

# TOEGEPAST BODEMKUNDIG ONDERZOEK IN GEBIEDEN MET ACTUEEL EN POTENTIEEL ZURE SULFAATHOUDENDE GRONDEN<sup>1)</sup>

*Detailed soil survey and its application in areas with actual and potential acid  
sulphate soils in the Netherlands*

**G. J. W. Westerveld en A. F. van Holst<sup>2)</sup>**

## 1. INLEIDING

De aanwezigheid van gebieden met actueel of potentieel zure sulfaathoudende gronden en -ondergronden is in ons land reeds lang bekend en beschreven. Deze studies betreffen in hoofdzaak de zgn. kатteklei, die wordt aangetroffen in de droogmakerijen van West-Nederland (zie artikel Van Wallenburg in deze Boor en Spade).

De term 'kатteklei' wordt in verband gebracht met de uitwerpselen van katten; de naam is een soort algemene 'scheldnaam' geworden voor allerlei zeer slechte gronden (Van Beers, 1962). In dit verband worden onder actuele kатteklei kleihoudende gronden verstaan met een sterk zure horizont gekenmerkt door jarosietvlekken. Deze actuele kатteklei ontstaat bij oxydatie van oorspronkelijk volledig gereduceerde klei- of venige kleilagen van holocene mariene herkomst. De gereduceerde klei- of venige lagen waarin veel sulfiden zijn opgehoopt, worden aangeduid als potentiële kатteklei.

De laatste jaren zijn ook sulfaathoudende zure gronden aangetroffen en beschreven in pleistocene zandgebieden. Dit betrof hydromorfe zandgronden, veengronden en venige gronden met een pleistocene zandondergrond. Deze gronden worden aangeduid als 'kатtezand' en 'katerveen' naar analogie van 'kатteklei' (Van den Hurk en Westerveld, 1968; Wind en Steeghs, 1964). De sulfiden in dit 'kатtezand' en 'katerveen' bestaan in hoofdzaak uit pyriet ( $\text{FeS}_2$ ) en zijn gevormd door omzetting van sulfaten onder gereduceerde omstandigheden. De sulfaten zijn waarschijnlijk afkomstig uit in de omgeving voorkomende tertiaire mariene klei-afzettingen en zijn via het grondwater verplaatst.

De meeste zure sulfaathoudende gronden, zowel in het holocene als in het pleistocene gebied, zijn nat en hebben een weinig draagkrachtige bovengrond. Ze zijn overwegend in gebruik als grasland en hebben beperkte

<sup>1)</sup> Dit is een aan Boor en Spade aangepaste Nederlandse versie van een bijdrage aan het International Symposium on Acid Sulphate Soils, dat van 13 tot 20 augustus 1972 in Wageningen werd gehouden. De Engelse versie is opgenomen in: *Dost, H. (editor), 1973: Acid Sulphate Soils. Proceedings of the International Symposium 13-20 August 1972 Wageningen. ILRI publ. 18, vol. II.*

<sup>2)</sup> Stichting voor Bodemkartering, Afd. Opdrachten

N.B. Aan Dr. Ir. A. Breeuwsma wordt dank gebracht voor zijn kritische kanttekeningen bij het manuscript.

gebruiksmogelijkheden. Er zijn veel grondverbeteringen toegepast met het doel de land- en tuinbouwkundige gebruikswaarde te verhogen (Voetberg, 1969). De laatste tijd worden deze gronden in toenemende mate voor niet-agrarisch gebruik bestemd, zoals recreatie en stadsuitbreiding. Deze bestemmingen vragen in vele gevallen een zeer ingrijpende bodemverbetering tot grote diepte. Soms zijn aan de plaatselijke verschillen in bodemgesteldheid aangepaste voorzieningen noodzakelijk vanwege de extreme chemische eigenschappen van het sulfaathoudende bodemmateriaal (zie artikel Van Holst en Westerveld in deze Boor en Spade). In dit verband is de aanwezigheid van kalkrijk materiaal in de boven- of ondergrond van wezenlijke betekenis.

In Nederland komen de zure sulfaathoudende gronden en die met een pyriethoudende of kalkrijke ondergrond in een grillig patroon voor en wisselen sterk in samenstelling. Daarom moeten de adviezen voor grondverbetering gebaseerd worden op gedetailleerd bodemkundig veld- en laboratoriumonderzoek.

In dit artikel wordt nader ingegaan op de methodiek van een dergelijk onderzoek. Ook wordt een beschrijving gegeven van enkele praktijkvoorbeelden, die ontleend zijn aan onderzoekprojecten die in opdracht van derden zijn uitgevoerd en waarvan de resultaten in rapporten en op kaarten zijn vastgelegd. (Van den Hurk en Westerveld, 1968; Makken en Van den Hurk, 1968; Zegers en Bles, 1969; Zegers en Van het Loo, 1969).

## 2. ONDERZOEKSMETHODIEK IN GEBIEDEN MET ZURE SULFAATHOUDENDE GRONDEN

### BORINGSDICHTHEID EN KAARTSCHAAL

Het bodemkundig onderzoek moet voldoende specifieke bodemkundige gegevens verschaffen om een programma van bodemverbeteringsmaatregelen te kunnen opstellen. De gedetailleerdheid van het onderzoek wordt zowel bepaald door de bodemgesteldheid als door de toekomstige bestemming.

In de meeste gebieden met zure gronden wordt de bodemgesteldheid gekenmerkt door grote verschillen op korte afstand zowel in horizontale verbreiding als verticale opbouw. Op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50000, worden slechts globale aanwijzingen gegeven over het voorkomen van kateklei. In gebieden met een vrij homogene bodemgesteldheid zijn voor een voldoende nauwkeurige afgrenzing van gronden met kateklei-verschijnselen kaartschalen vereist van 1:25000 tot 1:10000, terwijl voor bodemkundig heterogene gebieden een kaartschaal tot 1:500 noodzakelijk kan zijn. De bijbehorende boringsdichtheid varieert van 1 per 2 à 4 ha (schaal 1:25000) tot 25 à 40 per ha (schaal 1:500).

Teneinde de juiste verbeteringsmaatregelen te kunnen adviseren, is het

noodzakelijk de aard en de verbreiding van de zure, de potentieel zure en de niet-zure bodemlagen, gedetailleerd te kennen tot in de diepere ondergrond. Voor bepaalde doeleinden kan de boordiepte zelfs 5 à 8 m bedragen. Naast het vaststellen van de morfologische kenmerken van de bodemlagen moeten ook kwantitatieve bepalingen verricht worden van de chemische en fysische eigenschappen die van invloed kunnen zijn op het resultaat van de grondverbetering. De bepaling van zowel de potentiële zuurgraad van sulfidenrijk materiaal als van het neutraliserend vermogen van kalkhoudende lagen, vereisen een hoeveelheid laboratoriumonderzoek die ver uitgaat boven hetgeen bij bodemkundig onderzoek in gebieden zonder zure gronden als normaal beschouwd wordt.

De in het terrein verzamelde gegevens worden behalve op een bodemkaart (fig. 1) weergegeven op één of meer afgeleide kaarten. Hierop worden per boring en/of in kaartvlakken de aard en de diepte van de profiellagen vermeld (fig. 4). Op verticale doorsneden wordt de stratigrafische samenhang in beeld gebracht (fig. 3).

In het volgende zullen de specifieke morfologische en chemische criteria die bij het bodemkundig onderzoek van zure gronden gebruikt worden, nader worden besproken.

#### KENMERKEN VAN ZUUR EN POTENTIEEL ZUUR SULFAATHOUDEND BODEMMATERIAAL

Behalve op de landschappelijke ligging en de profielopbouw wordt de herkenning van dit bodemmateriaal in het veld gebaseerd op de aanwezigheid van karakteristieke kleurvlekken, op textuur en op consistentie. Verder op kwantitatieve bepalingen van sulfiden- en koolzure-kalkgehalten en op de zuurgraad.

We noemen hier de belangrijkste kenmerken die in dit soort bodemmateriaal worden aangetroffen.

*Actuele kattenklei* vertoont geelachtig gekleurde jarosietvlekken in de Cg-horizont, bij voorkeur in combinatie met rietresten. Het materiaal is kalkloos en sterk zuur.

*Potentiële kattenklei* komt alleen onder gereduceerde omstandigheden voor. Het heeft de grijze matrixkleur van de normale gereduceerde mariene klei, maar bovendien zwarte vlekken in samenhang met half-verteerde planten- en wortelresten. Het materiaal is slap en bevat meestal meer dan 30-35% lutum. Potentiële kattenklei is in het veld moeilijk te identificeren. Na oxydatie vertoont deze klei dezelfde gele vlekken als actuele kattenklei. Potentiële kattenklei kan kalkloos zijn, maar hij kan ook 6 à 7% koolzure kalk bevatten. In het laatste geval is er na oxydatie een overmaat aan sulfaationen ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) aanwezig.

*Katerveen* wordt meestal aangetroffen in kleiarm zeggeveen en in kleihoudend

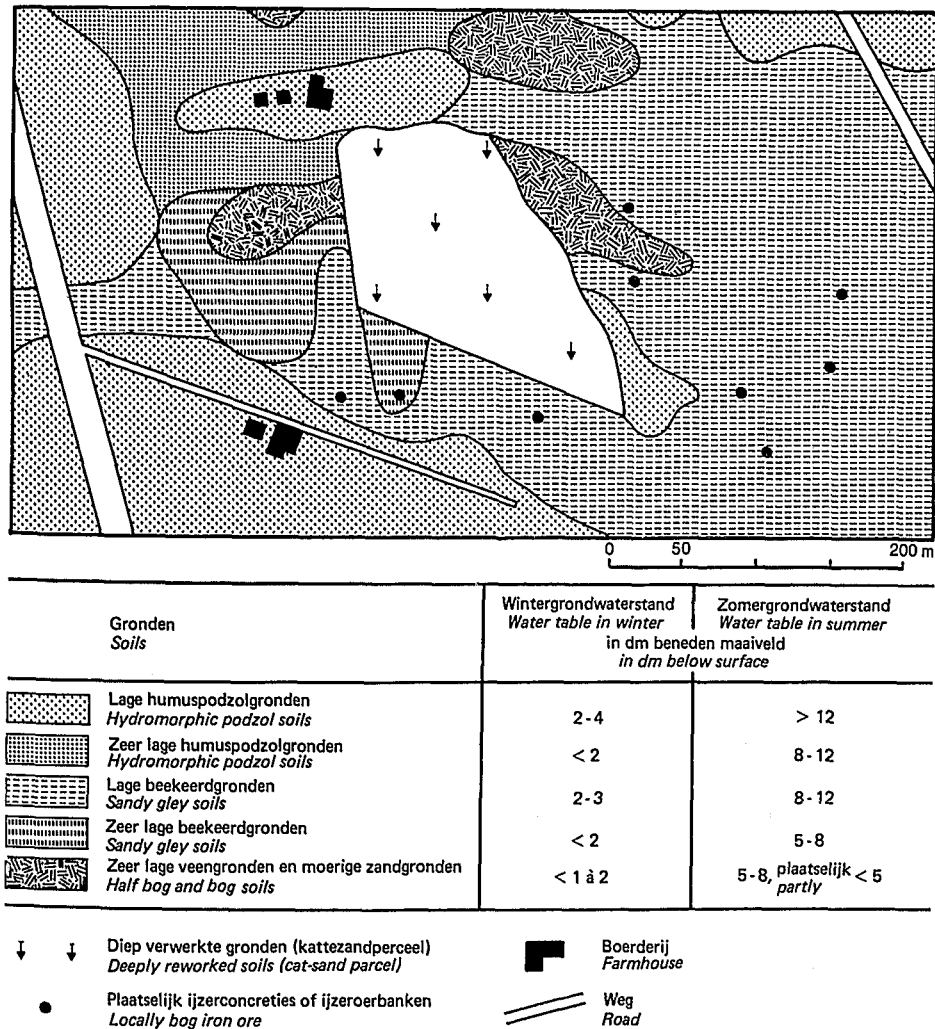


Fig. 1. Gedetailleerde bodemkaart van het gebied Ootmarsum (Opname: A. Buitenhuis).  
Fig. 1. Detailed soil map of the Ootmarsum area (Survey by A. Buitenhuis).

riet(zegge)veen. Onder gereduceerde omstandigheden is het bruin tot bruin-geel; de ophoping van sulfiden blijkt uit blauwzwarte vlekken of lagen. Ook de aanwezigheid van actuele en potentiële kattekleilagen in of direct boven het veen vormt een aanwijzing voor sulfiden in het veen (Van den Hurk en Westerveld, 1968).

*Kattezand* is onder gereduceerde omstandigheden herkenbaar aan blauwzwarte vlekken in de omgeving van organische-stofophopingen; soms aan homogeen verspreide zwarte spikkels in een bepaalde laag (Poelman, 1968).

Kattezand wordt meestal aangetroffen in natte zandgronden met een sterk humeuze tot venige bovenlaag of onder dunne veenlagen.

Zowel het katterveen als het kattezand bevatten geen koolzure kalk en zijn na oxydatie visueel moeilijk herkenbaar. De beschreven kenmerken gelden dan ook in feite alleen voor potentieel zure veen- en zandlagen.

#### AANVULLENDE VELD- EN LABORATORIUMBEPALINGEN

Bovengenoemde kenmerken vormen kwalitatieve aanwijzingen en zijn vaak, vooral in potentiële kатteklei, niet duidelijk. Daarom zijn aanvullende schattingen en bepalingen noodzakelijk. Als belangrijkste kunnen worden genoemd:

- Schattingen van de rijpingsklasse, het organische-stof-, lutum- en koolzure-kalkgehalte. Ter controle op deze schattingen worden een aantal standaard-laboratoriumbepalingen verricht.
- Bepaling van het volumegewicht en het poriënvolume, o.a. van belang bij de vaststelling van de rijpingsfactor (n-cijfer) (Pons en Zonneveld, 1965).
- Behandeling met de sulfidendetector natriumazide; opbruising duidt op de aanwezigheid van sulfiden (Pons, 1970).
- Semi-kwantitatief onderzoek naar sulfaten en sulfiden met behulp van de Poelman-test. Na oxydatie met waterstofperoxyde ( $H_2O_2$ ) en toevoeging van bariumchloride ( $BaCl_2$ ) ontstaat bij aanwezigheid van sulfaten en sulfiden een neerslag van colloïdaal bariumsulfaat ( $BaSO_4$ ). De optredende troebeling wordt visueel vergeleken met een standaardreeks (zie artikel van Poelman over pyrietrijke gronden, in deze Boor en Spade).
- Bepaling van de zuurgraad (pH) aan gereduceerd bodemmateriaal voor én na oxydatie door blootstelling aan de lucht of door behandeling met  $H_2O_2$ . Een sterke daling van de pH duidt op de vorming van relatief veel zwavelzuur ( $H_2SO_4$ ). De pH-bepaling en de Poelman-test worden ook aan het grond- en drainwater gedaan.
- Bepaling van de hoeveelheid water-oplosbaar sulfaat en van het totaal-sulfaatgehalte. Laatstgenoemde waarde wordt verkregen na volledige oxydatie van de sulfiden met een 3:1-mengsel van geconcentreerd  $HNO_3$ - $HCl^3$ ). Van dit bodemextract wordt de totale hoeveelheid calciumionen ( $Ca^{2+}$ ) bepaald of bij benadering berekend uit het koolzure-kalkgehalte. De kwantitatieve verhouding tussen de totale hoeveelheden  $Ca^{2+}$  en  $SO_4^{2-}$  wordt gebruikt als een parameter voor de mate van verzuring die verwacht mag worden na volledige oxydatie van het gereduceerde materiaal.

<sup>3)</sup> Bepalingsmethodiek van het Laboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek te Oosterbeek.

Indien een overmaat van 50 mequiv.  $\text{Ca}^{2+}$  per 100 gr. grond aanwezig is, zal de pH waarschijnlijk niet beneden 5 dalen en is er geen verzuring te verwachten (Van Beers, 1962; Bennema, 1953; Pons, 1956).

In bodemmateriaal dat onder gereduceerde omstandigheden een equivalent verhouding  $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-} < 1$  heeft, zal na oxydatie verzuring optreden.

### 3. PRAKTIJKVOORBEELDEN VAN (GEDETAILLEERD) BODEMKUNDIG ONDERZOEK IN ZURE SULFAATHOUDENDE GRONDEN

#### ALGEMEEN

In ons land zijn veel bodemkundige onderzoeken voor opdrachtgevers uitgevoerd in gebieden met actueel en potentieel zure sulfaathoudende gronden. Met het oog op de grote variatie in de gedetailleerdheid van dergelijke onderzoeken, afhankelijk van het doel waarvoor ze werden uitgevoerd, zijn hieruit twee voorbeelden gekozen. Het eerste heeft betrekking op natte zand- en veengronden bij Ootmarsum en Tubbergen waar verbetering van de slechte graslanden het hoofdprobleem is. In het tweede voorbeeld gaat het om een onderzoek van venige gronden in droogmakerijen bij Delft, waarvan gedeelten verbeterd moeten worden om ze geschikt te maken voor recreatieve doeleinden.

Beide gebieden zijn aangegeven op figuur 1 van het artikel van Van Holst en Westerveld in deze Boor en Spade. Dat artikel geeft nog een voorbeeld van gedetailleerd bodemkundig onderzoek in actueel en potentieel zure gronden.

#### DE GEBIEDEN OOTMARSUM EN TUBBERGEN

Dit betreft een reliëfrijk pleistoceen zandgebied met stuwwallen en erosiedalen waarin zich veen heeft gevormd.

De bodem bestaat overwegend uit vochtige en natte, matig fijnzandige dekzandgronden met een podzolprofiel. In de dalen komen natte zandgronden zonder podzolprofiel voor, met een sterk humeuze tot venige bovengrond, naast veengronden met een zandondergrond binnen 1,20 m —mv. In de stuwwallen worden tertiaire mariene klei en grof, grindhoudend zand aangetroffen. Dit zand zet zich voort in de ondergrond van de erosiedalen. Alle gronden en ondergronden zijn kalkloos.

Een groot deel van deze (grasland)gronden, met name in de dalen, is zeer slecht ontwaterd en heeft een weinig draagkrachtige bovengrond. De gebruiksmogelijkheden voor grasland zijn beperkt. De wateroverlast wordt in hoofdzaak veroorzaakt door kwelwater dat via de grofzandige ondergrond vanuit de stuwwallen wordt aangevoerd.

In het gebied Ootmarsum is een tiental jaren geleden op een slecht ontwaterd graslandperceel met een venige bovengrond een poging tot verbe-

TABEL 1. Analysegegevens van enkele actuele en potentiële katezand- en kateveengronden in het gebied Ootmarsum (naar Wind en Steeghs, 1964)

TABLE 1. Analytical data on some actual and potential cat-sand and cat-peat soils in the Ootmarsum area (after Wind and Steeghs, 1964)

Monster-Sample	Diepte in cm Depth (in cm below surface)	Bodemmateriaal Soil material	pH-H <sub>2</sub> O		Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mequiv./100 g grond/soil)	Totaal sulfiden** Total sulphides (g/100 g grond/soil)
			vóór oxydatie (vochtig mon- ster) before oxidation (moist sample)	na oxydatie door 60 uur blootstellen aan de lucht after oxidation during 60 hours in air			
I	10-20	zandige bovengrond van verwerkte grond sandy topsoil in re- worked soil	4,6*	3,8	-	-	-
A1	90-180	zand/sand	-	-	4	19	0,76
A2	210-230	zand/sand	-	-	5	5	0,20
B1	90-180	zand/sand	-	-	2	33	1,32
B2	180-200	zand/sand	-	-	7	8	0,32
B3	220-250	zand/sand	-	-	6	2	0,08
C1	80-180	zand/sand	-	-	2	22	0,88
C2	230-250	zand/sand	-	-	5	4	0,16
Ia	30-45	klei met restveen clay containing peat	5,2	-	-	-	-
Ib	45-60	klei met restveen clay containing peat	5,3	-	-	-	-
Ic	70-100	zand/sand	6,0	-	-	-	-
IVa	15-50	klei met restveen clay containing peat	5,8	-	-	-	-
IVb	50-80	klei met restveen clay containing peat	5,5	-	-	-	-
IVc	80-100	zand/sand	6,1	-	-	-	-

\*) pH-KCl. Het monster is vier jaar na de grondverbetering genomen  
pH-KCl. The sample was taken four years after the soil improvement

\*\*) De totale hoeveelheid sulfiden is berekend uit de mequiv. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>  
The total amount of sulphides has been calculated from the mequiv. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

tering ondernomen d.m.v. grondwaterstandsverlaging in combinatie met bezanding. Daarbij is matig fijn dekzand uit de ondergrond in een 20 cm dikke laag op de bovengrond aangebracht. Hierop werd gras gezaaid, dat niet opkwam. Het bezandingsdek bleek zeer zuur te zijn (pH = 1,9). Na een braakperiode van twee jaar werd 10 ton kalk per ha toegediend. Het daarna ingezaaide gras sloeg behoorlijk aan, maar pleksgewijs bleef de groei sterk achter. Bodemkundig onderzoek (Wind en Steeghs, 1964) toonde aan dat het zand direct onder de zodelaag sterk zuur was (tabel 1, monster 1) en dat de zandondergrond een grote hoeveelheid sulfiden bevatte, hoofdzakelijk in de vorm van pyriet. Conclusie: Het perceel was bezand met zuur zand, vanaf die tijd aangeduid als 'kattezand'. In analogie werd het sterk zure veen aangeduid als 'katerveen'.

Een gedetailleerd onderzoek van bodem en grondwater (fig. 1, tabellen 1 en 2) gaf meer inzicht in aard en verbreiding van kattezand en katerveen. De pyrietconcentraties komen in uiteenlopende gronden in de erosiedalen voor. Ze worden vooral aangetroffen op de overgang van organische-stofop-hopingen naar het onderliggende zand. Dit patroon doet vermoeden dat het kwelwater vanuit de stuwwallen sulfaten uit de tertiaire mariene afzettingen meevoert naar de ondergrond van de erosiedalen. Daar worden de sulfaten onder natte omstandigheden gereduceerd tot sulfiden en geven aanleiding tot de vorming van kattezand en katerveen.

De in Ootmarsum opgedane ervaringen zijn gebruikt bij het in 1967-1968 uitgevoerde onderzoek in het ruilverkavelingsgebied Tubbergen. Hier kwamen soortgelijke weinig draagkrachtige natte graslandgronden voor als

TABEL. 2. Sulfaatgehalte van het grond- en putwater in actuele en potentiële kattezand- en katerveengronden in het gebied Ootmarsum. De monsterplekken vallen gedeeltelijk samen met die van de monsters uit tabel 1 (naar Wind en Steeghs, 1964)

TABLE 2. Sulphate content of groundwater and well water in actual and potential cat-sand and cat-peat soils of the Ootmarsum area. Partly the same sites as the samples from table 1 (after Wind and Steeghs, 1964)

Monster <i>Sample</i>	Diepte (in cm)-mv. <i>Depth in cm below surface</i>	Aard van het water <i>Type of water</i>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -mg/l
A	170	grondwater <i>groundwater</i>	146
B	165	grondwater <i>groundwater</i>	161
C	130	grondwater <i>groundwater</i>	218
D	130	putwater <i>well water</i>	92
E	200	putwater <i>well water</i>	282



in Ootmarsum. De uitvoerbaarheid van de gebruikelijke verbeteringsmaatregelen: grondwaterstandsverlaging, bezanding met uit de ondergrond opgeploegd zand en bekalking van de nieuwe bovengrond, werden onderzocht in verband met het voorkomen van kattezand en katerveen in deze gronden. Het aan de oppervlakte brengen van dit materiaal zal dezelfde gevolgen hebben als in Ootmarsum, tenzij door vermenging met niet zuur zand en bekalking een voldoende neutralisatie kan worden verkregen. Neutralisatie door bekalking alleen vraagt 10-35 ton kalk per hectare, hetgeen zeer kostbaar is en bovendien het probleem van de te geringe draagkracht van de bovengrond niet oplost.

In het gebied Tubbergen zijn de sulfidenrijke bodemlagen gekarteerd en bemonsterd (fig. 2, tabel 3). Onder gereduceerde omstandigheden waren de sulfidenophopingen visueel duidelijk herkenbaar. Hoewel de horizontale verbreiding onregelmatig was, bleken ze steeds hoger in het profiel te beginnen en dieper door te gaan naarmate de gronden natter waren. Dit betekent dat de natste gronden, die sterk verbeteringsbehoefstig zijn, het meest aan verzuring onderhevig zullen zijn na verbetering. Dit verband is aangegeven op de 'kattezandkaart' (fig. 2), waarin in 5 klassen de maximaal toegestane ploegdiepte is aangegeven. Deze is sterk afhankelijk van de begindiepte van de sulfidenrijke lagen.

De kaarteenheden 1 en 2 omvatten gronden waarin ploegen (zeer) riskant is. Bezanding met niet zuur zand dat van elders moet worden aangevoerd, is economisch niet verantwoord. Ploegen en een geleidelijke verbetering van de ontwatering blijft de enige verbeteringsmaatregel voor dit soort graslandgronden. Bekalking zal de neutralisatie versnellen, maar uitspoeling van de sulfaten door regenwater is veel goedkoper, al duurt het lang.

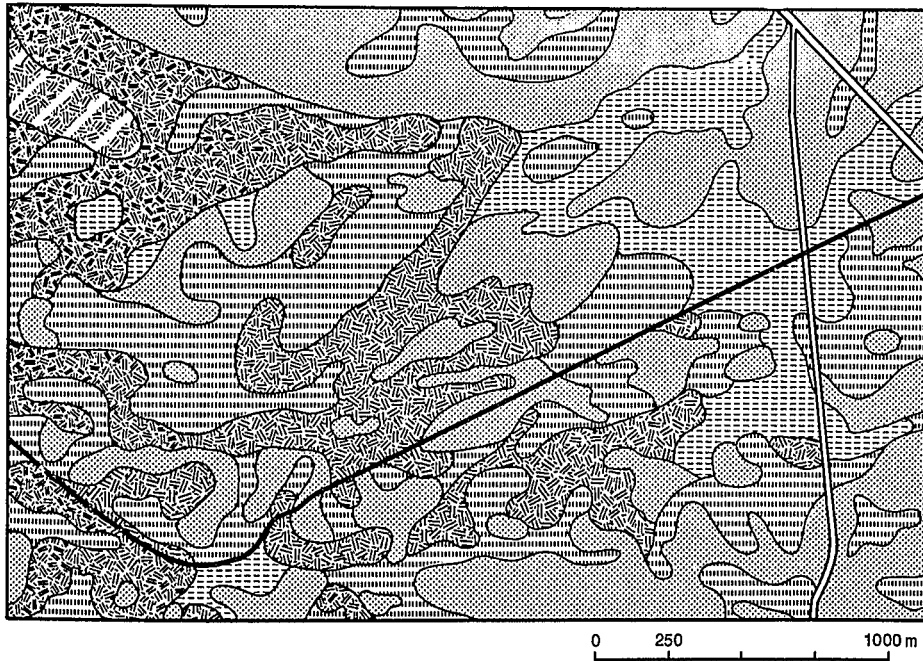
De kaarteenheden 3, 4 en 5 op de kattezandkaart omvatten gronden waarin de sulfiden bevattende lagen dieper in het profiel voorkomen en ploegen tot de aangegeven diepte in combinatie met een diepere ontwatering, goede verbeteringsmogelijkheden biedt.

De 'kattezandkaart' schaal 1:25 000, heeft een semi-gedetailleerd karakter en geeft globaal de mogelijkheden en risico's van diepploegen aan. Voor tot uitvoering wordt overgegaan, is meer gedetailleerde informatie nodig teneinde het gevaar van plaatselijk optredende verzuring nauwkeurig te kunnen aangeven en het maximale resultaat uit ontwatering en diepploegen te verkrijgen.

#### HET GEBIED DELFTSE HOUT

Dit gebied bij Delft is bestemd voor recreatie. Het ligt grotendeels in de droogmakerijen; de westelijke rand behoort tot het z.g. bovenland. Het niveauverschil tussen het bovenland en de droogmakerijen bedraagt 2 à 3,5 m. De bodemopbouw is schematisch voorgesteld in figuur 3.

Het bovenland bestaat overwegend uit diepe kalkrijke kleigronden; slechts



Gronden Soils	Diepte van plaatselijk voorkomende katezand- en katerveenverschijnselen <i>Upper boundary of locally occurring cat-sand and cat-peat phenomena</i>	Maximaal toegestane ploegdiepte <i>Maximum allowed depth of ploughing</i>
	in dm beneden maaiveld <i>in dm below surface</i>	
1  Zeer lage veengronden en moerige zandgronden <i>Bog and half bog soils</i>	binnen 5 <i>within</i>	diepploegen is zeer riskant <i>deep ploughing is useless</i>
2  Veengronden en moerige zandgronden <i>Bog and half bog soils</i>	5-8	5 (riskant) <i>(risky)</i>
3  Lage beekerdgronden en moerige eerdgronden. <i>Sandy gley soils, locally peaty</i>	8-12	8
4  Lage humuspodzol- en moerige eerdgronden <i>Hydromorphic podzol soils, locally peaty</i>	8-12*)	8 (plaatselijk dieper) <i>(partly deeper)</i>
5  Overige zandgronden <i>Non-differentiated sandy soils</i>	> 12 *) of afwezig <i>or absent</i>	12 (plaatselijk dieper) <i>(partly deeper)</i>

\*) Alleen zwakke verschijnselen  
*Only indistinct phenomena*

Fig. 2. Semi-gedetailleerde 'katezandkaart' van het gebied Tubbergen (Naar Makken en Van den Hurk, 1968).  
 Fig. 2. Semi-detailed 'cat-sand' map of the Tubbergen area. (After Makken and Van den Hurk, 1968)

TABEL 3. pH-waarden van enkele actuele en potentiële kattezand- en katterveengronden in het gebied Tubbergen (naar Makken en Van den Hurk, 1968)  
 TABLE 3. pH values of some actual and potential cat-sand and cat-peat soils of the Tubbergen area (after Makken and Van den Hurk, 1968)

Mon-ster-Sample	Diepte in cm - mv. Depth (in cm below surface)	Bodemmaterial Soil material	pH-H <sub>2</sub> O		
			vóór oxydatie (vochtig monster) before oxidation (moist sample)	na oxydatie door 60 uur blootstellen aan de lucht after oxidation during 60 hours in air	na oxydatie met H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -30% after oxidation with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -30%
7a	5- 15	venig zand peaty sand	3,5*)	2,7	1,8
7b	30- 50	zand sand	5,4*)	3,6	1,6
20a	40- 60	zand sand	5,2	4,5	3,5
20b	80-120	zand sand	5,2	5,2	2,7
14	100-120	zand**) sand	5,5	6,1	5,7
24a	110-130	zand sand	5,2	5,3	3,7
24b	130-150	zand sand	5,3	5,7	3,2
25	150-180	zand sand	5,3	5,7	2,9

\*) pH-KCl

\*\*) alleen zwakke verschijnselen  
only indistinct phenomena

een kleine oppervlakte wordt ingenomen door kalkarme klei-op-veengronden. Het bodempatroon van het bovenland is vrij regelmatig.

In de droogmakerijen treft men een grillig patroon aan van hogere, al dan niet kalkrijke kreekruigen en lagere kommen. De laatste beslaan de grootste oppervlakte en bestaan uit venige katekleigronden (z.g. restveengronden). De bovenste 80 à 120 cm in deze gronden is kalkloze, venige klei of kleiig veen, deels met gele jarosietvlekken en zwarte pyrietvlekken, overgaand in ongerijpte, kalkrijke lichte klei of zavel en zand. In de kreekruigen zijn de zure en de potentieel zure venige kleilagen dunner en afgedekt door een niet-zure kleilaag. In het bovenland komen deze 'zure' lagen op een diepte van 4 à 5 m voor (fig. 3).

De gronden in de droogmakerijen hebben hoge grondwaterstanden met uitzondering van enkele hogere kreekruigen en zijn in gebruik als grasland. De zeer humeuze tot venige bovengrond in de kommen heeft een geringe draagkracht, en het grasland is van slechte kwaliteit.

Zoals reeds opgemerkt is, wordt de Delftse Hout als recreatiegebied in-

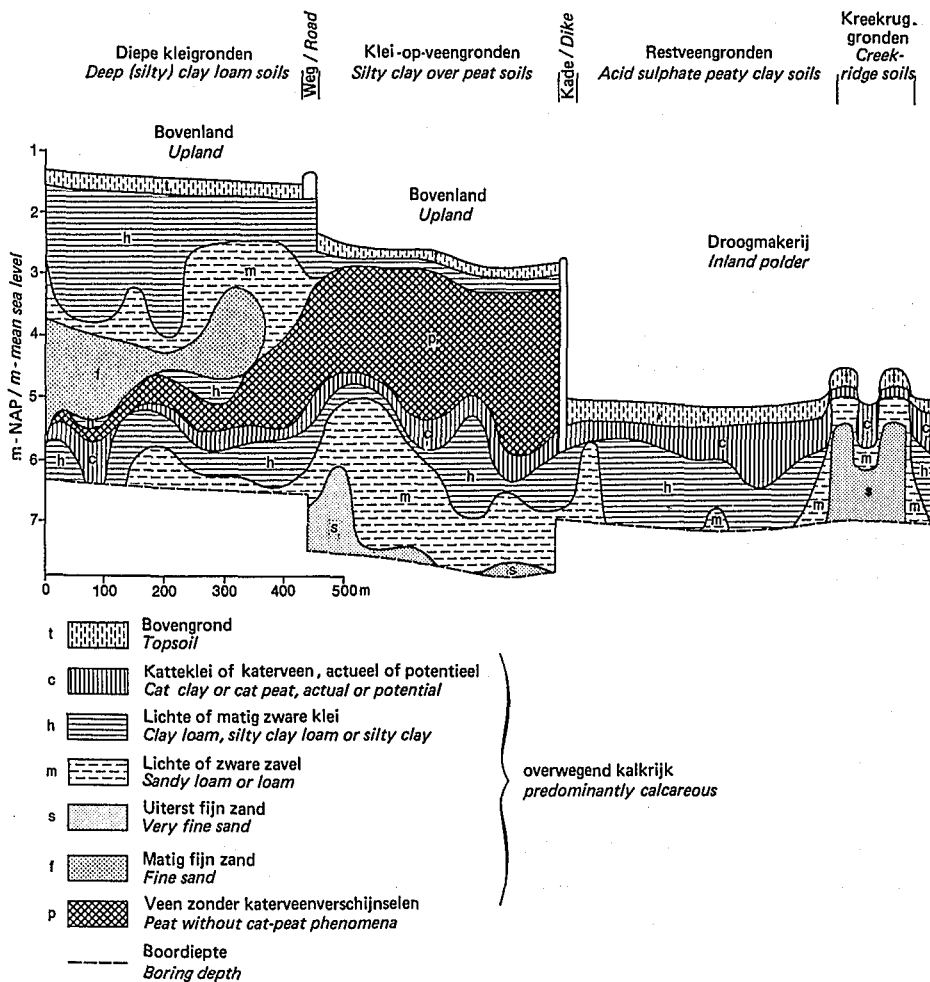


Fig. 3. Doorsnede van het gebied Delftse Hout. (Naar Zegers en Van het Loo, 1969).  
 Fig. 3. Cross section of the Delftse Hout area. (After Zegers and Van het Loo, 1969).

gericht. In het inrichtingsplan zijn o.a. een roeibaan, waterpartijen, bos, speelweiden en picknickplaatsen opgenomen. Voor bos, speelweiden en picknickplaatsen zijn de gronden van nature weinig geschikt (te nat en te weinig draagkrachtige bovengrond); ze moeten ingrijpend verbeterd worden. Naast grondwaterstandsverlaging is een versteviging van de bovengrond noodzakelijk. Het laatste kan o.a. gebeuren door het opploegen van de minerale ondergrond ter plaatse of met de vrijkomende minerale specie uit de te graven roeibaan en waterpartijen.

Aangezien in de meeste gronden actueel en potentieel zure lagen voorkomen, zal zowel een ontwatering als het naar boven halen van onder-

grondmateriaal plaatselijk tot sterke verzuring van de (nieuwe) bovengrond aanleiding geven.

Dit kan voorkomen worden door zowel bij de situering van de bestemmingen als de uitvoering van de verbetering in belangrijke mate rekening te houden met de bodemopbouw. Deze is vastgesteld door middel van een gedetailleerd bodemkundig onderzoek tot een diepte van minimaal 2 meter.

De resultaten zijn o.a. weergegeven op een bodemkaart, schaal 1:5000, waarop tevens per boring de aard en dikte van de afzonderlijke profiellagen zijn vermeld (fig. 4). Van elke laag zijn de textuur, het organische-stof- en kalkgehalte en de actuele en potentiële zuurgraad bepaald volgens de in paragraaf 2 beschreven veld- en laboratoriummethoden. Uit dit onderzoek bleek dat het niet mogelijk zal zijn overal verzuring van de (nieuwe) bovengrond te vermijden. Wel kan op veel plaatsen zo diep geploegd worden dat met het zure materiaal ook kalkrijk materiaal naar boven komt. Indien dit in de juiste verhouding gebeurt, zal het zure materiaal door het kalkrijke worden geneutraliseerd.

Om deze verhouding vast te stellen zijn een aantal grondmonsters in het laboratorium gemengd en geanalyseerd (fig. 5 en 6).

Uit de analyseresultaten in figuur 5 blijkt o.a. dat:

- het actuele katerveen (2a) en katteklei (1b) geen  $\text{CaCO}_3$  maar wel  $\text{SO}_4$  bevatten, en een lage pH hebben, die na oxydatie verder daalt. Verhouding

$$\frac{\text{Ca}^{2+}}{\text{SO}_4^{2-}} < 1.$$

- de potentiële katteklei (rietklei, 1c) weinig  $\text{CaCO}_3$  maar zeer veel  $\text{SO}_4$  bevat en in gereduceerde toestand een hoge pH (= 7,2) heeft, die na oxydatie zeer sterk daalt tot een waarde van 2,4.

$$\text{Verhouding } \frac{\text{Ca}^{2+}}{\text{SO}_4^{2-}} = 0,11$$

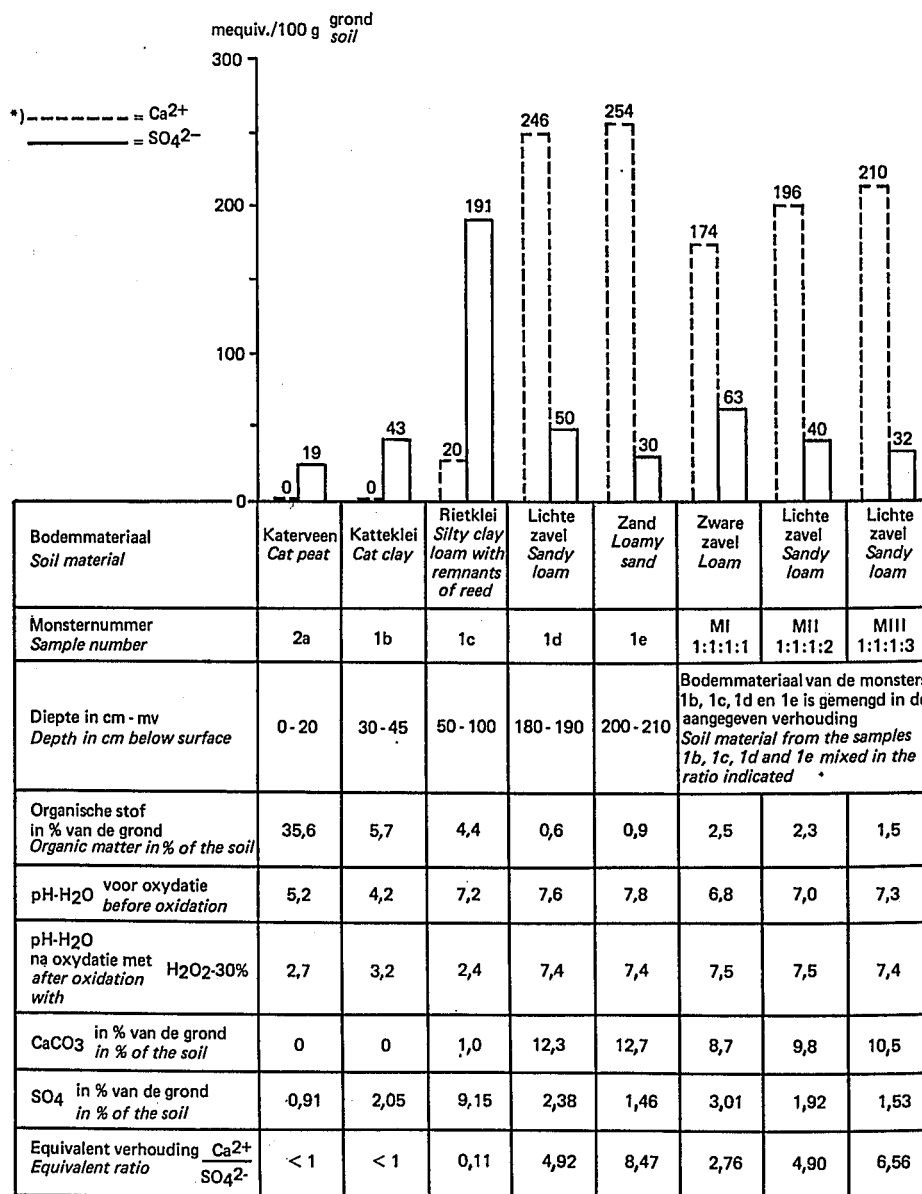
- de zavel en het zand uit de ondergrond (1d, 1e) weliswaar een  $\text{SO}_4$ -gehalte hebben, dat vergelijkbaar is met het actuele katerveen en de actuele katteklei, maar daarnaast een grote overmaat aan  $\text{CaCO}_3$  bevatten.

Het gevolg hiervan is een hoge pH, die nauwelijks daalt bij oxydatie.

De mengmonsters (M I t/m M III) bestaan uit gelijke delen actuele katteklei (1b), potentiële katteklei = rietklei (1c) en kalkrijke lichte zavel (1d), waaraan kalkrijk zand (1e) in de verhouding 1:2:3 is toegevoegd. Zoals mocht worden verwacht, treedt onder deze omstandigheden geen verzuring op.

Voor de praktische uitvoering van de verbetering van (potentieel) zure gronden betekent dit dat er zo diep geploegd moet worden, resp. zoveel vrijkomende specie opgebracht, dat de nieuwe bovengrond tenminste evenveel





\*) De mequiv. Ca<sup>2+</sup> en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> zijn berekend uit het % CaCO<sub>3</sub> en SO<sub>4</sub>  
The mequiv. Ca<sup>2+</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> have been calculated from the % CaCO<sub>3</sub> and SO<sub>4</sub>

Fig. 5. Analyse-resultaten van grondmonsters en grondmengsels uit het gebied Delftse Hout (Naar Zegers en Bles, 1969).

Fig. 5. Analytical data of some soil samples and soil mixtures of the Delftse Hout area (After Zegers and Bles, 1969).

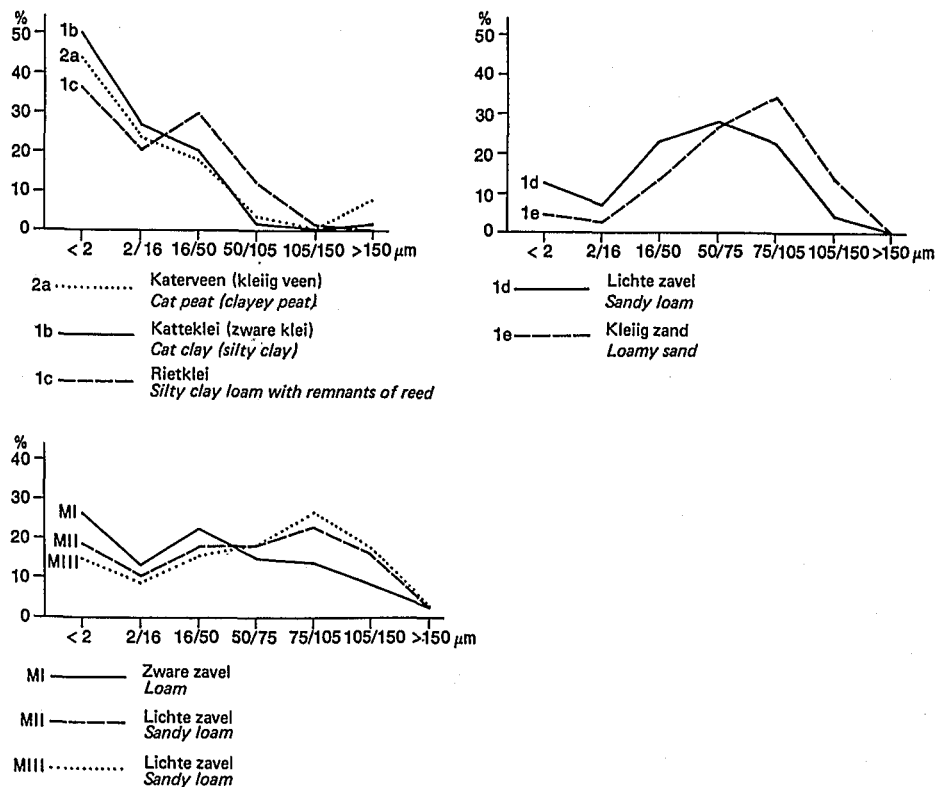


Fig. 6. Korrelgrootteverdeling van de grondmonsters in figuur 5. (Naar Zegers en Van het Loo, 1969).

Fig. 6. Particle-size distribution in the soil samples mentioned in figure 5. (After Zegers and Van het Loo, 1969).

kalkrijk materiaal bevat als zuur + potentieel zuur materiaal (mengmonster M I). Aangezien er bij de uitvoering in het terrein minder intensief gemengd kan worden dan in het laboratorium, verdient een overmaat aan kalkrijk en bij voorkeur, zandig materiaal aanbeveling (mengmonster M II en M III). Deze extra zandbijmenging heeft als nevenvoordeel een lager lutumgehalte en een meer homogene korrelgrootteverdeling in het mengsel. Hierdoor is het beter geschikt als bovengrond voor speelweiden en picknickplaatsen (fig. 6).

Uit de gecombineerde resultaten van het bodemkundig veldonderzoeken het laboratoriumonderzoek zijn de volgende adviezen af te leiden voor verbetering van de gronden in de Delftse Hout t.b.v. recreatieve bestemmingen:

- In de kleigronden en klei-op-veengronden van het bovenland is het gevaar voor verzuring verwaarloosbaar.
- Op de kreekruggronden in de droogmakerijen zal een grondwaterstands-



- verlaging aanleiding zijn tot verzuring van de dunne kattekleilagen die direct onder de huidige bovengrond liggen (fig. 3). Door ploegen kunnen deze zure lagen vermengd worden met een overmaat aan kalkrijk materiaal uit de ondergrond, waardoor volledige neutralisatie optreedt.
- Bij de venige kattekleigronden in de droogmakerijen is het gevaar voor verzuring groot. De ontwatering van deze natte gronden moet verbeterd worden. Verder dienen ze opgehoogd te worden met kalkrijke specie en daarna geploegd. Het mengsel dient een surplus aan kalkrijk materiaal te bevatten. Een overmaat aan zandig, kalkrijk materiaal maakt de nieuwe bovengrond geschikter voor recreatief gebruik.
  - Bij de situering van plassen en waterpartijen en het grondverzet dient men rekening te houden met de bodemopbouw. Deze informatie verstrekt de bodemkaart (fig. 4).

#### 4. SLOTOPMERKINGEN

De gegeven voorbeelden illustreren hoe complex de grondverbetering van zure sulfaathoudende gronden in Nederland is. Dit betreft zowel de processen die op gang komen door ontwatering of door blootstelling aan de lucht van sulfiden bevattend bodemmateriaal, eventueel in combinatie met het naar boven halen van niet-zuur of kalkrijk materiaal, als het verbredingspatroon. De chemische processen zijn thans vrij goed bekend en deze kennis wordt benut om door een weloverwogen verbetering van de ontwatering en menging van bodemlagen het gewenste eindresultaat te bereiken.

Uitgangspunt bij deze maatregelen moet zijn voldoende informatie omtrent ligging, verbreiding en chemische eigenschappen van de bodemlagen. Deze informatie kan door gedetailleerd bodemkundig onderzoek, als in dit artikel beschreven, worden verkregen. Hierbij worden aangepaste veld- en laboratoriummethodieken gebruikt. Het resultaat van dit specifieke, bodemkundig onderzoek is sterk verbeterd door de ontwikkeling van methoden om in het veld potentieel zuur materiaal te herkennen. Een verdere ontwikkeling van nauwkeuriger kwantitatieve bepalingsmethoden van sulfaat en koolzure kalk in het veld is wenselijk.

#### SUMMARY

In the Netherlands acid sulphate soils are commonly improved by mixing or covering sulphidic or sulphuric soil horizons with calcareous or non-sulphidic soil material in proportions that ensure efficient acid-buffering capacity in the new rooting zone. Where possible the admixtures are produced by short distance earth moving or by deep ploughing. These operations have to be based on soil maps giving precise quantitative data on location and mineral composition of soil layers. Some concrete cases are presented to

illustrate the requirements for these soil maps and the specialized surveying techniques that have been developed.

The English version of this article has been published in: *Dost, H. (editor)*, 1973: Acid Sulphate Soils. Proceedings of the International Symposium, 13-20 August 1972 Wageningen. ILRI publ. 18, vol. II. Wageningen, the Netherlands.

#### LITERATUUR

- Beers, W. F. J. van*, 1962: Acid sulphate soils. Int. Inst. Land Reclamation and Improvement. Wageningen. Bulletin 3.
- Bennema, J.*, 1953: Pyriet en koolzure kalk in de bodem van de droogmakerij "Groot Mijdrecht". Boor en Spade 6: 134-149.
- Hurk, J. A. van den, en G. J. W. Westerveld*, 1968: Bodemkundig onderzoek naar het voorkomen van "zure" ondergronden in een gedeelte van het ruilverkavelingsgebied Peizer-Made. Rapport 770. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Makken, H., en J. A. van den Hurk*, 1968: De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Tubbergen. Rapport 661. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Poelman, J. N. B.*, 1968: Verder onderzoek naar het onderkennen en voorkomen van kattezand. Landbouwk. Tijdschrift 80: 95-97.
- Pons, L. J.*, 1956: Some aspects of the improvement of pyrite containing old marine soils in The Netherlands. VIe Congr. Int. de la science du sol. Vol. B: 727-739.
- Pons, L. J.*, 1970: Acid sulphate soils (soils with cat-clay phenomena) and the prediction of their origin from pyrites muds. Fys. Geogr. en Bodemk. Lab. Amsterdam. Publ. 16: 93-107.
- Pons, L. J., en I. S. Zonneveld*, 1965: Soil ripening and soil classification. Initial soil formation in alluvial deposits and a classification of the resulting soils. Int. Inst. Land Reclamation and Improvement. Wageningen. Publ. 13.
- Voetberg, K. S.*, 1969: Verbetering van katekleigronden. Cultuurtechn. Tijdschr. 9: 65-75.
- Wind, G. P., en B. H. Steeghs*, 1964: Kattezand. Landbouwk. Tijdschr. 76: 150-157.
- Zegers, H. J. M., en B. J. Bles*, 1969: Een bodemkundig en cultuurtechnisch onderzoek in het toekomstige recreatiegebied Delfse Hout-Noord I. Rapport 843. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Zegers, H. J. M., en H. van het Loo*, 1969: Een bodemkundig onderzoek in het toekomstige recreatiegebied Delfse Hout-Noord II. Rapport 873. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.