat is weergegeven in fig. 32 en tabel 19.

Tabel 19. pH- $H_2O$  in relatie tot de diepte; Zegveld perceel 3

| Diepte     | 0-16      | 15-31 | 21-37     | 43-59 | 63-79 | 79-95 |
|------------|-----------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| pH- $H_2O$ | 5,31/4,85 | 4,59  | 4,25/4,43 | 4,25  | 4,06  | 4,56  |

De waarden zijn alle gemiddelde van duplo bepalingen en voor 0-16 en 21-37 is de bepaling aan twee verschillende monsters genomen.

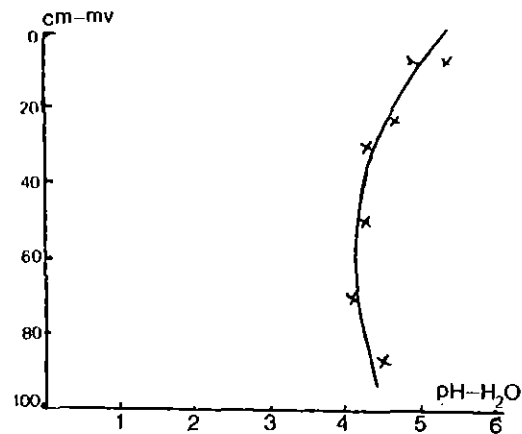


Fig. 32. De pH-H<sub>2</sub>O bepaald aan de veemonsters in relatie tot de diepte

- Verdeling van de organische stof in de fracties: in verband met praktische ruimte is de analyse uitgevoerd aan zes monsters (gedroogd en gemalen). De bepalingen zijn in enkelvoud uitgevoerd en worden weergegeven in tabel 20.

Tabel 20. De verdeling van de organische stof in fracties: Zegveld perceel no. 3, alle in % van de organische stof

| Diepte | % org.stof | Alcohol<br>extract | Water<br>extr. | 2% HCl<br>extr. | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>extr. | Residu |
|--------|------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------------|--------|
| 0-16   | 58,7       | 0,5                | 2,5            | 21,4            | 33,7                                    | 41,9   |
| 21-37  | 73,4       | 0,9                | 1,6            | 15,0            | 13,0                                    | 69,5   |
| 43-59  | 79,4       | 0,7                | 0,9            | 7,9             | 1,4                                     | 89,1   |
| 63-79  | 82,7       | -                  | 5,1            | 1,0             | 11,9                                    | 82,0   |
| 79-95  | 73,7       | 0,8                | 7,9            | 2,5             | 22,0                                    | 66,8   |
| 95-115 | 77,4       | 1,1                | 13,9           | 0               | 18,6                                    | 66,4   |

#### 5.5. De verdeling van de organische stof in fracties vergeleken met de relatieve afbraaksnelheid

De verschillen welke zich voordoen op verschillende dieptes in afbraaksnelheid kunnen geen gevolg zijn van de pH welke slechts

lichtelijk afneemt. In fig. 33 is de verdeling over de fracties met de diepte weergegeven en eveneens de relatieve afbraaksnelheid van het veen in relatie tot de diepte.

Het residu welke toch wel staat voor het resistente deel (proteïne max. 9%) van de organische stof geeft tot circa 50 cm een toename te zien tot maar liefst 90% van de organische stof. Verdere toename in de diepte geeft weer een afname van dit gehalte tot circa 65%.

Het gehalte van de alcohol extraheerbare fractie is constant door het hele profiel en bovendien erg laag, zodat dit hier geen bijdrage levert tot de oxydatiesnelheid.

De water extraheerbare fractie is in de bovenste 40 cm laag, namelijk kleiner dan 3%, hetgeen ook wel te verwachten was, aangezien deze stoffen snel afgebroken worden. In de laag dieper dan 40 cm neemt het gehalte snel toe tot circa 13% hetgeen vrij hoog is. Het zijn voornamelijk produkten van microbiele oorsprong en zullen in de diepere lagen de stoffen bevatten welke onder anaerobe omstandigheden gevormd worden en oplosbaar zijn in water (organische zuren). (De grondwaterstand op het moment van monsternamen bedroeg 37 cm -mv).

De hemicellulose en cellulose zijn voornamelijk van plantaardige afkomst en daardoor in de bovenste laag het hoogst. Ze worden vrij gemakkelijk afgebroken waardoor bij toenemende diepte het gehalte snel afneemt. De afbraak van beide stoffen verloopt parallel maar voor cellulose iets sneller. Anderzijds kan cellulose lange tijd stand houden onder anaerobe omstandigheden hetgeen mogelijk het percentage van 15% op grotere diepte verklaart. Het totale gehalte is vrij laag, hetgeen gewoon is voor bos en zeggeveen.

Vergelijking van deze gehalten met de graad van afbraak van veen zoals in fig. 30 is weergegeven geeft te zien dat deze graad varieert van gemiddeld tot goed in de allerbovenste laag, tot zeer goed dieper in het profiel. Op grond van deze resultaten mag dus een lage relatieve afbraaksnelheid van het veen verwacht worden, wat overeenstemt met eerder gevonden resultaten. Verder geven vrijwel alle fracties aan, dat het meest resistente veen gevonden wordt op zo'n 40-50 cm. Dit is een laag waarin de aanvoer van gemakkelijk afbreekbare stoffen (welke voornamelijk van boven af plaatsvindt) gering is, terwijl de afbraak groter is dan op diepere lagen waar de afbraak voornamelijk gestagneerd zal worden door de aanwezigheid van het grondwater gedurende enkele maanden per jaar tot bijna permanent.

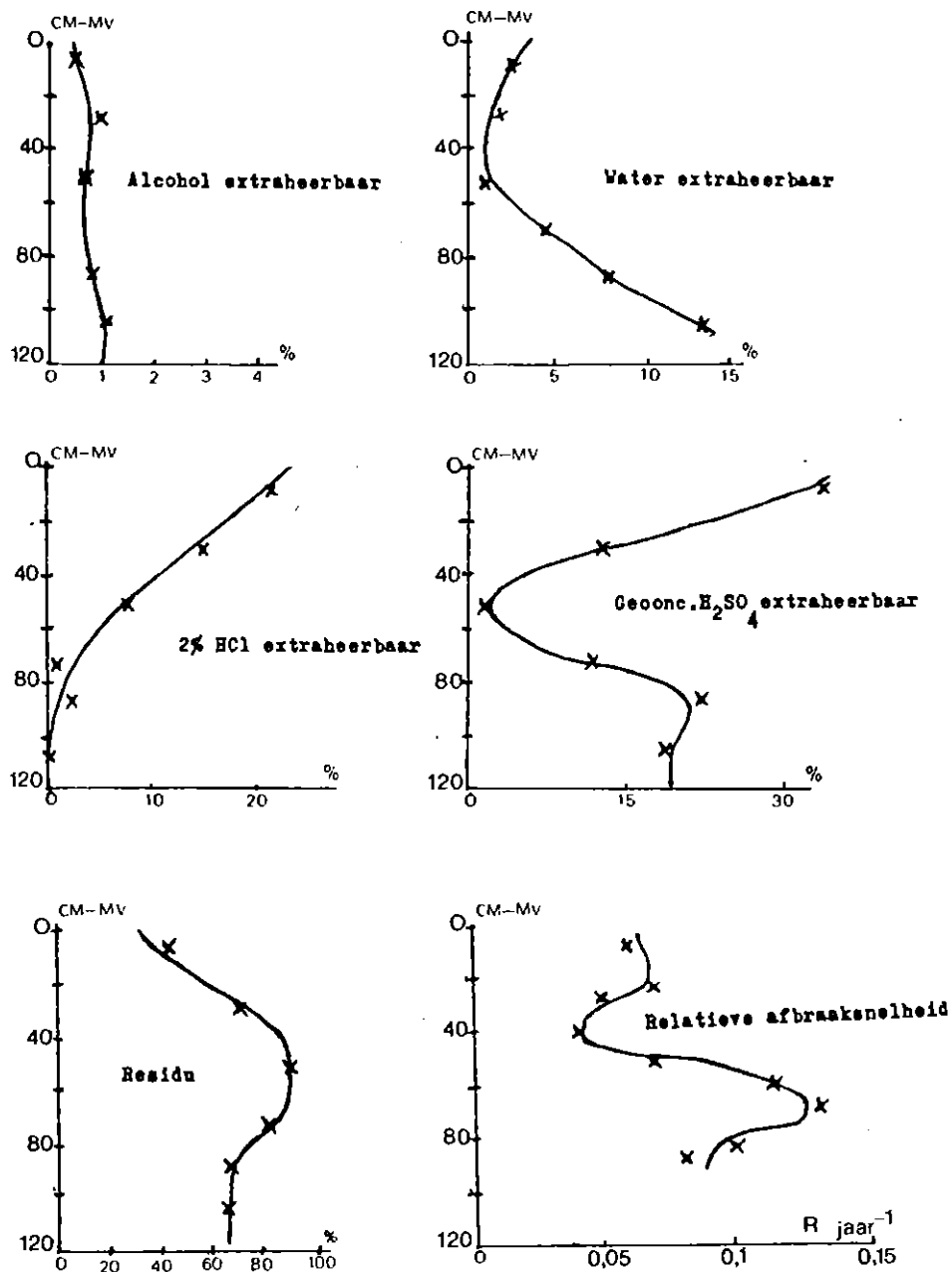


Fig. 33. De verandering met de diepte van de verdeling van het veen in de fracties:

- alcohol extraheerbaar: wassen, vetten, looizuren
- water extraheerbaar : polysachariden + eenvoudige suiker + enkele aminozuren
- 2% HCl extraheerbaar : hemicellulose
- geconcentreerd  $H_2SO_4$  extraheerbaar: cellulose
- residu: proteïne + lignineachtige complexen en de verandering van de relatieve afbraaksnelheid met de diepte van het veen bij 30°C

In fig. 33 is behalve de variatie in samenstelling met de diepte eveneens het verband tussen de relatieve afbraaksnelheid (zoals gemeten) en de diepte weergegeven. Gezien het feit, dat van geen van de fracties de afbraaksnelheid met enige nauwkeurigheid bekend is, is een vergelijk onderling moeilijk. Zo bevatten cellulose en hemi-cellulose bijvoorbeeld geen N en is hun afbraaksnelheid aldus gecorreleerd aan het N-niveau in de grond, terwijl lignine bij aanwezigheid van een gemakkelijk afbreekbaar C en N bron eveneens sneller afgebroken wordt.

De relatieve afbraaksnelheid lijkt het beste de lijn te volgen van de wateroplosbare fractie namelijk een afname in de bovenste 40 cm gevolgd door een toename op grotere diepte. De laag op ongeveer 85 cm valt hierbij dan echter uit de toon. Dit zou dan kunnen komen doordat of deze gemakkelijk afbreekbare fractie niet beschikbaar is voor afbraak, dan wel er een andere factor zorgt voor reductie van de afbraaksnelheid (misschien toch plaatselijk anaeroob). Het feit dat de relatieve afbraaksnelheid voornamelijk bepaald wordt door deze fractie was te verwachten, aangezien dit de gemakkelijkste en meest snel afbreekbare fractie is en daardoor ook als eerste afgebroken wordt (FRASER, 1955).

Op grond hiervan mag verwacht worden dat de afbraaksnelheid van het veen in de tijd nog verder af zal nemen wanneer deze diepere lagen aeroob gehouden worden, doordat deze wateroplosbare fractie verder af zal nemen. Dit kan echter langere tijd duren, aangezien bij het huidige niveau van afbraak (50 mg C/kg O.S dag) er al 4 jaren voor nodig zijn om deze 15% af te breken (nog los van de daarbij komende produktie van deze stoffen). Dit verklaart tevens, dat dit gehalte in de ondergrond, welke grotendeels anaeroob is, een dergelijke waarde aan kan nemen en door de aanwezigheid van dit anaerobe milieu hierop eveneens gehouden wordt.

#### 5.6. De invloed van de C/N-verhouding op de afbraaksnelheid

Gezien het feit, dat micro-organismen voor hun leven naast een C-bron eveneens een N-bron nodig hebben valt te verwachten, dat de C/N verhouding van invloed is op de afbraaksnelheid. Zo zullen hoogvenen (C/N ongeveer 60) minder snel oxyderen dan laagvenen (C/N ongeveer 20). De C/N-verhouding van micro-organismen is ongeveer 8, van de C die ze omzetten bouwen ze 20-40% in, wat tot gevolg heeft

dat een optimale afbraak plaatsvindt als de C/N-verhouding van het substraat 20 à 40 is. Bij hogere waarden geeft een N-bemesting een snellere afbraak, bij lagere waarden is dit niet het geval (komt zelfs N vrij bij de afbraak).

De snelheid van afbraak wordt bepaald door de energiebron, die de microben ter beschikking staat om af te breken. Toevoeging van gemakkelijk afbreekbare verbindingen kan een verhoging van biologische activiteit geven met een factor 10 à 50 (ALLISON, 1973). De N-leverantie is hierbij van ondergeschikt belang en micro-organismen zijn tot op zekere hoogte in staat zich aan te passen aan hun substraat door meer of minder N in te bouwen. Eveneens verschilt deze inbouw per groep van micro-organismen (ALLISON, 1973).

Naast deze aanpassing van micro-organismen is er nog een tweede factor van belang bij bepaling van de invloed van de C/N-verhouding. Het gaat namelijk niet zozeer om de C/N-verhouding op zich, maar meer om de C/N-verhouding van de stof, welke afgebroken wordt. ALLISON (1973) stelt, dat de C/N-verhouding van resistente produkten als zeekreeftschalen, ureum-formaldehyde of venen geen betekenis hebben. Dit laatste omdat het merendeel hiervan slechts langzaam afbreekt en de afbraak voornamelijk bepaald wordt door een klein deel gemakkelijk afbreekbare verbindingen met mogelijk een heel andere C/N-verhouding.

#### 5.7. D e C/N-v e r h o u d i n g v a n h e t v e e n o p Z e g - v e l d p e r c e e l 3

Het N-niveau van de monsters is bepaald door middel van een Kjeldahl destructie en spectrofotometrische bepaling van vrijgekomen ammonium daarna. Met behulp van de al bepaalde C-gehaltes werd voor Zegveld perceel 3 een nagenoeg constante C/N-verhouding gevonden van 18 à 19 over een diepte van 0 tot 115 cm -mv.

De C/N-verhouding is kleiner dan de gestelde grens van 20 à 40 en ligt voor N-rijke laagvenen op een normale waarde (gemiddeld 20). Gezien de N-rijkheid van dit veen mag op grond hiervan geen reductie van de afbraak door N-gebrek verwacht worden en zal er zelfs N vrij komen bij de afbraak hiervan (zie 5.8).

Nu lijkt de afbraak van de organische stof voornamelijk bepaald te worden door de wateroplosbare fractie welke slechts 3 tot 15% van de totale organische stof bedraagt. Nu bevat deze fractie ook enkele

aminozuren en is daardoor zeker niet N-loos.

Verder zal een groot deel van de N in het residu zitten in de vorm van proteïnen welke eveneens gemakkelijk afgebroken worden. Gezien deze twee feiten en het gegeven dat het veen in zijn totaliteit N-rijk is, mag niet verwacht worden, dat het N-niveau voor oxydatie snelheidsbepalend zal zijn.

#### 5.8. N - l e v e r a n t i e b i j a f b r a a k b i j g e g e v e n C/N-v e r h o u d i n g

Zoals uit de inventarisatie bleek, heeft verlaging van het sloot-peil een meeropbrengst tot gevolg door een extra N-leverantie van de bodem. Dit gegeven versterkt nog eens de bewering, dat N niet beperkend is voor afbraak van het veen op Zegveld.

Hoe kan deze N-leverantie berekend worden:

Er wordt uitgegaan van de volgende gegevens: (o.a. ALLISON, 1973, blz. 111):

- \* bekende produktie aan  $\text{CO}_2$  per dag A mg C/dag
- \* de C/N-verhouding van het substraat is zoals bepaald
- \* van de afgebroken C wordt 60% als  $\text{CO}_2$  vrijgegeven en circa 20% ingebouwd (+ 20% omgezet in andere stoffen)
- \* de C/N-verhouding van micro-organismen is 8.

De produktie aan N bedraagt dan:  $10/6 \times 1/(C/N) \times A$

De consumptie door micro-organismen is:  $2/6 \times 1/8 \times A$

Het verschil geeft de produktie weer van N.

In tabel 21 wordt deze produktie gegeven in mg N/pot en kg N/ha per jaar, berekend uit de  $\text{CO}_2$ -produktie gemeten aan de veenmonsters.

Tabel 21. N-leverantie bij aerobe afbraak van het veen in relatie tot de diepte per jaar

| Diepte   | 0-16 | 15-31 | 21-37 | 43-59 | 63-79 | 79-95 |
|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| mg N/pot | 564  | 414   | 255   | 238   | 489   | 289   |
| kg N/ha  | 310  | 230   | 140   | 130   | 270   | 160   |

Deze waarden leveren een te verwachten N-leverantie van ongeveer 700 kg N/ha jaar. Volgens SCHOTHORST (1978) werd een extra N-opname op veengronden ten opzichte van zandgronden van 240 kg/ha gevonden, wat bij een opname-percentages van 50% neerkomt op een produktie aan extra N van 500 kg N/ha.

Ondanks de vele aannames in beide gevallen waarin grote variaties kunnen voorkomen, toch een aardige overeenkomst, hetgeen een indicatie zou kunnen zijn, dat de C/N-verhouding van de afgebroken fractie van de organische stof ook ongeveer 20 bedraagt.

#### 5.9. C o n c l u s i e s e n p u n t e n v o o r v e r d e r o n d e r z o e k

Evenals voorheen kan op grond van de bepaalde samenstelling weer geconcludeerd worden, dat de organische stof van het veen op Zegveld niet gevoelig is voor afbraak en zelfs voornamelijk is samengesteld uit de resistente fractie van organische stof.

De afbraaksnelheid lijkt voornamelijk bepaald te worden door de wateroplosbare fractie en het N-niveau van dit N-rijke veen ( $C/N = 19$ ) is zeer waarschijnlijk geen beperkende factor.

Opvallend is, dat de meest resistente laag zich bevindt op circa 40 - 50 cm en dat deze resistentie naar beneden toe afneemt. Op grond hiervan mag verwacht worden, dat bij aeroob houden van diepere lagen de afbraaksnelheid verder af zal nemen. Tevens mag op grond hiervan verwacht worden, dat wanneer een profiel met een hoog slootpeil ontwaterd wordt, de oxydatiesnelheid in eerste instantie (een paar jaar) hoger zal zijn, maar wel af zal nemen in de tijd, evenals verwacht mag worden, dat dit geldt voor de monsters op grotere diepte waaraan gemeten is. Het is niet onmogelijk, dat het hoge gehalte aan wateroplosbare delen, een gevolg is van een produktie hiervan onder anaerobe omstandigheden, terwijl met opstijgend grondwater gemakkelijk oxydeerbare produkten misschien in de aerobe zone worden gebracht. Verder zal ook uitspoelen van deze stoffen een rol kunnen spelen. Dit zou afname in oxydatiesnelheid kunnen versterken.

Al met al is het nog niet mogelijk om de samenstelling om te zetten in een oxydatiesnelheid om dat te veel factoren hierbij een rol spelen. Metingen aan andere profielen gecombineerd met de bepaling van de samenstelling kunnen hierin mogelijk meer inzicht geven.



Met name bemonstering van een profiel met een hoog slootpeil is hierbij interessant omdat mogelijkwerijs hieruit een verschil in samenstelling te vinden is (meer gemakkelijk afbreekbare delen) en eveneens een verandering hiervan door ontwatering gevonden wordt.

Wat betreft het N-niveau in de grond mag niet zonder meer het C/N-getal gebruikt worden van de organische stof, maar zou misschien beter de C/N-verhouding in de wateroplosbare fractie gebruikt kunnen worden, welke voornamelijk voor de afbraak lijkt te zorgen.

Naast dit alles zou dan eveneens bekeken kunnen worden of er verschillen zijn in samenstelling (naast pH en N-niveau) tussen de laagvenen in het westen en de hoogvenen in het noorden, welke in geringere mate oxyderen.

## 6. CONCLUSIES

De variaties welke optreden tengevolge van oxydatie zijn groot. Wat betreft klimaat en landgebruik zijn de veengronden in ons land vrij goed beschermd tegen oxydatie. Toch bedragen de zakkingen, welke het gevolg zijn van deze oxydatie, nog 1 tot 7 mm per jaar. De grootste verschillen worden gevonden tussen de venen in het noorden van ons land (1 mm/jaar) en die in het westen (3-7 mm/jaar), een verschil wat vermoedelijk voornamelijk komt doordat de venen in het noorden N-arm en zuur zijn, dit in tegenstelling tot de westelijke veenweidegebieden. De verschillen in de westelijke veenweidegebieden lijken voornamelijk veroorzaakt te worden door de grondwaterstand en het al dan niet aanwezig zijn van een kleidek of toemaakdek.

Metingen aan ongestoorde monsters zeggegeven op verschillende dieptes gaven een minimale afbraaksnelheid te zien op circa 40 cm -mv en een sterke toename in de ondergrond bij een perceel met een slootpeil van 70 cm. De relatieve afbraaksnelheid (30°C) varieert van 0,04 - 0,13 g g<sup>-1</sup>.jaar<sup>-1</sup>, hetgeen als laag beschouwd mag worden. Hierbij was noch het N-niveau (C/N=19) noch het vochtgehalte (zuigspanning 30-100 cm H<sub>2</sub>O) belemmerend en was de pH-H<sub>2</sub>O 4 à 5. De invloed die de temperatuur heeft op de oxydatie is groot. Gemiddeld wordt een Q<sub>10</sub> waarde gevonden van 2,1 maar deze lijkt met de diepte toe te nemen.

In de ondergrond wordt geen constante verhouding voor  $O_2$ -consumptie/ $CO_2$ -produktie gevonden en het is onduidelijk of de afbraak beter door de  $CO_2$ -produktie dan wel door de  $O_2$  consumptie weergegeven wordt.

Kijken naar de chemische samenstelling van de organische stof geeft te zien, dat het veen ook bij deze indeling als resistent gezien moet worden. Verder blijkt, dat de afbraaksnelheid voornamelijk bepaald wordt door een kleine fractie van de organische stof. De C/N-verhouding van het veen als totaal is niet van belang omdat slechts een kleine fractie de snelheid bepaalt met mogelijk een andere C/N-verhouding.

Veen wat onder het grondwater vandaan komt, wordt aeroob sneller afgebroken dan het veen in hogere lagen waarvan al een deel door oxidatie is verdwenen.

Op grond hiervan mag verwacht worden, dat direct na ontwatering van veengrond het verlies tengevolge van oxydatie hoger zal zijn dan enkele jaren later. Wanneer de oxydatie-metingen verricht zouden zijn aan monsters uit een perceel met een hoog slootpeil, dan zou de oxydatie vermoedelijk reeds op geringere diepte groter zijn geweest. Mogelijk worden in lagen die wisselend aeroob en anearoob zijn in de anearobe periode stoffen ontsloten die weer sneller oxideerbaar zijn.

Vergeleken met organische stof in andere bodems behoort het onderzochte veen als geheel tot de zeer langzaam afbreekbare stoffen. Het zal derhalve niet eenvoudig zijn de oxidatiesnelheid nog verder omlaag te brengen anders dan door het verlagen van zuurstoftoevoer.

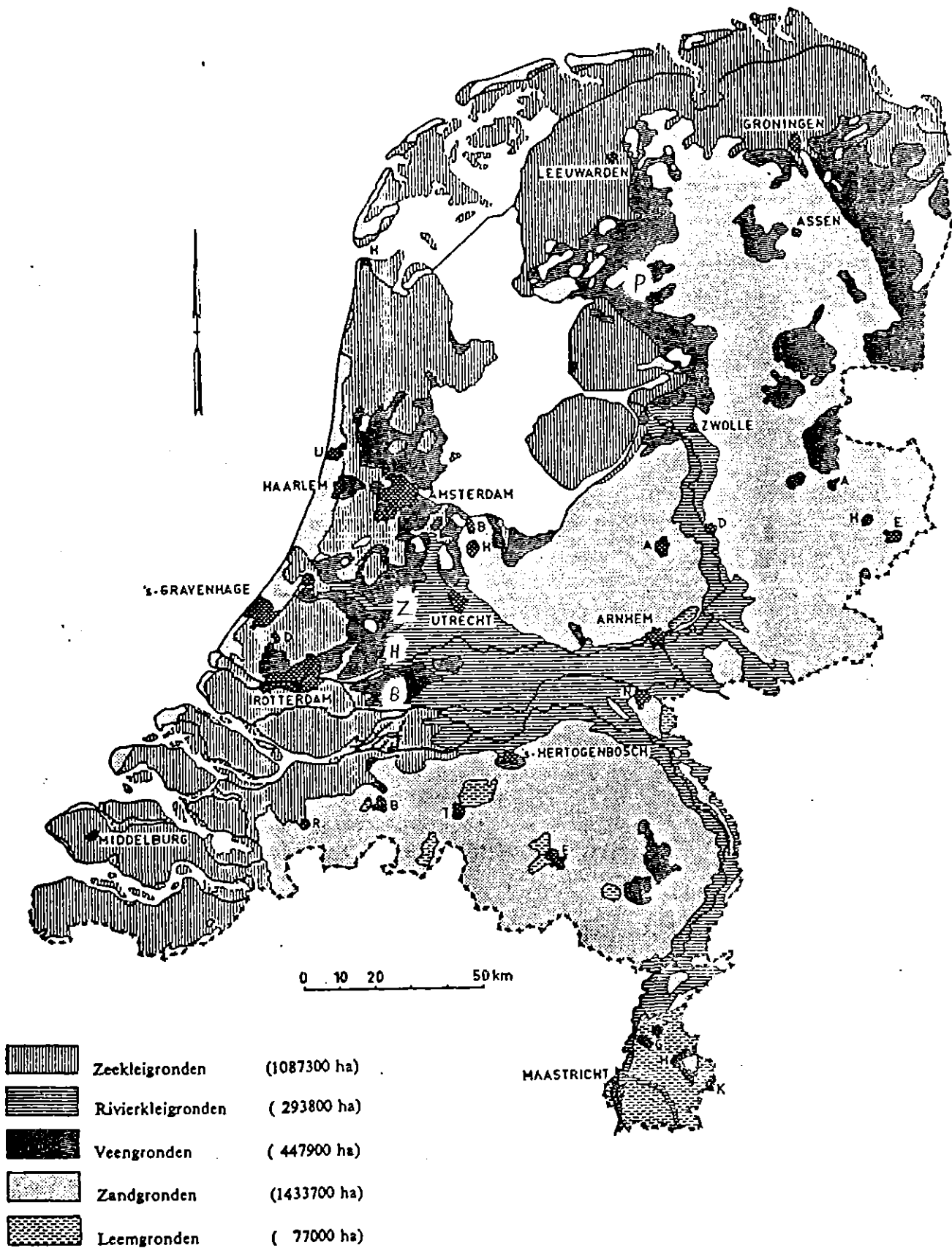
## 7. LITERATUUR

- ALLISON, F.E., 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Developments in soil science no.3, Amsterdam. Elsevier
- BEAR, F.A., 1955. Chemistry of the soil. p 75 ed. by F.A. Bear, New York 1955
- BORGER, G.J., 1975. De veenhoop, een historisch geografische studie van West Friesland. Diss. Buyten en Schippersheim, Amsterdam
- CAMPBELL, J.A. en MILLETTE, J.A., 1981. Subsidence of organic soils in Eastern Canada. Techn. Bull. 13
- EGGELSMAN, R., 1976. Peat consumption under influence of climate, soil condition and utilization. 5th intern. peat congress Vol. I
- EPSTEIN, E. and KOHNKE, H., 1956. Soil aeration as affected by organic matter application. Soil Science Society Proc. 1957 p.585-588
- FOKKENS, B., 1970. Berekening van de samendrukking van veenlagen uit het gehalte aan organic matter en water. Bouw en waterkunde 3. 27 maart 1970
- FRASER, G.K., 1955. Soil organic matter. Chemistry of the soil. H5. ed. F.A. Bear, New York 1955
- GREENLAND, 1965. Interaction between clays and organic compounds in soils. Soils and Fertilizers Vol. XXVIII
- HETTINGA, D. en SCHOTHORST, C.J., 1976. Verbetering van veen bij gebruik als bouwland (archief ICW)
- KUNTZE, H., 1976. Soil conservation on cultivated Peatlands. 5th. Intern. peat congress Vol. I
- LUTEN, W., . Grasopbrengsten na cultuurtechnische ingrepen in grasland (archief ICW)
- MATHUR, P., 1981. Organic soil subsidence: A scan of conventional wisdom and current research (archief ICW)
- MATHUR, S.P. and M.P. LEVESQUE, 1982. The effects of using copper for mitigating histosol subsidence I: The yield and nutrition of oats and lettuce grown on histosols, mineral sublayers and their mixtures. Soil Science Vol. 135 no. 2
- \_\_\_\_\_ and M.P. LEVESQUE, 1982. The effects of using copper for mitigating histosol subsidence II. The distribution of Cu, Mn, Zn and Fe in an organic soil, mineral sublayers and their mixtures in the context of setting a threshold of phytotoxic soil-Cu. Soil Science Vol. 135. no.3

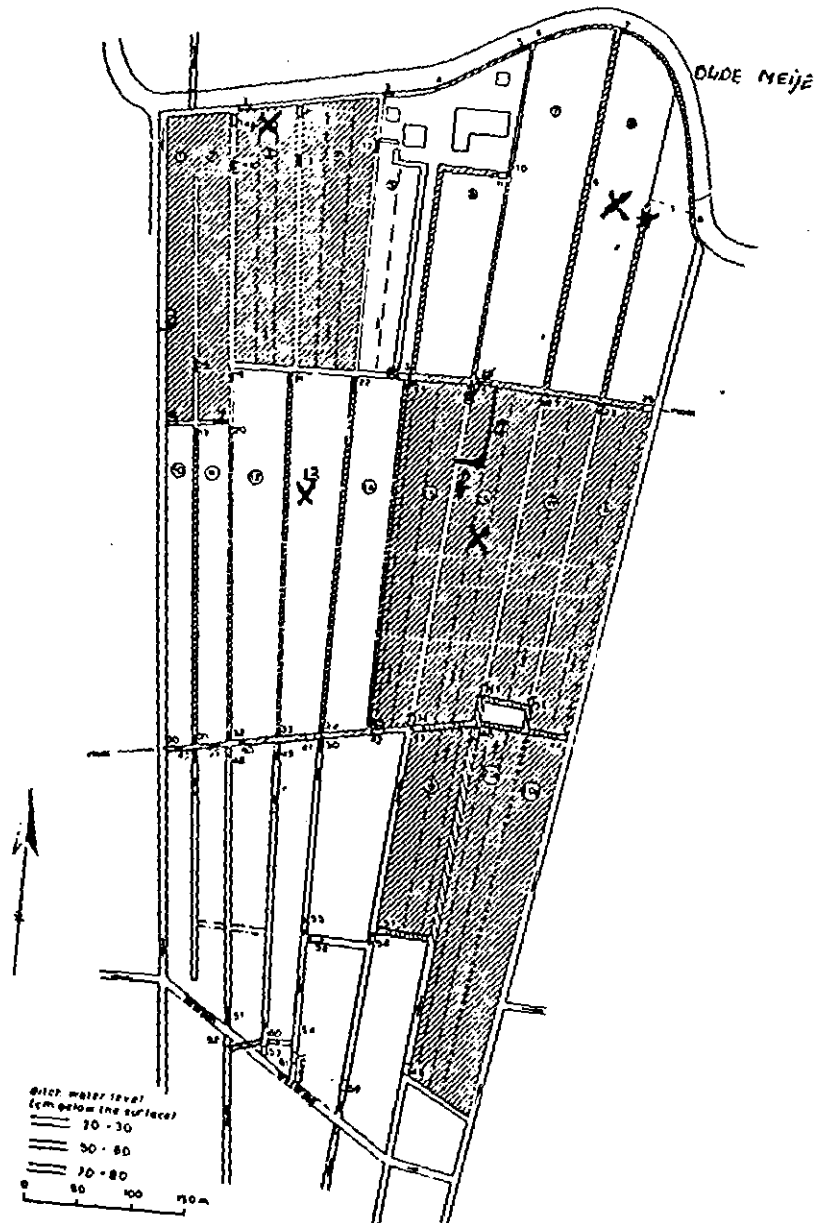
- McLAREN, A.D. and E.A. PAUL, 1978. Soil Biochemistry Vol. 4 ed. Paul and Mc. Laren. New York, Dekker 1967-1981 5 Vol.
- \_\_\_\_\_ and Peterson, 1967. Soil Biochemistry. Vol. 1 ed. McLaren and Peterson. New York, Dekker 1967-1981 5 Vol.
- NELLER, J.R., 1944. Oxidation loss of low moor peat in fields with different watertables. Soil Sci. 58. p.195-204
- SCHOTHORST, C.J., . Klink van veengronden na diepere ontwatering (archief ICW)
- \_\_\_\_\_ 1967. Bepaling van de componenten van de zakking na grondwaterstands-daling. Landb. Tijdschr. 79, 11, 1967
- \_\_\_\_\_ 1971. Zakking van het maaiveld in het Zegveldderbroek. ICW-nota 604
- \_\_\_\_\_ 1977. Subsidence of low moor peat soils in the western Netherlands. Geoderma 17. p.265-291
- \_\_\_\_\_ 1977. Zakkingsproces bij ontwatering van veenweidegronden. (archief ICW, n.a.v. de 198e vergadering onderzoekingenieurs op 15-4-1977)
- \_\_\_\_\_ 1978. Het zakkingsproces van de westelijke veenweidegronden. Landbouwk. Tijdschr. 90, 6
- \_\_\_\_\_ 1978. Zakking van maaiveld bij uitvoering van cultuurtechnische werken (archief ICW)
- \_\_\_\_\_ 1979. Maaiveldsdaling door peilverlaging in het westelijk veenweidegebied. Waterschapsbelangen 64, 7
- \_\_\_\_\_ 1980. Subsidence of peat soils. Techn. bull. 117. p.159-164
- \_\_\_\_\_ 1980. De voorjaarsproduktie en het effect van ontwatering in diverse veenweidegebieden. ICW nota 1233
- \_\_\_\_\_ 1980. Verbetering bodemprofiel klei op veengrond door vermenging gruislaag met zware kleilaag. ICW nota 1225
- \_\_\_\_\_ 1982. Drainage and behaviour of peat soils ICW report 3. International Institute for Land Reclamation and Improvement. publ. no. 30
- \_\_\_\_\_ 1982. Veenweidegronden. Jaarverslag ICW 1982. blz. 57-61
- STEPHENS, J.C. and ALLEN, . Organic Soil Subsidence (archief ICW)
- \_\_\_\_\_ and W.H. SPEIR, 1969. Subsidence of organic soils in the USA. Assn. Intern. of Hydro. Sci. Colloque de Tokyo. Publ. 89
- \_\_\_\_\_ 1974. Subsidence of organic soils in the Florida Everglades. A review and update memoir 2: 'Environments of South Florida: Present and Past'

- STEPHENS, J.C. and E.H. STEWART, 1976. Effect of climate on organic soil subsidence. Agricultural research service, USDA. Proc. of the second international symposium on land subsidence (Anaheim, California, 1976)
- STEVENSON, I.L., 1964. Biochemistry of the soil. Chemistry of the soil 2nd ed. by F.A. Bear. New York, 1964
- STEVENSON, F.J., 1982. Humus chemistry: genesis, composition, reactions, ed Stevenson, New York
- VOLK, B.C., 1973. CO<sub>2</sub> evolution as affected by soiltype, temperature and moisture. Soil and crop science. Proc. vol. 32
- WAKSMAN, S.A., . Soil science 24. blz. 275-283
- \_\_\_\_\_ 1938. Soil science 26. blz. 113-137
- \_\_\_\_\_ 1952. Soil microbiology. New York. Wiley

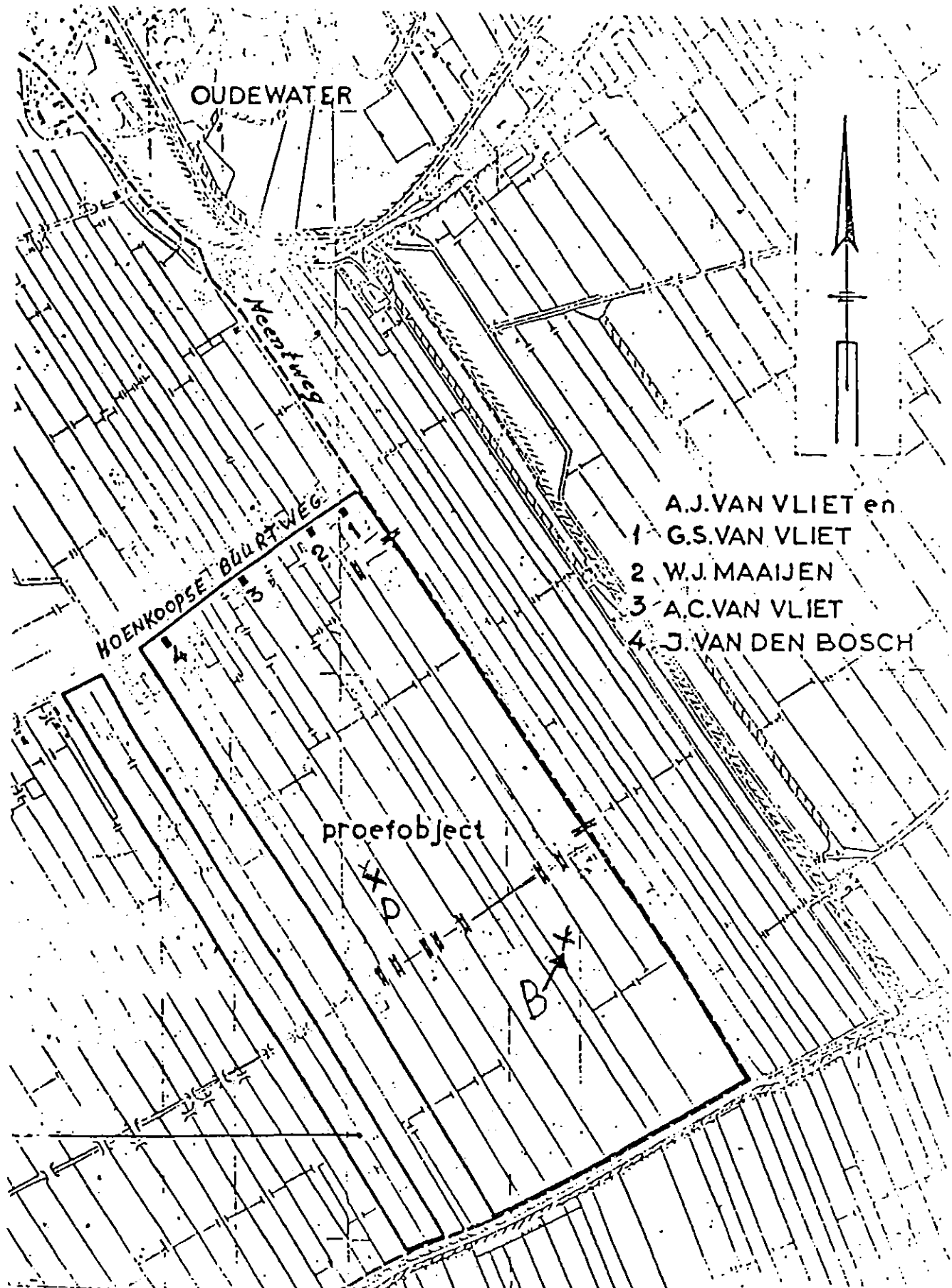
BIJLAGE 1: Ligging Zegveld(Z);Hoenkoop(H);Bleskensgraaf(B)  
en Paaslo(P).



BIJLAGE 2: Ligging van de percelen op Zegveld



BIJLAGE 3: Ligging van de percelen op Hoenkoop





BIJLAGE 4: Ligging van de percelen op Bleskensgraaf

