

CENTRUM VOOR AGROBIOLOGISCH ONDERZOEK
WAGENINGEN

REDUCTIEVERSCHIJNSELEN IN DE BOUWVOOR
IN RELATIE TOT DE PLANTENGROEI
OP DE PROEFBOERDERIJ DE SCHREEF

J. Groenwold & A. Breeuwsma

CABO-verslag nr. 63

J. Groenwold : Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek

A. Breeuwsma : Stichting voor Bodemkartering

395264

1986

WOORD VOORAF

Het vruchtwisselingsproefveld op de proefboerderij De Schreef te Dronten werd in 1963 door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders aangelegd. In 1970 is de proef overgenomen door het toenmalige Proefstation voor de Akkerbouw. De doelstelling van de proef was de bestudering van de invloed van verschillende vruchtopvolgingsystemen op de bodemvruchtbaarheid, bodemstructuur, opbrengst en gezondheidstoestand van de gewassen.

In de loop der jaren tekenden zich duidelijke voorvruchteffecten en frequentie-afhankelijke opbrengstverschillen af bij het gewas aardappelen. Naar de oorzaak hiervan wordt gezocht door onderzoekers van een groot aantal instellingen van landbouwkundig onderzoek. In de jaren 1977 t/m '79 hebben ir. J.W. Heringa en J. Groenwold (CABO) in samenwerking met dr.ir. A. Breeuwsma en W. Balkema (STIBOKA) onderzoek verricht naar de invloed van ondergeploegde oogstresten van suikerbieten op het volggewas aardappelen. De coördinatie van het vruchtwisselingsonderzoek op De Schreef berustte bij ing. O. Hoekstra van het PAGV.

<u>INHOUD</u>	<u>Blz.</u>
1. Inleiding	5
2. Laboratoriumonderzoek	6
2.1 Proefopzet	6
2.2 Verloop van het nitrietgehalte	8
2.2.1 Materiaal en methoden	8
2.2.2 Resultaten	8
2.2.3 Discussie	9
2.3 Kieming en beginontwikkeling van vlas	10
2.3.1 Materiaal en methoden	10
2.3.2 Resultaten	10
2.3.3 Discussie	13
2.4 Redoxpotentiaalmetingen	14
2.4.1 Materiaal en methoden	14
2.4.2 Resultaten	16
2.4.3 Discussie	19
3. Veldonderzoek	19
3.1 Proefopzet	19
3.2 Redoxpotentiaalmetingen	20
3.2.1 Materiaal en methoden	20
3.2.2 Resultaten	21
3.2.3 Discussie	23
3.3 Voorkomen van reductiekleuren en ferro-ijzer	24
3.3.1 Materiaal en methoden	24
3.3.2 Resultaten	24
3.3.3 Discussie	26
3.4 Wortelontwikkeling van aardappelen	27
3.4.1 Materiaal en methoden	27
3.4.2 Resultaten	27
3.4.3 Discussie	29
4. De betekenis van ondergeploegd bietenloof voor de opbrengst van consumptieaardappelen.	30
5. Conclusies	32
6. Samenvatting	33
7. Literatuur	35
Bijlagen 1 t/m 2	36

1. INLEIDING

Uit onderzoek op het vruchtwisselingsproefveld De Schreef is gebleken dat de opbrengst van aardappelen afneemt bij een toenemende teeltfrequentie (Hoekstra, 1981). Vooral in de 3-jarige rotatie graszaad-suikerbieten-aardappelen (bouwplan 5b) is de opbrengst van aardappelen aanmerkelijk lager (15-30%) dan in een 6-jarige rotatie wintertarwe-vlas-suikerbieten-zomergerst-erwten-aardappelen (bouwplan 3a) en ook lager (5-15%) dan in de 3-jarige rotatie suikerbieten-zomergerst-aardappelen (bouwplan 5a). Voor een overzicht van de bouwplannenproef op De Schreef, zie bijlage I. Aangezien de lagere knolopbrengst bij 5b vergeleken met die van 3a en 5a niet duidelijk verklaard kon worden uit verschillen in chemische bodemvruchtbaarheid, bodemstructuur en bodempathogenen, werd de invloed onderzocht van stoffen uit oogstresten van suikerbieten op een volggewas (Heringa, 1975).

In dit kader werd onderzoek verricht naar de ontwikkeling van het wortelstelsel van aardappelen in de rotaties 3a en 5b. Zowel door bestudering van wortels aan profielwanden (Luitjens e.a., 1979) als bij de bepaling van de wortellengte en het wortelgewicht uit boormonsters (Heringa e.a., 1980) werd geconstateerd dat in bouwplan 5b onder de bouwvoor minder aardappelwortels voorkwamen dan in bouwplan 3a. In de laag van ca. 10-20 cm beneden maaiveld waren de aardappelwortels in bouwplan 5b vaak bruiner van kleur en werden er meer ingesnoerde, geknikte en dode wortels aangetroffen. Bovendien viel op dat deze wortels minder en kortere wortelharen hadden. Opgemerkt werd, dat in de omgeving van de bruine wortels vaak halfverteerde oogstresten van het voorgewas suikerbieten voorkwamen en dat de grond daarbij vaak een grijs-blauwe verkleuring vertoonde. De verkleuring wordt veroorzaakt door reductie van ijzer (Breeuwsma, 1978). Daarbij gaan de bruin gekleurde ijzeroxiden in oplossing en neemt de grond een "grijs-blauwe" kleur aan. Een dergelijke reductie kan optreden als bij de microbiologische omzetting van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal meer zuurstof wordt verbruikt dan via de bovenlaag van de grond kan worden aangevoerd. Het vermoeden rees dat een (tijdelijk) slechte aëratie (toevoer van zuurstof) op bouwplan 5b verantwoordelijk zou kunnen zijn voor de opbrengstderving.

In verband hiermee werd in het laboratorium onderzocht wat de gevolgen van een slechte aëratie waren op de redoxpotentiaal, nitraat- en ijzerreductie en op de wortelontwikkeling van vlas. Daarbij werd in potproeven grond van de bouwplannen 3a en 5b waaraan wel of geen gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal was toegevoegd met verschillende oplossingen gepercoleerd. Er werden metingen verricht van o.a. nitriet, ferro-ijzer (Fe^{2+}) en redoxpotentiaal. Ook werd de kieming en beginontwikkeling van vlas op grond en op percolaten van grond onderzocht om de eventuele werking van kiem- en/of groeiremmende stoffen te kunnen signaleren. Vlas diende als toetsplant, omdat ook was geconstateerd dat vlas een slechte opkomst en groei vertoonde na het gewas suikerbieten (De Boer, 1965; Heringa, 1975).

Bovendien werden op de proefboerderij De Schreef metingen van de redoxpotentiaal verricht gedurende de groeiseizoenen van 1978 en 1979 om na te gaan in hoeverre in het laboratorium gemeten redoxpotentialen zich ook in het veld voordeden. Naast deze metingen werd onderzoek uitgevoerd naar het aantal reductieplekken in de grond en naar de wortelontwikkeling van aardappelen.

2. LABORATORIUMONDERZOEK

2.1 Proefopzet

De proeven werden uitgevoerd met grond afkomstig uit de bouwvoor van de bouwplannen 3a (wintertarwe-vlas-suikerbieten-zomergerst-erwten-aardappelen) en 5b (graszaad-suikerbieten-aardappelen) van de proefboerderij De Schreef. De globale karakteristieken van deze grond zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. Karakteristieken van de gebruikte grond.

% lutum	: ca 30
% CaCO_3	: ca 10
% humus	: ca 3
pH water	: 7,9

De grond werd nadat het bietenloof (blad + koppen)(5b) en de grasgroenbemester (3a) waren ondergeploegd verzameld en bewaard bij 5 °C. Glazen Büchner-trechters met een diameter van 8 cm werden gevuld met 200 gr grond. Bij een aantal trechters werd er 25 gr bietenloof (vers gehakseld) door de bovenlaag van de grond gewerkt. Daarna werd bij kamertemperatuur de grond in de trechters gepercoleerd met 100 ml water waarin wel of geen KNO_3 en/of sucrose was opgelost. De vloeistof die door de grond liep werd opgevangen en opnieuw op de grond gegoten. Een overzicht van de in de proef opgenomen objecten staat vermeld in tabel 2.

Tabel 2. Overzicht van de in de proef opgenomen objecten.

grond afkomstig van bouwplan	toevoeging van bietenloof	percolatievloeistof
3a	-	H_2O
3a	-	810 mg KNO_3 /l
3a	-	2500 mg sucrose/l
3a	-	810 mg KNO_3 /l + 2500 mg sucrose/l
3a	+	H_2O
3a	+	810 mg KNO_3 /l
5b	-	H_2O
5b	-	810 mg KNO_3 /l
5b	-	2500 mg sucrose/l
5b	-	810 mg KNO_3 /l + 2500 mg sucrose/l
5b	+	H_2O
5b	+	810 mg KNO_3 /l

2.2 Verloop van het nitrietgehalte

2.2.1 Materiaal en methoden

Het verloop van het reductieproces in de grond werd gevolgd door op verschillende tijdstippen het nitrietgehalte te bepalen in de percolatievloei-stof. Dit gebeurde semi-kwantitatief met Merckoquant teststrookjes. Ferro-ijzer werd aangetoond met 0,2N $K_3Fe(CN)_6$ (roodbloedloogzout).

2.2.2 Resultaten

De gemeten nitrietgehalten zijn weergegeven in tabel 3. Reeds 2 uur na aanvang van de percolatie was nitriet aantoonbaar in de druppels die uit de Büchnerretracters kwamen bij de objecten waar bietenloof aan de grond was toegevoegd en bij de objecten waar sucrose + KNO_3 in de percolatievloei-stof was opgelost. In het percolaat van de grond waaraan KNO_3 + sucrose was toegevoegd steeg het nitrietgehalte tot 25 à 40 mg/l, waarna het na 24 uur weer ging afnemen. Toevoeging van alleen sucrose aan de percolatievloei-stof gaf een max. gehalte aan nitriet van 5 mg/l (afkomstig van de reeds in de grond aanwezige nitraat). In het percolaat van de grond waar alleen water of water + KNO_3 was toegevoegd werd geen nitriet gevonden. Het hogere gehalte aan nitriet na toevoeging van bietenloof is te verklaren door de aanwezigheid van nitraat in het bietenloof.

De herkomst van grond had geen duidelijke invloed op het reductieproces. In alle gevallen waarin organisch materiaal (sucrose of bietenloof) aan de grond was toegevoegd kreeg deze grond 3-4 dagen na toevoeging eenzelfde grijs-blaue reductiekleur als op De Schreef was waargenomen in bouwplan 5b na het gewas suikerbieten. In de grijs-blaue grond kon na aanzuren duidelijk ferro-ijzer worden aangetoond. In het percolaat van deze grond bedroeg de ijzerconcentratie ca. 10 mg Fe^{2+} /l. De grond waaraan alleen water of een kaliumnitraatoplossing was toegevoegd veranderde niet van kleur en daarin kon ook geen ferro-ijzer worden aangetoond. Bovenstaande proef is enkele malen herhaald en het verloop van de waarnemingen verschilde vrijwel niet van de bovenvermelde serie.

Tabel 3. Het verloop van het nitrietgehalte ($\text{mg NO}_2^- \cdot \text{l}^{-1}$) in het percolaat van grondmonsters afkomstig van de bouwplannen 3a en 5b, in relatie tot de samenstelling van de percolatievloeistof en de aanwezigheid van bietenloof.

grond van bouwplan	percolatie- vloeistof	bieten- loof	aantal uren na de aanvang van de percolatie								
			2	3	5	8	24	30	54	96	
3a	H ₂ O	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3a	KNO ₃	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3a	sucrose	-	0	0,5	1	0	0	0	0	0	0
3a	KNO ₃ + sucrose	-	0,5	2	5	10	20	10	0	0	0
3a	H ₂ O	+	7	20	15	3	0	0	0	0	0
3a	KNO ₃	+	7	20	25	50	50	50	5	0	0
5b	H ₂ O	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5b	KNO ₃	-	0	0	1	3	2	0,5	0	0	0
5b	sucrose	-	0	1	5	1	0	0	0	0	0
5b	KNO ₃ + sucrose	-	1	2	10	25	40	25	0	0	0
5b	H ₂ O	+	5	20	15	2	0	0	0	0	0
5b	KNO ₃	+	10	20	35	50	60	50	0	0	0

2.2.3 Discussie

De resultaten tonen aan dat in de kleigrond van de Flevopolder bij aanwezigheid van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal zeer snel reductieprocessen kunnen optreden. Tijdens het reductieproces wordt, nadat de vrije zuurstof is verbruikt, nitraat omgezet in nitriet en na voortgaande reductie ferri- in ferro-ijzer. Door de reductie van nitraat kunnen er in het veld in anaërobe plekken N-verliezen optreden (Turner en Patrick, 1968).

2.3 Kieming en beginontwikkeling van vlas

2.3.1 Materiaal en methoden

De percolatievloeistof (verkregen uit bovenbeschreven proeven) en de grond werden onderzocht op eventuele kiem- en/of groeiremmende werking. Na 30 uur vanaf het begin van de percolatie van de kleigrond werd in het percolaat het NO_2^- -gehalte, de pH en de geleidbaarheid gemeten. Daarna werd een klein gedeelte van de vloeistof gebruikt voor een kiemproef. De kiemproef werd uitgevoerd in petrieschalen met 20 vlaszadjes en 4 ml percolatievloeistof bij 24 °C in het donker. Het aantal gekiemde zaadjes werd na 24, 48 en 72 uur geteld en na 72 uur werd ook de lengte van de kiemplantjes gemeten.

De percolatie van de grond werd beëindigd na 4 dagen, waarna er 20 vlaszadjes in het bovenste losgemaakte laagje van de grond werden gezaaid bij kamertemperatuur. Na 8 dagen werd de opkomst bepaald en de stengel- en wortellengte van de kiemplantjes gemeten. Deze kiemprouven met vlas werden een aantal malen herhaald (zie sectie 2.2.2).

Naast de gepercoleerde grond werd er ook vlaszaad gezaaid in potten met verse grond direct afkomstig uit de bouwvoor van het proefveld. Het betrof hier normale grond van de bouwplannen 3a en 5b en grijs-blauw gereduceerde grond van bouwplan 5b. De kiemproef werd uitgevoerd in 4 herhalingen met 20 zaden per object. Na 6 dagen werd de opkomst bepaald en de stengel- en wortellengte van de kiemplantjes gemeten.

2.3.2 Resultaten

De resultaten van een representatieve serie van de kieming van vlas op de percolaten staan vermeld in tabel 4. De kieming van alle objecten was goed, maar werd vertraagd als er bietenloof in de grond was gebracht. De gebruikte grond uit de twee verschillende rotaties had ook hier geen invloed op de resultaten. In beide gevallen was er een zeer negatieve invloed van het in de grond gebrachte bietenloof op de beginontwikkeling (gemeten als lengte na 72 uur) van de jonge vlasplantjes. Toevoeging van sucrose + nitraat gaf ook een slechtere beginontwikkeling te zien, maar deze is niet altijd zo opzienbarend als bij toevoeging van bietenloof.

Tabel 4. Kieming van vlaszaad op het percolaat van grondmonsters afkomstig van de bouwplannen 3a en 5b, in relatie tot de samenstelling van de percolatievloeistof en de aanwezigheid van bietenloof.

grond van bouwplan	percolatie- vloeistof	bieten- loof	NO ₂ ⁻	pH	geleid- baarh.	kieming na			gem. lengte van een kiemplant na 72 uur*
						24 uur	48 uur	72 uur	
			mg.l ⁻¹		uS.cm ⁻¹	%	%	%	mm
3a	H ₂ O	-	0	8,3	210	85	100	100	41
3a	KNO ₃	-	0	8,1	220	85	90	90	36
3a	sucrose	-	0	8,4	200	90	100	100	35
3a	KNO ₃ + sucrose	-	10	7,7	600	90	95	95	26
3a	H ₂ O	+	0	7,7	1700	45	90	90	6
3a	KNO ₃	+	50	8,0	1600	35	95	95	5
5b	H ₂ O	-	0	8,4	230	60	100	100	37
5b	KNO ₃	-	0,5	8,2	200	85	95	95	31
5b	sucrose	-	0	8,3	300	85	100	100	36
5b	KNO ₃ + sucrose	-	25	7,6	650	75	80	80	10
5b	H ₂ O	+	0	7,7	1400	60	100	100	18
5b	KNO ₃	+	50	7,9	1500	55	90	90	13
controle (demi-H ₂ O)			0	6,3	5	95	100	100	36
controle (opl. 1 mg KNO ₃ /l + 5 mg sucrose/l)			0	6,0	1500	90	100	100	31

* (excl. niet gekiemde zaden)

De geleidbaarheid (als maat voor de osmotische waarde) van het percolaat was bij alle objecten niet of nauwelijks hoger dan van de controle. De kieming werd dus niet beïnvloed door een te hoge zoutconcentratie. De lichte daling van de pH in het percolaat, na toevoeging bietenloof of van sucrose + nitraat wijst op de vorming van organische zuren. Met behulp van dunne laag chromatografie konden azijnzuur en boterzuur worden aangetoond.

Vlaszaadjes die in de gepercoleerde grond werden gezaaid, vertoonden in grote lijnen een soortgelijke reactie als die op het percolaat van dezelfde grond (tabel 5). Ze kiemden wel in de grond waaraan organisch materiaal was toegevoegd en vormden ook duidelijk een stengel, maar de wortelontwikkeling was zeer sterk geremd.

Tabel 5. Kieming en beginontwikkeling van vlas in grondmonsters afkomstig van de bouwplannen 3a en 5b, in relatie tot de samenstelling van de percolatievloei-stof en de aanwezigheid van bietenloof.

grond van bouwplan	percolatie- vloei-stof	bieten- loof	gekiemde zaden na 8 dagen %	gemiddelde stengellengte v.d. gekiemde zaden na 8 d. mm	gemiddelde wortellengte v.d. gekiemde zaden na 8 d. mm
3a	H ₂ O	-	95	63	60
3a	KNO ₃	-	85	71	75
3a	sucrose	-	85	71	56
3a	KNO ₃ + sucrose	-	95	68	43
3a	H ₂ O	+	70	51	8
3a	KNO ₃	+	70	61	8
5b	H ₂ O	-	95	69	56
5b	KNO ₃	-	85	72	78
5b	sucrose	-	85	72	54
5b	KNO ₃ + sucrose	-	70	64	39
5b	H ₂ O	+	70	63	10
5b	KNO ₃	+	85	63	12

De resultaten van de kiemproef met vlaszaad in vers genomen grond afkomstig van de bouwplannen 3a en 5b staan vermeld in tabel 6. In opkomst was er geen verschil tussen de drie objecten. De stengelontwikkeling bleef in de gereduceerde grijs-blauwe grond van bouwplan 5b duidelijk achter bij die in de normale grond uit beide rotaties. Evenals in de percolatie-proef was de wortelontwikkeling in sterke mate geremd in de grijs-blauwe grond van bouwplan 5b.

Tabel 6. Kieming en beginontwikkeling van vlas in verse, niet grijs-blauwe grond uit de bouwplannen 3a en 5b en grijs-blauwe grond uit bouwplan 5b.

grond van bouwplan	grijs-blauwe grond	herhaling	gekiemde zaden na 6 dagen %	gemiddelde stengellengte v.d. gekiemde zaden na 6 d. mm	gemiddelde wortellengte v.d. gekiemde zaden na 6 d. mm
3a	-(*)	1	85	66	69
3a	-	2	95	60	60
3a	-	3	80	64	50
3a	-	4	85	62	64
3a	-	gem.	87	63	61
5b	-	1	70	63	67
5b	-	2	90	60	64
5b	-	3	90	54	53
5b	-	4	100	59	60
5b	-	gem.	88	59	60
5b	+	1	80	36	10
5b	+	2	95	55	18
5b	+	3	95	38	9
5b	+	4	95	50	16
5b	+	gem.	91	45	13

* (- : niet grijs-blauwe grond)

(+ : grijs-blauwe grond)

In soortgelijke proeven met aardappelen werd ook geconstateerd, dat de wortelontwikkeling sterk werd geremd in gereduceerde grijs-blauwe grond.

2.3.3 Discussie

Naar de toxische werking van stoffen die vrijkomen tijdens de microbiele afbraak van oogstresten (vooral onder anaërobe omstandigheden) is veel onderzoek verricht. Kimber (1967, 1973) vond dat de remmende werking van rottend tarwestro op de wortelgroei groter is dan op de stengelgroei. Dit is in over-

eenstemming met de resultaten in tabel 5 en 6. Volgens Lee (1979) wordt de wortelontwikkeling van gerst en mais in een voedingsoplossing geremd door toevoeging van nitriet (1 mM NaNO_2), vooral onder zuurstofarme omstandigheden. Heringa (1975) schrijft een deel van de remmende werking van oogstresten van suikerbieten op de kieming van vlaszaad toe aan abscissinezuur. Lynch (1977, 1978) vond dat de anaërobe afbraakprodukten van tarwestro een nadelige invloed hebben op de kieming en ontwikkeling van jonge gerstplanten. Azijnzuur was de meest voorkomende toxische stof. Ook Wallace en Elliot (1979) vonden in een waterig extract van tarwestro, geïncubeerd bij $20 \text{ }^\circ\text{C}$ onder anaërobe omstandigheden, ophoping van toxische stoffen, vooral azijnzuur en boterzuur. Naast deze organische zuren hebben Guenzi en McCalla (1966) in grond met oogstresten phenolzuren aangetoond, die fytotoxisch werken. Volgens Toussoun en Patrick (1963) kunnen fytotoxische stoffen uit oogstresten naast hun directe negatieve invloed op wortels de weg vrij maken voor pathogene organismen. Tenslotte kan ook ethyleen ontstaan in anaërobe grond, dat evenals organische zuren, een tekort aan zuurstof en een overmaat aan CO_2 schade kan veroorzaken aan plantewortels (Rowell, 1981).

De remmende werking van de gereduceerde grijs-blauwe grond en het percolaat hiervan op de wortelontwikkeling van vlas moet worden toegeschreven aan een complex van factoren. Een aantal fytotoxische stoffen die vrijkomen bij de omzetting van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal onder anaërobe omstandigheden spelen daarbij een belangrijke rol.

2.4 Redoxpotentiaalmetingen

2.4.1 Materiaal en methoden

Als maat voor de aanwezigheid van oxyderende en reducerende stoffen in het bodemvocht werd de redoxpotentiaal in de grond gemeten. De metingen werden verricht met behulp van Philips Pt-elektroden (type M13), een verzadigde calomelelektrode en een pH/mV-meter van Radiometer (type pHM62). De platina elektroden werden tijdens de proef niet verwijderd. De grondmonsters waren afkomstig van de bouwplannen 3a en/of 5b. Er werden drie series metingen uitgevoerd (tabel 7).

Tabel 7. Schema van de verrichte redoxmetingen in grond van de bouwplannen 3a en 5b na wel of geen toevoeging van organische stof.

serie	1	2	3
grond van bouwplan	3a	3a 5b	3a 5b 5b(blauw)
behandeling			
- geen			+ + +
- H ₂ O	+	+ +	
- KNO ₃	+		
- KNO ₃ + sucrose	+		
- Bietenloof	+	+ +	

Serie 1. Bij de eerste proef werd grond van het bouwplan 3a (met of zonder toevoeging van bietenloof bevochtigd met water of een oplossing van KNO₃ of KNO₃ + sucrose, overeenkomstig de eerder omschreven proeven. Het eerste percolaat werd opgevangen en opnieuw opgebracht. Daarna kregen de monsters in de Büchnertrechters gelegenheid uit te drogen. Na 7 dagen werd het percolaat opnieuw opgebracht en vervolgens kregen de monsters opnieuw de gelegenheid om uit te drogen.

Serie 2. Nu werd aan grondmonsters van de bouwplannen 3a en 5b water toegevoegd of bietenloof + water. Om het uitdrogen van de grond te voorkomen, evenals verstoring door herhaald percoleren, werden de monsters één keer met water verzadigd en daarna met behulp van plastic afgesloten. Voor de calomel-elektrode werd in het plastic een gat gemaakt dat tussen de metingen met behulp van een kurk werd afgesloten.

Serie 3. In deze proef werd de redoxpotentiaal gedurende 8 dagen gemeten in vers genomen grondmonsters van de bouwplannen 3a en 5b. Bij bouwplan 5b werden daarbij ook monsters genomen met veel grijs-blauwe reductiekleuren. De veldvochtige monsters werden na monsternamen in een koelcel (5 °C) bewaard tot het begin van de proef. Voor de redoxpotentiaalmetingen werd een gedeelte van elk monster overgebracht in glazen potten, die met plastic werden afgesloten (met een opening voor de calomelektrode).

2.4.2 Resultaten

Serie 1. Het verloop van de redoxpotentiaal is weergegeven in figuur 1. De beginpotentiaal was voor alle monsters ca. +400 mV. In de monsters waaraan alleen water of een KNO_3 -oplossing was toegevoegd veranderde deze de eerste paar dagen niet. Daarna trad bij water wel enige daling op. Deze daling werd na 4 dagen gecompenseerd door de stijging die optrad als gevolg van het uitdrogen van het grondmonster. Wat vooral opvalt is de zeer snelle daling in redoxpotentiaal bij toevoeging van sucrose en bietenloof. Binnen 24 uur was de E_H in deze gevallen gedaald tot ca. -200 mV. Ook hier liep bij het uitdrogen van de monsters de redoxpotentiaal geleidelijk op. Na herbevochtiging met het percolaat en opnieuw uitdrogen bleek het verloop zich, althans in grote lijnen, te herhalen.

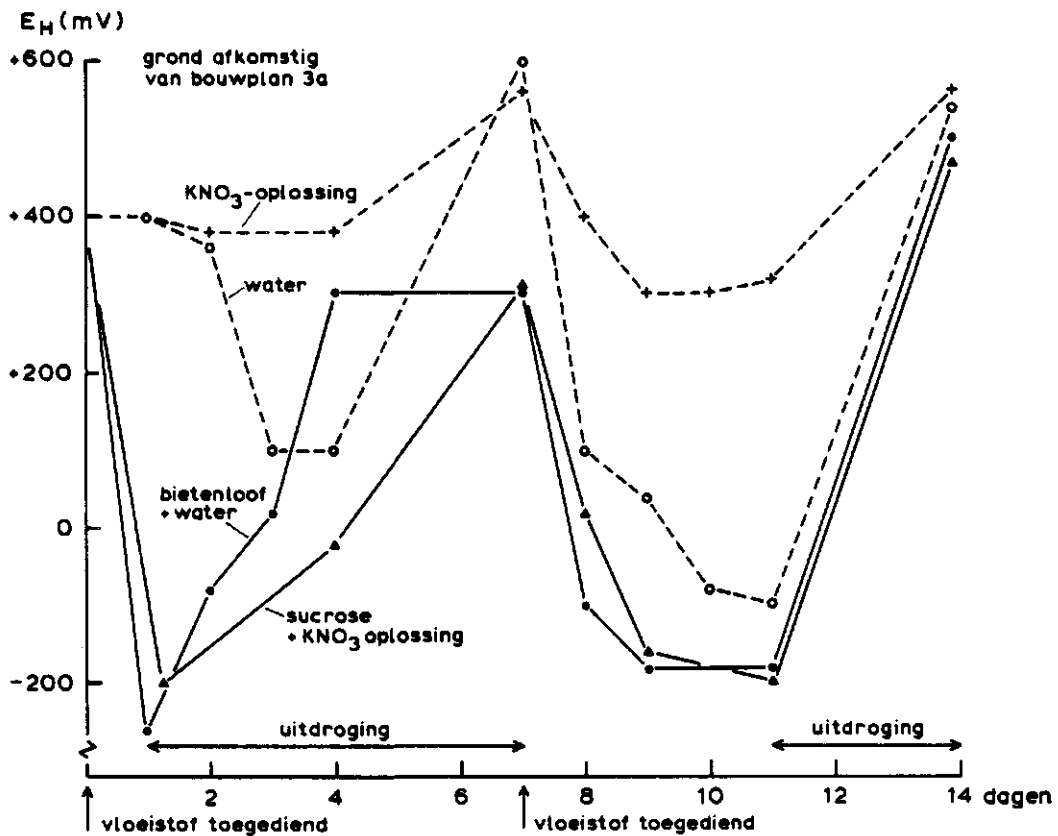


Fig. 1. Het verloop van de redoxpotentiaal (E_H) in grondmonsters afkomstig van bouwplan 3a in relatie tot de samenstelling van de percolatievloeistof en de aanwezigheid van bietenloof.

Serie 2. Bij aanwezigheid van bietenloof bleek na bevochtiging met water opnieuw een snelle daling van de redoxpotentiaal op te treden (fig. 2), zowel bij 3a als 5b. De daling verliep bij 3a wel iets langzamer dan bij 5b: het minimum van -150 à -200 mV werd in plaats van na 1 dag, nu na 2 dagen bereikt. Na de aanvankelijke sterke daling liep de redoxpotentiaal weer iets op tot ca. -100 mV bij 3a en 0 mV bij 5b. Dit verschijnsel is ook in de literatuur wel bekend en wordt daar in verband gebracht met de bacteriegroei (door de snelle groei in het begin ontstaat tijdelijk een "overbevolking"). Bij de monsters waaraan geen bietenblad was toegevoegd bleek de redoxpotentiaal niet verder te dalen dan tot ca. +200 a +300 mV.

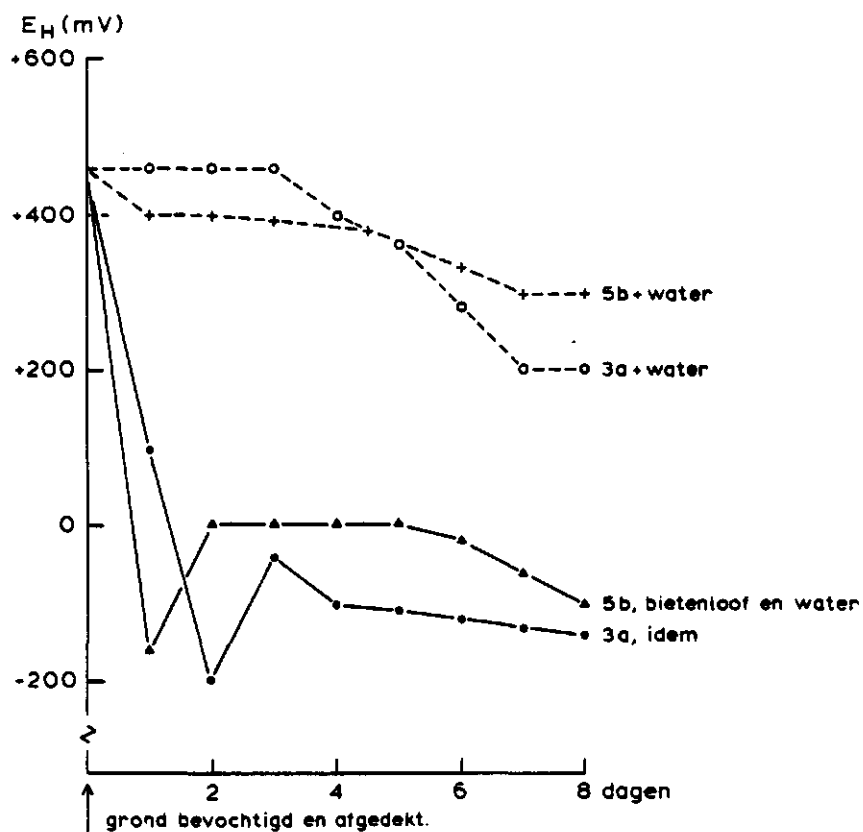


Fig. 2. Het verloop van de redoxpotentiaal (E_H) in met water verzadigde grond afkomstig van de bouwplannen 3a en 5b na wel of geen toevoeging van bietenloof.

Serie 3. De resultaten van de metingen in de vers genomen monsters zijn weergegeven in figuur 3. Hieruit blijkt, dat er tussen de drie monsters duidelijke verschillen in de grootte en verloop van de redoxpotentiaal optraden. Het monster van bouwplan 3a gaf een vrij continue, geringe daling in E_H te zien, maar ook na 8 dagen was deze nog altijd ca. +330 mV. Bij 5b was de redoxpotentiaal aanvankelijk bijna net zo hoog als bij 3a, maar na de eerste dag trad een snelle daling op tot een E_H van 0 mV. Daarna steeg de E_H weer tot ca. +80 mV. Bij het monster uit gereduceerde grond van bouwplan 5b was de redoxpotentiaal reeds aan het begin 0 mV, terwijl daarna nog een geleidelijke daling tot ca. -230 mV plaatsvond. Na 21 dagen werd nog een meting verricht. Daaruit bleek dat de redoxpotentiaal bij de monsters van 5b niet meer was veranderd, terwijl de E_H bij 3a gedaald was tot hetzelfde niveau als bij het niet-gereduceerde monster van 5b.

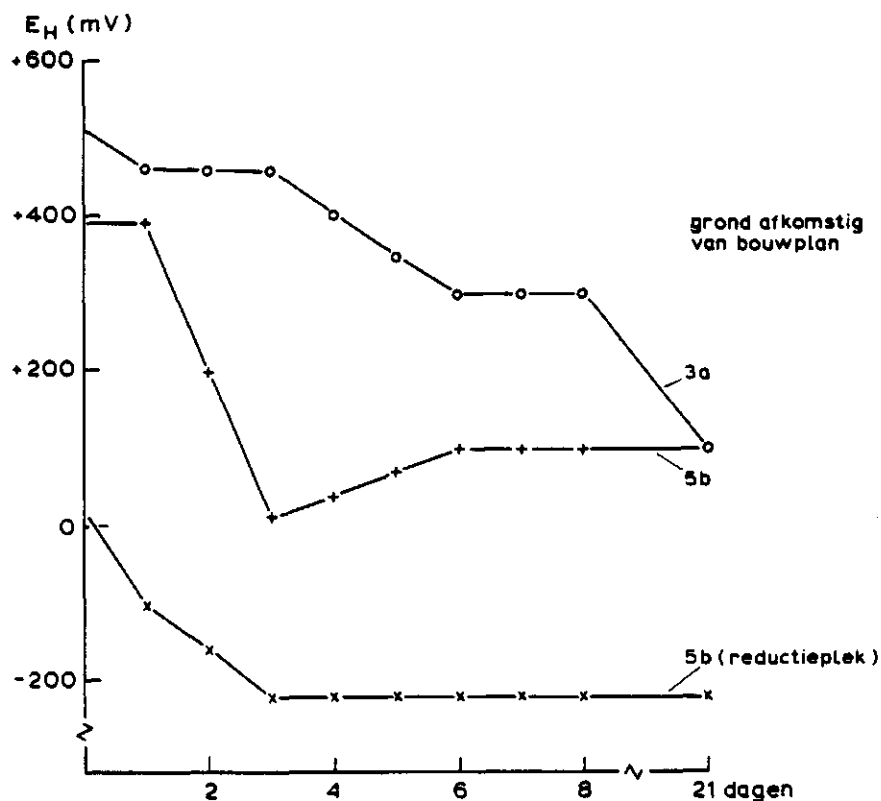


Fig. 3. Het verloop van de redoxpotentiaal (E_H) in verse, niet grijs-blauw gereduceerde grond uit de bouwplannen 3a en 5b en grijs-blauw gereduceerde grond uit bouwplan 5b.

2.4.3 Discussie

Uit de redoxmetingen blijkt zeer duidelijk dat door toevoeging van bietenloof een snelle verlaging van de redoxpotentiaal werd teweeggebracht. De orde van grootte van de redoxpotentiaal, na reductie, bedraagt ca. -200 mV. Bij deze waarde wordt ijzer in de grond gereduceerd. (Gotoh en Patrick, 1974). Bovendien is gebleken dat dergelijke lage redoxpotentialen ook werkelijk in vers genomen grondmonsters voorkwamen (fig. 3). Men mag aannemen dat de reductieprocessen die in het laboratorium in deze monsters zijn opgetreden in het voorjaar ook in de grond plaats kunnen vinden, zij het wat langzamer in verband met de lagere temperatuur.

Uit de proeven blijkt tevens dat het voor wat het reductieproces betreft geen essentieel verschil maakt of bietenloof werd toegevoegd aan 3a of 5b grond. Daarbij moet worden opgemerkt dat eventuele in het veld aanwezige structuurverschillen wel een rol kunnen spelen bij het reductieproces. Bij de redoxmetingen in de vers genomen monsters zou het verschil in grootte en verloop van de redoxpotentiaal tussen 3a en 5b aan de aard van het in de herfst ondergeploegde organisch materiaal (It. raaigras resp. bietenloof) kunnen worden toegeschreven. Groenwold en Vos (1984) vonden in hun onderzoek naar de afbraaksnelheid van organische stof echter geen verschil in verteringskarakteristiek tussen bietenblad (+ koppen) en grasgroenbemester. Het verschil tussen de beide monsters van bouwplan 5b kan alleen veroorzaakt zijn door het verschil in gehalte aan "vers" bietenblad (+ koppen).

De algemene conclusie uit het laboratorium onderzoek is dat redoxpotentiaalmetingen in niet al te sterk uitgedroogde grond zinvolle informatie kunnen geven over de oxydatie-reductietoestand van de bodem. In verband met de mogelijke samenhang van de oxydatie-reductietoestand van de bodem met de gewasopbrengst zijn daarom ook metingen in het veld verricht.

3. VELDONDERZOEK

3.1 Proefopzet

Er werden metingen van de redoxpotentiaal in situ verricht op de bouwplannen 3a en 5b (1978) en 5a en 5b (1979), tijdens de groei van het gewas aardappelen. Voor dit doel werd bij de Technische en Fysische Dienst voor de Landbouw (TFDL) in Wageningen een aantal elektroden gemaakt (bijlage 2). De bouwplannen 5a (aardappelen-suikerbieten-zomergerst met It. raaigras als groenbemesting na de zomergerst) en 5b zijn onderling goed vergelijkbaar. Het aandeel aardappelen

en bieten is in beide bouwplannen 33%, maar in 5a volgen de aardappelen na gerst en in 5b na suikerbieten. De gemiddelde knolopbrengst van aardappelen in 5a is 10-15% en in 5b 15-30% lager dan in de 6-jarige rotatie 3a (Hoekstra, 1981). Per jaar is de knolopbrengst van bouwplan 5b steeds lager dan die van 5a. Naast de redoxpotentiaalmetingen is ook in een aantal bouwplannen gekeken naar het voorkomen van reductiekleuren en ferro-ijzer. Tevens werd in de rotaties 3a en 5b onderzoek gedaan naar de wortelontwikkeling van aardappelen.

3.2 Redoxpotentiaalmetingen

3.2.1 Materiaal en methoden

Op 10 april 1978 werden 10 elektroden op bouwplan 3a geplaatst en 10 elektroden op bouwplan 5b. Daarbij werd er rekening mee gehouden dat de elektroden zich na het poten in het midden van de aardappelrug moesten bevinden. De diepte waarop de elektroden werden aangebracht bedroeg ongeveer 20 cm beneden maaiveld. Dit was de diepte waar de grootste hoeveelheden ondergeploegd gras resp. bietenblad terecht waren gekomen. Bij de plaatsing van de elektroden op bouwplan 5b werd de bovengrond (± 20 cm) voorzichtig verwijderd totdat grijsblauwe plekken zichtbaar werden. Daarna werd het uiteinde van de elektrode in deze plekken gedrukt en vervolgens werd de grond teruggestort en tot de oorspronkelijke ligging aangedrukt. De elektroden op bouwplan 3a werden in volledig onberoerde grond gestoken. Van de elektroden op bouwplan 3a werd op 18 april de helft verwijderd en overgebracht naar bouwplan 5b, waar ze eveneens in onberoerde grond werden gestoken.

Naderhand, op 26 april, werden deze elektroden nogmaals binnen 5b willekeurig verplaatst. De afstand tussen de elektroden varieerde van 5 tot 150 cm. Op 25 april werden de aardappelen gepoot en op 28 april werden de ruggen gemaakt. In de periode van 10 april tot 16 juni werd de redoxpotentiaal 10 keer gemeten met tussenpozen van ongeveer een week, behalve aan het eind van de periode waar bijna drie weken tussen de 8e en 9e meting zit. De waarnemingen werden verricht vanaf een op de grond gelegen plank zodat de omgeving van de elektroden in bodemfysische zin niet werd verstoord. Als referentie-elektrode werd voor de metingen gebruik gemaakt van een verzadigde calomelelektrode ($E_o = 245$ mV) die daartoe, in de nabijheid van de te meten redoxelektrode, in de grond werd gedrukt. De metingen werden verricht met behulp van een draagbare mV-pH meter (WTW, type pH 56). De redoxpotentiaal (E_H) werd berekend uit:

$$E_H = E_{cel} + E_{cal.} = E_{gemeten} + 245 \text{ (mV)}$$

In 1979 was het vanwege het natte voorjaar pas op 7 mei mogelijk de elektroden te plaatsen. Op bouwplan 5a en 5b werden 10 resp. 20 elektroden willekeurig in onberoerde grond geplaatst op een diepte van ca. 20 cm -mv, verdeeld over de rug en de geul met een onderlinge afstand van 20 tot 40 cm. De metingen werden zoveel mogelijk dagelijks verricht van 7 mei t/m 24 augustus op dezelfde wijze als in 1978. Naast de redoxpotentiaalmetingen werd ook de dagelijkse regenval geregistreerd.

3.2.2 Resultaten

De resultaten van de redoxpotentiaalmetingen in 1978 staan weergegeven in figuur 4. Uit de waarnemingen bleek allereerst dat op de dag dat de elektroden werden geplaatst nog geen evenwichtstoestand was bereikt. Het verschil tussen de eerste en de tweede serie waarnemingen was groter dan tussen de tweede en de derde serie. De gemiddelde redoxpotentiaal op bouwplan 3a lag gedurende de gehele periode tussen +500 en +600 mV. De laagste en hoogste waarde die gemeten werd bedroeg resp. +485 mV en +665 mV. De gemiddelde redoxpotentiaal van de elektroden die overgezet zijn van 3a naar 5b was vrijwel gelijk aan die van 3a. Hier is het blijkbaar niet gelukt om de elektroden in een reductieplek te prikken. De redoxpotentiaal van de 10 elektroden op bouwplan 5b die bewust in gereduceerde plekken waren geplaatst bedroeg in het begin van de meetperiode (half april) gemiddeld +170 mV en tegen het einde (half juni) +450 mV. Ook in dit geval bleek de redoxpotentiaal niet altijd laag te zijn. Twee van de tien elektroden hadden gedurende de gehele periode een E_H tussen +445 en +650 mV. Vermoedelijk bevond de platina-elektrode zich hier net buiten de reductieplek. De overige acht elektroden op 5b die doelbewust in grijs-blauwe reductieplekken waren geplaatst bleken vooral in het begin een zeer lage redoxpotentiaal aan te geven. De laagste waarden bedroegen ongeveer -200 mV. Voor een aantal elektroden begon de redoxpotentiaal na twee tot vier weken op te lopen, bij de overige na een week of zes. Na ruim negen weken (16 juni) bleek de redoxpotentiaal in alle gevallen opgelopen te zijn tot waarden van +400 mV en hoger. De waarden van +500 a +600 mV die gedurende de gehele periode op bouwplan 3a werden gevonden waren toen echter nog niet bereikt.

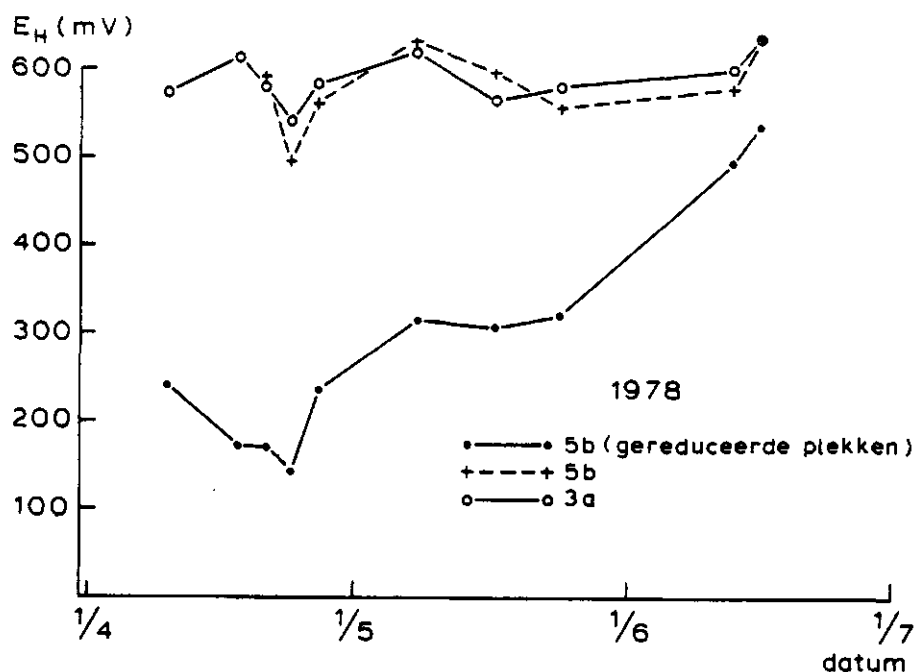


Fig. 4. Het verloop van de redoxpotentiaal (E_H) in de grond op 20 cm -mv van de bouwplannen 3a en 5b in 1978.

In 1979 is bouwplan 3a vervangen door 5a en werden er dagelijks metingen uitgevoerd. In figuur 5 zijn de gemiddelde redoxpotentialen van 5a en 5b weergegeven. Tevens is op dezelfde tijdas de dagelijkse regenval uitgezet. Het blijkt dat de redoxpotentiaal een zeer grillig verloop vertoonde en duidelijk reageerde op een hoeveelheid neerslag. In beide bouwplannen lag de gemiddelde redoxpotentiaal in het algemeen tussen + 450 en + 650 mV overeenkomstig de waarden gevonden in 1978. In 1979 werd alleen op 5 juni (40 mm neerslag) bij een enkele elektrode op bouwplan 5b een E_H gevonden lager dan +200 mV. Gedurende de periode van eind mei tot half juni met veel neerslag lijkt de redoxpotentiaal van 5b wat lager te liggen dan die van 5a.

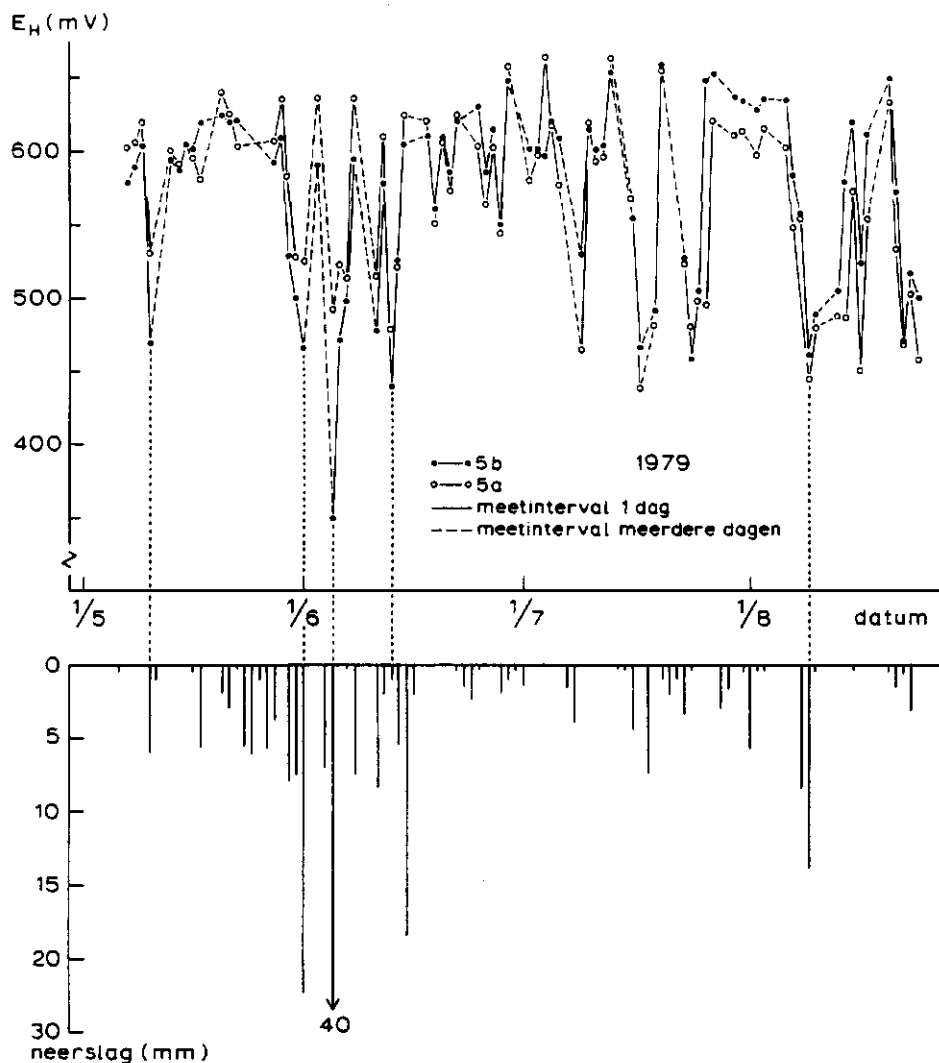


Fig. 5. Het verloop van de redoxpotentiaal (E_H) in de grond op 20 cm -mv van de bouwplannen 5a en 5b en de hoeveelheid neerslag in 1979.

3.2.3 Discussie

Uit de metingen van de redoxpotentiaal blijkt zeer duidelijk dat deze in de grijs-blaauwe reductieplekken die in het voorjaar aanwezig waren aanzienlijk lager was dan er buiten. Bovendien blijkt dat in deze toestand gedurende de eerste 4-6 weken van het groeiseizoen in het algemeen nog weinig verandering optrad. Pas eind mei - begin juni bereikte de redoxpotentiaal meer normale waarden, hoewel ook dan nog niet zulke hoge waarden werden gevonden als buiten deze reductieplekken.

Verder moet worden geconcludeerd dat bij bouwplan 5b buiten de reductieplekken even hoge redoxpotentialen voorkwamen als bij 3a en 5a. Uit de metingen van beide jaren blijkt dat als de elektrode willekeurig in onberoerde grond werd geplaatst de kans uiterst klein was precies in een gereduceerde plek te prikken. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in het feit dat de gereduceerde plekken maar een klein deel van het grondvolume innamen en de oppervlakte van de platina-elektrode zeer klein is. De redoxpotentiaal in de bouwplannen 5a en 5b had tijdens drogere perioden een waarde van +600 mV. Tijdens een periode met neerslag daalde de redoxpotentiaal duidelijk maar bereikte toch zelden een waarde waarbij de zuurstofvoorziening gevaar liep. Volgens Rowell (1981) worden aërobe omstandigheden gekarakteriseerd door E_H -waarden tussen +400 en +600 mV. Turner en Patrick (1968) vonden dat het punt waarop de moleculaire zuurstof was verbruikt overeenkomt met E_H -waarden van +300 tot +350 mV (gecorrigeerd voor pH 7).

3.3 Voorkomen van reductiekleuren en ferro-ijzer.

3.3.1 Materiaal en methoden

In 1978 en 1979 zijn op een aantal tijdstippen met een gutsboor (diameter 2 cm) in een aantal bouwplannen monsters genomen tot een diepte van 30 cm beneden maaiveld. Deze monsters werden beoordeeld op de aanwezigheid van een "grijs-blauwe" reductiekleur om een indruk te krijgen van de mate waarin er in deze bouwplannen reductie optrad in de grond. In 1978 werden er 40 bepalingen uitgevoerd per object en werd de onderste 15 cm van elk monster verzameld tot een mengmonster, waarin na toevoeging van 1N HCl "ferro-ijzer" werd bepaald met behulp van phenantroline. In 1979 werden er 80 bepalingen in elk bouwplan uitgevoerd en werden de monsters alleen op "blauwkleuring" beoordeeld.

3.3.2 Resultaten

In de tabellen 8 en 9 zijn de resultaten van de bemonstering op "blauwkleuring" van de grond weergegeven. Tevens staat in tabel 8 het gehalte aan "ferro-ijzer" in de laag van 15-30 cm beneden maaiveld vermeld.

Tabel 8. Het percentage gereduceerde plekken en het gehalte aan "ferro-ijzer" (mg Fe²⁺ per gram droge grond) in relatie tot bouwplan en voorvrucht in 1978 (40 waarnemingen per object).

datum	bouwplan	gewas	voorvrucht	gereduceerde plekken (%)	Fe ²⁺ (mg.g ⁻¹)
18-4	3a	aard.	erwten*	0	0,09
18-4	5a	aard.	z.gerst*	0	0,08
18-4	5b	aard.	s.bieten	42	0,24
18-4	3a	z.gerst	s.bieten	25	0,21
2-5	3a	aard.	erwten*	0	0,10
2-5	5a	aard.	z.gerst*	0	0,09
2-5	5b	aard.	s.bieten	32	0,26
2-5	3a	z.gerst	s.bieten	10	0,11
19-5	5b	aard.	s.bieten	17	----

* De ondervrucht Italiaans raaigras in de herfst als groenbemester ingeploegd.

In 1978 werd er vanaf 18 april geen reductie (meer) waargenomen in de bouwplannen 3a en 5a met grasgroenbemesting. In bouwplan 5b waren er tijdens de begin-groei van het gewas aardappelen duidelijk gereduceerde plekken in de grond na het voorgewas suikerbieten. Op 18 april werd zelfs in 42% van de grondmonsters gereduceerde grond aangetroffen. Dit percentage was een maand later gedaald tot 17%. Het gehalte aan Fe²⁺ was ongeveer 2 à 3 maal zo hoog in grond waarin relatief veel grijs-blauwe plekken aanwezig waren. Ook bouwplan 3a vertoonde na suikerbieten reductie maar in mindere mate dan 5b. In 1979 werd er in de bouwplannen 3a en 5a na grasgroenbemesting ook reductie waargenomen in tegenstelling tot 1978. De reductieplekken in 5b bleven gedurende het seizoen echter langer bestaan. Ook in latere jaren werden er nog incidenteel waarnemingen verricht naar reductieplekken. De resultaten hiervan kwamen ongeveer overeen met die van 1978.

Tabel 9. Het percentage gereduceerde plekken in relatie tot bouwplan en voorvrucht in 1979 (80 waarnemingen per object).

datum	bouwplan	gewas	voorvrucht	gereduceerde plekken (%)
7-5	3a	aard.	erwten*	--
7-5	5a	aard.	z.gerst*	4
7-5	5b	aard.	s.bieten	9
7-6	3a	aard.	erwten*	10
7-6	5a	aard.	z.gerst*	0
7-6	5b	aard.	s.bieten	12
18-6	3a	aard.	erwten*	2
18-6	5a	aard.	z.gerst*	7
18-6	5b	aard.	s.bieten	2
26-6	3a	aard.	erwten*	0
26-6	5a	aard.	z.gerst*	0
26-6	5b	aard.	s.bieten	7
23-7	3a	aard.	erwten*	0
23-7	5a	aard.	z.gerst*	0
23-7	5b	aard.	s.bieten	0

* De ondervrucht Italiaans raagrass in de herfst als groenbemester ingeplogd.

3.3.3 Discussie

In het voorjaar blijkt er in de grond, waarin de afgelopen herfst bietenloof is ondergeploegd, een aanzienlijke hoeveelheid gereduceerde plekken voor te komen. Vooral in de 3-jarige rotatie 5b kunnen een aantal hiervan vrij lang (tot in de zomer) gereduceerd blijven. In de grond van deze plekken was het gehalte aan ferro-ijzer duidelijk hoger waaruit volgt dat het nitraat hier al is gereduceerd (Turner en Patrick, 1968). De resultaten sluiten aan bij die van de redoxpotentiaalmetingen. Het optreden van gereduceerde plekken in de grond zal in de eerste plaats zijn bepaald door het wel of niet aanwezig zijn van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal. De weersomstandigheden in de herfst tijdens het rooien van de suikerbieten en het onderploegen van het bietenloof, de structuur van de grond en de hoeveelheid neerslag in het nieuwe groeiseizoen zijn daarbij zeer belangrijk.

3.4 Wortelontwikkeling van aardappelen

3.4.1 Materiaal en methoden

In 1978 en 1979 zijn op verschillende data in de rotaties 3a en 5b de de gewichten bepaald van aardappelwortels door middel van boorbemonstering. De monsters werden genomen met een wortelboor (lengte: 20 cm, diameter: 7 cm) midden op de rug, vlak naast een plant in 8 herhalingen. De bovenste 20 cm werd in 1978 in een keer bemonsterd, de diepere lagen om de 10 cm. In 1979 werd de eerste keer de gehele diepte met intervallen van 10 cm bemonsterd. Op de laatste 2 data in 1979 werden de monsters genomen met een boor met een lengte van 15 cm en een diameter van 8 cm. De boormonsters werden met een verdunde oplossing van oxaalzuur gespoeld, waarna van de wortels het drooggewicht werd bepaald (Heringa e.a., 1980).

Op 16 juni 1978 werd in de laag waarin zich het uiteinde van de redoxelektrode bevond rond de elektrode een ringmonster (300 cc) genomen voor een bepaling van de hoeveelheid wortels.

3.4.2 Resultaten

De gemiddelde wortelgewichten werden bepaald voor verschillende diepten (tabel 10 en 11), waarbij de bovenkant van de rug werd aangehouden als nulniveau. De gegevens van 1978 zijn afkomstig uit Heringa e.a. (1980).

Tabel 10. Gemiddeld wortelgewicht (mg.cm^{-3}) van boormonsters uit de rotaties 3a en 5b op verschillende data in 1978 (Heringa e.a., 1980) (n=8).

datum	31/5		8/6		14/6		21/6		11/7		26/7	
bouwplan	3a	5b	3a	5b	3a	5b	3a	5b	3a	5b	3a	5b
diepte (cm)												
0-20	0,31	0,22	0,40	0,22	0,41	0,38	0,27	0,28	0,27	0,35	0,27	0,35
20-30	0,01	0,00	0,13	0,05	0,17	0,11	0,13	0,09	0,11	0,08	0,15	0,12
30-40	0,00	0,00	0,01	0,00	0,10	0,03	0,11	0,09	0,10	0,04	0,12	0,11
40-50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,04	0,01	0,03	0,01
50-60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00

Tabel 11. Gemiddeld wortelgewicht (mg.cm^{-3}) van boormonsters uit de rotaties 3a en 5b op verschillende data in 1979 (n=8).

datum	3/7		datum	7/8		23/8	
bouwplan	3a	5b	bouwplan	3a	5b	3a	5b
diepte (cm)			diepte (cm)				
0-10	0,38	0,29	0-15	0,18	0,19	0,16	0,12
10-20	0,26	0,26	15-30	0,11	0,13	0,13	0,11
20-30	0,12	0,16	30-45	0,08	0,07	0,05	0,04
30-40	0,05	0,06	45-60	----	----	0,02	0,01
40-50	0,00	0,00					
50-60	0,00	0,00					

In 1978 zien we dat bij bouwplan 3a in alle lagen dieper dan 20 cm vanaf de bovenkant van de rug meer aardappelwortels aanwezig waren dan bij bouwplan 5b. In de rug (0-20 cm) had 3a eerst ook meer wortels dan 5b, maar op de laatste 3 data was dit omgekeerd. In 1979 waren de resultaten duidelijk anders. Op 3 juli en 23 augustus had 3a in de rug meer wortels dan 5b en op 7 augustus was er nauwelijks verschil tussen beide bouwplannen. In de diepere lagen had op 3 juli 5b juist meer wortels dan 3a en op de andere beide data was er geen verschil tussen de rotaties.

Bij bouwplan 5b waren ook in deze jaren, in de laag waarin zich de reductieplekken bevonden, op de aardappelwortels vaak plaatselijk bruine necrotische plekken zichtbaar .

De worteldichtheden op 16 juni 1978 rond het uiteinde van de elektroden, staan vermeld in tabel 12. De elektroden 11 t/m 20 waren bewust in grijs-blauwe grond geplaatst. In bouwplan 3a werden twee maal zo veel wortels gevonden als in 5b, maar de spreiding is zo groot dat het verschil niet significant is. De hoeveelheid wortels is echter wel in overeenstemming met de hoeveelheid gevonden op 14 juni in de boormonsters op een diepte van 20 - 30 cm beneden de bovenkant van de rug (tabel 10).

Tabel 12. Drooggewicht (mg.cm^{-3}) van aardappelwortels uit ringmonsters (300 cc) rond het uiteinde van de elektroden in de rotaties 3a en 5b op 16 juni 1978.

bouwplan 3a		bouwplan 5b	
elektrode- nummer	drooggewicht (mg.cm^{-3})	elektrode- nummer	drooggewicht (mg.cm^{-3})
1	0,23	2	0,01
3	0,21	4	0,11
5	0,22	6	0,01
7	0,06	8	0,07
9	0,09	10	0,09
		11	0,13
		12	0,10
		13	0,10
		14	0,07
		15	0,08
		16	0,05
		17	0,11
		18	0,12
		19	0,05
		20	0,08
gem.	0,16	gem.	0,08

3.4.3 Discussie

De gemiddelde dichtheid van de aardappelwortels van de bouwplannen 3a en 5b was in beide jaren ongeveer even groot. Bouwplan 3a had in 1978 onder de aardappelrug op alle data meer wortels dan 5b, maar in 1979 was dit verschil niet aanwezig. Luitjens e.a. (1979) vonden met behulp van de plasticfolie-tekenmethode, dat begin juli van de jaren 1975, 1976 en 1977 bij aardappelen op bouwplan 3a de laag van 0-20 beneden maaiveld intensiever werd doorworteld dan op bouwplan 5b. Later in het groeiseizoen was er nauwelijks verschil in intensiteit van de beworteling.

Heringa e.a. (1980) vonden in de maand juni van 1977 minder aardappelwortels op bouwplan 5b dan op bouwplan 3a in de lagen 20-30 cm en 30-40 cm beneden maai-veld. Vos en Groenwold (ongepubliceerd) vonden in hun onderzoek naar de bewor-teling van aardappelen in 1982 en 1983 geen significante verschillen in wortel-dichtheid tussen 5b en 2a (6-jarige rotatie) in de lagen onder de aardappelrug gedurende juli en augustus. Alleen in september werd in beide jaren een signi-ficant verschil gevonden ten nadele van bouwplan 5b.

Een necrotische verkleuring van wortels van slazaailingen waarvan de wortels in contact kwamen met plantenresten die aan het verteren waren werd ook gevonden door Patrick e.a. (1963). Zij vonden in de necrotische lesies geen pathogene organismen. Toussoun en Patrick (1963) vonden dat wortelrot bij bonen (bruine lesies op wortels en stengels), veroorzaakt door o.a. *Fusarium solani* en *Rhizoctonia solani*, zeer sterk toenam als de wortels voor inoculatie met deze pathogenen waren behandeld met een extract van verterende plantenresten.

4. DE BETEKENIS VAN ONDERGEploegd BIETENLOOF VOOR DE OPBRENGST VAN CONSUMPTIEAARDAPPELEN

Uit opbrengstgegevens van aardappelen (Hoekstra, 1978;1979) blijkt dat ook in 1978 en 1979 de resultaten bij bouwplan 5b weer veel slechter waren dan bij 3a. Dit zou er op kunnen wijzen dat er een verband is tussen de reductie-verschijnselen en de opbrengstvermindering. Het verschil in opbrengst tussen 5b en 5a (waar in de vorige herfst evenals bij 3a geen bietenblad is onderge-ploegd) is deze jaren echter opvallend gering: 3 - 6% tegen 8% of meer in voorgaande jaren.

Reductieplekken in het veld zijn niet toegankelijk voor het wortelstelsel van de aardappel. Een deel van de normaal bewortelbare zone kan daardoor niet door de aardappelplant worden benut. In hoeverre de reductieverschijnselen in het veld een negatieve invloed hebben op de wortelgroei in zijn totaliteit zal sterk afhankelijk zijn van het aantal reductieplekken in de bouwvoor. Hiervoor is de hoeveelheid reductie in het veld die gevonden wordt door middel van boorbemonstering waarschijnlijk een betere maat dan willekeurige metingen van de redoxpotentiaal. Naast het aantal gereduceerde plaatsen die wortels op hun weg naar beneden ontmoeten is het tijdstip waarop de reductie optreedt van belang voor de schade aan het gewas. Gezien het percentage grondmonsters dat in de eerste weken van het groeiseizoen van 1978 reductieverschijnselen te zien gaf is een negatieve invloed van gereduceerde plekken op de begingroei niet onwaarschijnlijk.

De waarnemingen naar de beworteling van aardappelen (Luitjens e.a., 1979; Heringa e.a., 1980; Vos en Groenwold, ongepubl.) zijn doorgaans vrij laat in het groeiseizoen verricht toen de hevigheid van de reductie reeds afgenomen was. Uit deze cijfers valt dus niet af te leiden of de beginontwikkeling van de beworteling regelmatig is vertraagd in bouwplan 5b. Het achterblijven van het gewas aardappelen in 5b openbaarde zich reeds eind juni.

Het onderploegen van bietenloof heeft in principe een opbrengstverhogend effect (bodemchemisch en -fysisch) (Hoekstra, 1981). In bouwplan 5b ontbreekt dit positieve effect, ook na het onderploegen van grotere hoeveelheden bietenloof. Het positieve effect kan hier zijn opgeheven door de negatieve effecten van gereduceerde grond zoals die zich in het laboratoriumonderzoek voordeden. Wanneer er reductieplekken voorkomen is het belangrijk dat het wortelstelsel het overige deel van het profiel voldoende kan exploreren. Het is bekend (Hoekstra, 1981; Vos en Groenwold, ongepubliceerd) dat de fosfaatopname bij aardappelen in bouwplan 5b duidelijk lager is dan die in de overige bouwplannen. Blijkbaar kan het wortelstelsel niet voldoende fosfaat opnemen. De oorzaak hiervan kan niet duidelijk verklaard worden uit de bewortelingsgegevens. Wellicht is het wortelstelsel van aardappelen in bouwplan 5b minder homogeen verdeeld en slechter van kwaliteit waardoor fosfaat (immobiel) minder wordt opgenomen. Op een vruchtbare grond met een goed doorwortelbaar profiel waarin een goed functionerend wortelstelsel kan ontstaan zullen reductieplekken in de bouwvoor niet leiden tot een lagere opbrengst. Bodems met een beperkte bewortelbaarheid of natte jaren zouden wel aanleiding kunnen geven tot een verminderde knolopbrengst door reductieplekken in de grond na het onderploegen van bietenloof.

De algemene conclusie die uit het onderzoek kan worden getrokken is: Het onderploegen van bietenloof geeft aanleiding tot het optreden van reductie in de grond, die gepaard gaat met lage redoxpotentialen. De reductieplekken zijn schadelijk voor het goed functioneren van het wortelstelsel. In de praktijk is het optreden van lagere redoxpotentialen van groot belang voor het ontstaan van N-verliezen in de grond door denitrificatie. In het kader van dit onderzoek is een kwantificering van deze N-verliezen niet mogelijk vanwege de heterogeniteit van de reductieplekken in de grond.

5. CONCLUSIES

- In grondmonsters van het vruchtwisselingsproefveld op De Schreef kunnen zeer snel reductieprocessen optreden na toevoeging van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal.
- De herkomst van de grond (bouwplan 3a of 5b) heeft geen duidelijke invloed op het reductieproces.
- De wortelontwikkeling van vlas is in "grijs-blauw" gereduceerde grond en in percolaten van deze grond zeer sterk geremd.
- De remmende werking van de gereduceerde grond op de wortelontwikkeling van vlas moet worden toegeschreven aan een complex van factoren. Een aantal fytotoxische stoffen die vrijkomen bij de omzetting van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal onder anaërobe omstandigheden spelen daarbij waarschijnlijk een belangrijke rol.
- In het voorjaar komen er in de grond, waarin de vorige herfst bietenloof is ondergeploegd, een aanzienlijke hoeveelheid gereduceerde plekken voor. Deze kunnen vooral in de 3-jarige rotatie 5b tot in de zomer gereduceerd blijven.
- Het onderploegen van grasgroenbemester als organisch materiaal heeft geen of weinig reductie van de grond ten gevolge.
- De redoxpotentiaal in reductieplekken in bouwplan 5b is aanzienlijk lager dan er buiten. Na het voorjaar bereikt de redoxpotentiaal weer normale waarden. Buiten de reductieplekken komen in bouwplan 5b even hoge redoxpotentialen voor als in 3a en 5a.
- In reductieplekken treden door denitrificatie N-verliezen op.
- De redoxpotentiaal in de grond van de bouwplannen 5a en 5b daalt duidelijk tijdens een periode met regen, maar bereikt zelden een waarde waarbij de zuurstofvoorziening gevaar loopt.
- De gemiddelde dichtheid van de aardappelwortels in de bouwplannen 3a en 5b is ongeveer even groot. De aardappelwortels in bouwplan 5b vertonen op de diepte waar reductieplekken voorkwamen vaak necrotische verkleuringen.
- De tijdens het onderzoek geformuleerde veronderstelling dat de opbrengstderving bij aardappelen in bouwplan 5b veroorzaakt wordt door het optreden van reductieverschijnselen (tengevolge van het onderploegen van bietenloof) wordt door bovenstaande conclusies ondersteund. Een afdoend bewijs is er echter nog niet geleverd.

6. SAMENVATTING

Uit onderzoek op het vruchtwisselingsproefveld "De Schreef" blijkt dat de opbrengst van consumptieaardappelen afneemt bij toenemende teeltfrequentie. Deze opbrengstvermindering wordt nog versterkt als in een 3-jarige rotatie de aardappelen geteeld worden na het gewas suikerbieten. In een laboratoriumproef werd nagegaan of een tijdelijk slechte aëratietoestand van de grond verantwoordelijk zou kunnen zijn voor de slechte gewasgroei na suikerbieten. Daarbij werd grond van "De Schreef" gepercoleerd met water (met of zonder toevoeging van nitraat en/of sucrose) en waarbij wel of geen bietenloof (blad + koppen) aan de grond was toegevoegd. Uit metingen van de oxydatie-reductietoestand van de grond bleek dat na toevoeging van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal er zeer snel reductie in de grond optrad. De redoxpotentiaal daalde hierbij binnen 24 uur tot -200 mV. Tijdens het reductieproces kon NO_2^- en ferro-ijzer aangetoond worden in de grond, terwijl deze een grijs-blauwe kleur kreeg. Naast deze gereduceerde stoffen ontstonden organische zuren. De wortelontwikkeling van vlas werd in de gereduceerde grond en op percolaten van deze grond zeer sterk geremd. Het reductieproces en de remmende werking werden niet beïnvloed door de herkomst van de grond (3-jarige rotatie 5b of 6-jarige rotatie 3a). In verse monsters afkomstig van bouwplan 5b die ook een blauwgrijze reductiekleur vertoonden werd eveneens een zeer lage redoxpotentiaal (-230 mV) gevonden en de wortelontwikkeling van vlas in deze grond werd eveneens sterk geremd. De oorzaak van de remmende werking van de gereduceerde grond moet worden gezocht in een complex van factoren waarbij een aantal fytotoxische stoffen (o.a. organische zuren) een belangrijke rol kunnen spelen.

Naast het laboratoriumonderzoek zijn er op "De Schreef" in de bouwplannen 3a en 5b (1978) en 5a en 5b (1979) redoxpotentiaalmetingen verricht. Tevens werd onderzoek uitgevoerd naar het voorkomen van gereduceerde plekken in de grond van een aantal rotaties en naar de beworteling van aardappelen in de bouwplannen 3a en 5b. Uit de resultaten bleek dat vooral in bouwplan 5b na het gewas suikerbieten er veel gereduceerde plekken in de grond kunnen voorkomen. In het voorjaar van 1978 bevatte zelfs 42% van het aantal genomen monsters een hoeveelheid grijs-blauw gereduceerde grond. Er konden op bouwplan 5b alleen zeer lage redoxpotentialen worden aangetoond als de elektroden bewust in een grijs-blauwe plek werden gestoken. De redoxpotentiaal in deze plekken bleef de eerste weken van het groeiseizoen vrij laag.

Pas omstreeks 1 juni werden weer normale waarden bereikt. Redoxelektroden die willekeurig in onberoerde grond werden gestoken hadden in de onderzochte bouwplannen allemaal ongeveer dezelfde E_H die varieerde tussen +450 en +650 mV. De redoxpotentiaal reageerde duidelijk op neerslag maar bereikte zelden de lage waarden die indicatief zijn voor zuurstoftekort in de grond.

Uit het onderzoek naar de wortelontwikkeling van aardappelen kwam naar voren dat in 1978 bouwplan 5b minder aardappelwortels had dan bouwplan 3a onder de aardappelrug, maar in 1979 werd dit verschil niet gevonden. De aardappelwortels in bouwplan 5b vertoonden op de diepte waar gereduceerde grond werd gevonden vaak necrotische verkleuringen. De negatieve invloed van gereduceerde grond (na het inbrengen van gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal) die in het laboratorium werd gevonden kwam in het veld niet duidelijk tot uiting bij de aardappelopbrengsten. Op vruchtbare en buiten de reductieplekken goed doorwortelbare grond kan het wortelstelsel voldoende water en nutriënten opnemen voor een goede gewasgroei. Reductieplekken zouden in bodems met een slecht doorwortelbaar profiel of in natte jaren wel een negatieve invloed op de aardappelopbrengst kunnen hebben.

Het is duidelijk dat het onderploegen van bietenloof (als gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal) kan leiden tot reductieverschijnselen waarbij de redoxpotentiaal zeer snel daalt en waarbij er door denitrificatie N-verliezen kunnen optreden. In de gereduceerde grond moeten de omstandigheden voor een goede wortelontwikkeling en optimale groei van het gewas als zeer slecht worden beschouwd. Mede uit de opbrengstgegevens van aardappelen na het onderploegen van grotere hoeveelheden bietenloof (Hoekstra, 1981) moet echter geconcludeerd worden dat een oorzakelijke relatie tussen het optreden van reductieverschijnselen en de opbrengstderving van aardappelen in bouwplan 5b aannemelijk is, maar niet met zekerheid kon worden aangetoond.

7. LITERATUUR

- BOER, S. de, 1965. Jaarverslag van de Stichting voor de Nederlandse Vlasteelt en Vlasbewerking over 1964. Mededeling No. 46, 13-14. Stichting voor de Nederlandse Vlasteelt en Vlasbewerking, Wageningen.
- BREEUWSMA, A., 1978. Samenspel van chemische, fysische en biologische processen. In: handboek voor Milieubeheer, deel IV, hoofdstuk 2.2.4, Vermande Zonen, IJmuiden.
- GOTOH, S. and W.H. PATRICK, JR., 1974. Transformation of iron in a waterlogged soil as influenced by redox potential and pH. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38, 66-71.
- GROENWOLD, J. en J. VOS, 1984. Metingen en berekeningen van afbraak van organische stof in grond. CABO-verslag nr. 54. Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, Wageningen. 25pp.
- GUENZI, W. and T.M. McCALLA, 1966. Phytotoxic substances extracted from soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30, 214-216.
- HERINGA, J.W., 1975. Stoffen uit oogstresten die schadelijk zijn voor de navrucht. Bedrijfsontwikkeling 6, 545-546.
- HERINGA, J.W., J. GROENWOLD and D. SCHOONDERBEEK, 1980. An improved method for the quantitative measurement of crop roots. Neth. J. agric. Sci. 28, 127-134.
- HOEKSTRA, O., 1978; 1979. Projectverslagen, PAGV, Lelystad.
- HOEKSTRA, O., 1981. 15 Jaar "De Schreef". Publ. nr. 11, PAGV, Lelystad. 93 pp.
- KIMBER, R.W.L., 1967. Phytotoxicity from plant residues. I. The influence of rotted wheat straw on seedling growth. Austr. J. Agric. Res. 18, 361-374.
- KIMBER, R.W.L., 1973. Phytotoxicity from plant residues. II. The effect of time of rotting of straw from some grasses and legumes on the growth of wheat seedlings. Plant and Soil 38, 347-361.
- LEE, R.B., 1979. The effect of nitrite on root growth of barley and maize. New. Phytol. 83, 615-622.
- LUITJENS, E.J., G.A. VAN SOESBERGEN en O. HOEKSTRA, 1979. Aspecten van het vruchtwisselingsonderzoek op "De Schreef". Rapport nr. 1425, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. 114 pp.
- LYNCH, J.M., 1977. Phytotoxicity of acetic acid produced in the anaerobic decomposition of wheat straw. J. appl. Bact. 42, 81-87.
- LYNCH, J.M., 1978. Production and phytotoxicity of acetic acid in anaerobic soils containing plant residues. Soil Biol. Biochem. 10, 131-135.
- PATRICK, Z.A., T.A. TOUSSOUN and W.C. SNYDER, 1963. Phytotoxic substances in arable soils associated with decomposition of plant residues. Phytopathology 53, 152-161.
- ROWELL, D.L., 1981. Oxidation and reduction. In: D.J. Greenland and M.H.B. Hayes (Eds): The chemistry of soil processes. John Wiley & Sons, Chichester, 401-461.
- TOUSSOUN, T.A. and Z.A. PATRICK, 1963. Effect of phytotoxic substances from decomposing plant residues on root rot of bean. Phytopathology 53, 265-270.
- TURNER, F.T. and W.H. PATRICK, 1968. Chemical changes in waterlogged soils as a result of oxygen depletion. In: Transactions of the 9th International Congress of Soil Science. Vol IV, Adelaide. International Society of Soil Science, 53-65.
- WALLACE, JOAN M. and L.F. ELLIOTT, 1979. Phytotoxins from anaerobically decomposing wheat straw. Soil Biol. Biochem. 11, 325-330.

Bijlage 1. Bouwplannenproef "De Schreef"

aandeel hakvruchten	code van het bouwplan	bouwplannen
geen hakvruchten	1	w.tarwe-vlas-grasz.*-koolz.-z.gerst*-gr.erwt.
1/6 hakvruchten	2a	w.tarwe-vlas-grasz.*-aard.z.gerst*-gr.erwt.
	2b	w.tarwe-vlas-grasz.*-s.bieten-z.gerst*-gr.erwt.
2/6 hakvruchten	3a	w.tarwe-vlas*-s.bieten-z.gerst-gr.erwt.*-aard.
	3b	aard.-z.gerst-luzerne
	3c	aard.-z.gerst-grasz.*
	3d	s.bieten-z.gerst-grasz.*
3/6 hakvruchten	4a	z.gerst*-aard.-w.tarwe*-s.bieten
	4b	z.gerst*-aard.-grasz.*-s.bieten
4/6 hakvruchten	5a	aard.-s.bieten-z.gerst*
	5b	aard.-grasz.*-s.bieten
2/6 hakvruchten	6a	kunstw.-aard.-s.bieten-gr.erwt.*-haver-w.tarwe
+ variërend aan-	6b	kunstw.-kunstw.-aard.-s.bieten-gr.erwt.-w.tarwe
deel kunstweide	6c	kunstw.-kunstw.-kunstw.-aard.-s.bieten-z.gerst

* betekent: groenbemesting (Ital. raaigras na w.tarwe, z.gerst, erwten en graszaad; witte klaver na vlas).

Bijlage 2.

