



Wilgenteelt op baggerspecie

Energiewinning uit afval en biomassa (EWAB)

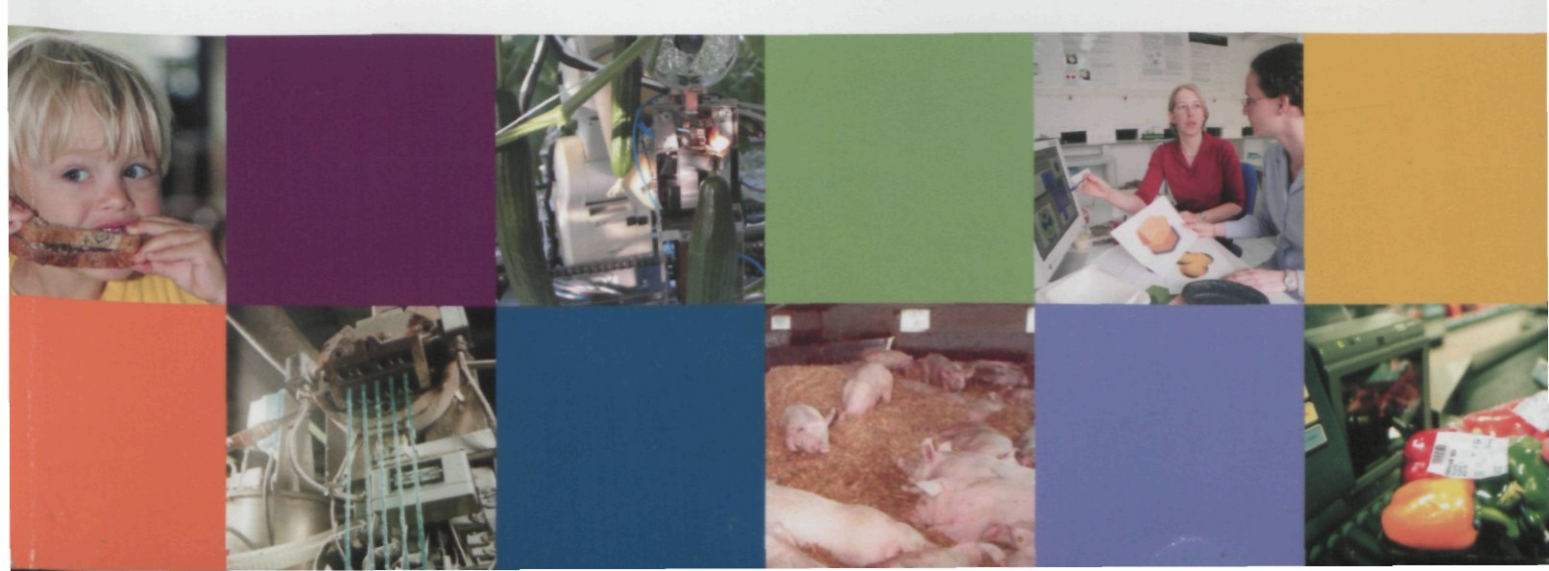
G.D. Vermeulen (A&F)

J.F.M. Huijsmans (A&F)

J. Harmsen (Alterra)

C. Sonneveld (VOF Oostwaardhoeve)

Rapport 241



Wilgenteelt op baggerspecie

Energiewinning uit afval en biomassa (EWAB)

G.D. Vermeulen (A&F)

J.F.M. Huijsmans (A&F)

J. Harmsen (Alterra)

C. Sonneveld (VOF Oostwaardhoeve)

Rapport 241

Colophon

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van SenterNovem, in het kader van BSE-programma Energiewinning uit afval en biomassa (EWAB; projectnummer 355198/1100).

Contactpersoon bij SenterNovem: de heer H. Kuypers.

Dit onderzoek is uitgevoerd door WUR (A&F en Alterra) in samenwerking met VOF Oostwaardhoeve te Slootdorp, een samenwerkingsverband van De Vries & van de Wiel te Schagen en WUR-A&F te Wageningen.

Title	Wilgenteelt op baggerspecie; Energiewinning uit afval en biomassa (EWAB)
Author(s)	G.D. Vermeulen, J.F.M. Huijsmans, J. Harmsen, C. Sonneveld
A&F number	241
ISBN-number	90-6754-831-6
Date of publication	Oktober 2004
Confidentiality	non
Project code	630.51740.01

Agrotechnology & Food Innovations B.V.
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 475 024
E-mail: info.agrotechnologyandfood@wur.nl
Internet: www.agrotechnologyandfood.wur.nl

© Agrotechnology & Food Innovations B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.

This report is authorised by: J.F.M. Huijsmans



The quality management system of Agrotechnology & Food Innovations B.V. is certified by SGS International Certification Services EESV according to ISO 9001:2000.

Abstract

Growing willow, combined with bioremediation of dredged PAH and oil-contaminated sediment sludge from Dutch waters, is an interesting option to produce biomass for sustainable energy production. Research objectives were to evaluate the suitability of several willow clones and technology for crop protection and harvest for this so called extensive landfarming concept, and to assess the feasibility. The uptake of heavy metals by the various willow clones differed by a factor 2 to 3, but in all cases the biomass was suitable for co-firing in powder-coal plants up to 15% on the basis of energy value. The Swedish clones Sven and Tora gave the highest biomass yield. Solutions for crop protection and harvest of the willow were proposed.

In technical sense, the concept of “willow on dredged sediment sludge” is feasible, with a clear advantage in reducing land costs for both activities. Attention should be paid to ensuring timely availability of suitable dredging sludge. A market outlet for the biomass was not realized yet. The potential of other crops and adding additional land functions (landscape, nature, recreation) need to be considered.

Key words: willow, biomass, sustainable energy, bioremediation, PAH, mineral oil, dredged sediment sludge, contaminated soil

Content

1 Inleiding	5
1.1 Achtergrond	5
1.2 Doelstellingen	10
2 Plan en uitvoering	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Aanleg proefveld voor wilgenteelt op baggerspecie	11
2.3 Klonenonderzoek	15
2.3.1 Kloneselectie	15
2.3.2 Teelt	16
2.3.3 Lay-out van het proefveld	18
2.3.4 Metingen	18
2.4 Technologie voor gewasbescherming en oogst	20
2.5 Monitoren verspreiding van stoffen	20
3 Resultaten	21
3.1 Klonenonderzoek	21
3.1.1 Gewaskarakteristieken	21
3.1.2 Opname van zware metalen en macro-ionen	23
3.2 Technologie voor gewasbescherming en oogst	24
3.3 Bedrijfsgegevens over verspreiding van stoffen	25
4 Discussie	29
5 Conclusies	35
Literatuur	37
Bijlage 1	Zware metalengehalten in hout en bast afzonderlijk
	39

1 Inleiding

Een van de doelstellingen genoemd in de derde energienota (Anon. 1995) is om het gebruik van duurzame energie toe te laten nemen tot 270 PJ uitgespaarde energie uit fossiele brandstoffen in het jaar 2020, waarvan 75 PJ door energieopwekking met biomassa. Om deze doelstelling te halen zal ook geteelde biomassa noodzakelijk zijn. Energieteelt op landbouwgrond in Nederland is vooralsnog echter te duur. De kostprijs van geteelde biomassa zou aanzienlijk kunnen dalen door verlaging van de grondkosten, die bij de (grootschalige) teelt op landbouwgrond ongeveer 46% van de kosten uitmaken (Gigler *et al.*, 1996). In dit verband bieden benutting van goedkope locaties en/of combinatie van energieteelt met andere activiteiten op hetzelfde terrein mogelijk perspectief. Een van de meest interessante opties is om energieteelt te combineren met baggerspeciereiniging (Vermeulen *et al.*, 1998a; Breteler *et al.*, 2001). Internationaal is er aandacht voor de teelt van wilgen op vervuilde marginale gronden (Paulson *et al.*, 2003). Hierbij wordt niet alleen gekeken naar de energieopbrengst, maar ook de bijdrage die de aanplant heeft in de ontwikkeling van een vervuild gebied. Een vervuild gebied kan door de aanplant veranderen in een aantrekkelijke locatie.

Het in dit rapport beschreven onderzoek had tot doel om na te gaan of wilgenteelt in combinatie met baggerspeciereiniging in de praktijk haalbaar is. Als achtergrond voor het onderzoek naar deze haalbaarheid wordt hieronder ingegaan op de huidige kennis en ervaring op het gebied van wilgenteelt, baggerspeciereiniging en de combinatie daarvan.

1.1 Achtergrond

Wilg als energiegewas

Wilg en populier zijn energiegewassen met relatief lage kosten per ton vermeden CO₂ emissie (Biewinga & van der Bijl, 1996). Omdat bekend is dat wilg ook goed groeit op natte grond lijkt wilg bij uitstek geschikt voor combinatie van energieteelt met (natte) baggerspecie. In Zweden en Engeland wordt wilg als energiegewas geteeld. Voor de teelt is reeds mechanisatie ontwikkeld. Bij de oogst is het gewas redelijk homogeen, zodat het perspectieven biedt voor de verdere verwerking.

Agrotechnology & Food Innovations (WUR-A&F) heeft in de afgelopen jaren onderzoek verricht en ervaring opgedaan met de teelt van wilg op proefbedrijf de Oostwaardhoeve. Er werd met name aandacht besteed aan de agronomische aspecten, mechanisatie van de wilgenteelt, post-harvest technologie en logistiek (Gigler, 2000).

Baggerspeciereiniging

Om de functie van watergangen in stand te houden is regelmatig onderhoud (opschonen, baggeren) noodzakelijk. Van oudsher wordt hierbij de bagger naast de watergang op de kant gezet, waar het indroogt en daarna weer als normale grond gebruikt kan worden. Dit gebeurt nog steeds en mag ook als de specie licht verontreinigd is (verontreinigingsklassen 1 en 2). Als de baggerspecie matig tot zwaar verontreinigd is (verontreinigingsklassen 3 en 4) mag deze niet meer op de kant gezet worden, maar moet worden gestort of verwerkt. Volgens globale ramingen zou in de komende 20 jaar jaarlijks 6,4 miljoen m³ klasse 3-4 specie uit rijkswatergangen en een nog

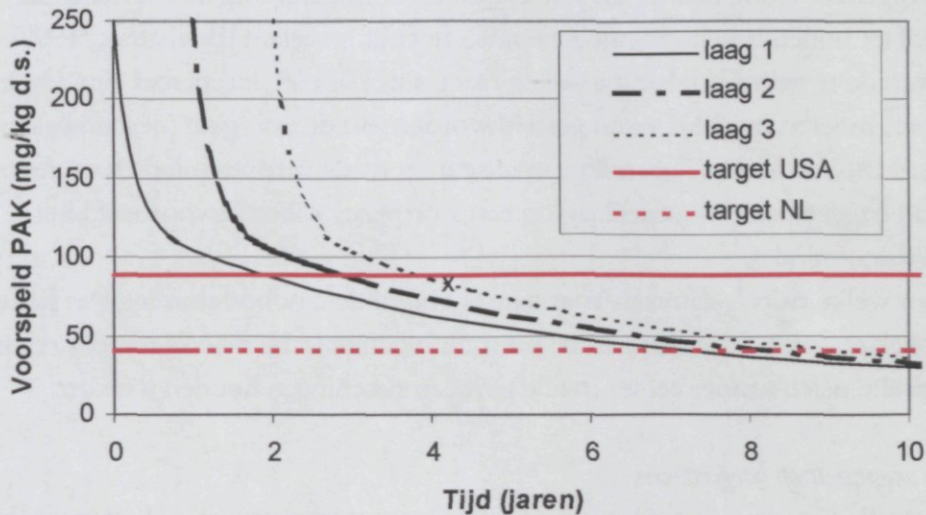
onbekende hoeveelheid verontreinigde specie uit sloten en vaarten in het landelijk gebied gestort of verwerkt moeten worden (Harmsen *et al.*, 1997). Daarnaast moet ook een hoeveelheid klasse 1 en 2 specie verwerkt worden, omdat naast de watergang geen plaats is om de specie op de kant te zetten. In het laatste tienjarensceario wordt de totale hoeveelheid licht tot zwaar verontreinigde specie (klasse 2, 3 en 4), die tot 2010 gebaggerd moet worden, geschat op 250 miljoen m³ (Anon., 2001).

Storten of verwerken van baggerspecie is duur. De hoge kosten weerhouden waterbeheerders ervan om verontreinigde waterbodems naar behoren te onderhouden met alle gevolgen van dien. De baggerspecieproblematiek is daarom een groot maatschappelijk probleem. Een van de methoden om baggerspecie te reinigen is landfarming (ook wel: bioremediatie). Hierbij wordt een laag baggerspecie op het land of in een depot aangebracht die zodanig wordt behandeld dat biologische afbraak van de verontreinigingen plaats vindt. Dit kan intensief gebeuren (veel bewerkingen van de specie) of extensief (voornamelijk via natuurlijke processen). Landfarming wordt gezien als één van de perspectievolle mogelijkheden om baggerspecie te verwerken (Anon., 2001).

Bij landfarming van baggerspecie onderscheiden we de rijpingsfase, waarin water aan de bagger onttrokken wordt, en de reinigingsfase waarin de afbraak onder aërobe condities plaats vindt. Door het telen van gewassen op de grondlaag kan zowel de rijping als de reiniging van de baggerspecie bevorderd worden. Landfarming is een oplossing voor PAK- en olieverontreinigde bagger, omdat deze verbindingen afbreekbaar zijn. Hoe lang de reiniging zal duren hangt sterk af van het begingehalte en de soort PAK en/of olie. Voor onttrekking van zware metalen aan de grond via opname in en afvoer van geteelde gewassen biedt landfarming vooralsnog weinig perspectief, omdat de door planten opgenomen hoeveelheden zware metalen zeer klein zijn. Voor landfarming geschikte olie- en PAK- verontreinigde species zijn vrijwel altijd ook verontreinigd met zware metalen. De kwaliteit van de grond na reiniging hangt sterk af van de mate van verontreiniging met zware metalen. In het gunstigste geval (geen zware metalen) wordt multifunctionele landbouwgrond verkregen, maar vaak zal licht met zware metalen verontreinigde grond (bouwstof) verkregen worden. Bagger met hoge gehalten aan zware metalen, is ongeschikt voor landfarming.

De kosten die gemaakt worden voor de landfarming van baggerspecie zijn voornamelijk de aanlegkosten (kosten van vergunningen, inrichting van het terrein en toediening van de specie), de grondkosten gedurende de verwerkingsperiode en de kosten voor eventueel noodzakelijke verwijdering en afvoer van de ontstane grondlaag. Door te werken in meerdere lagen kan het ruimtebeslag worden beperkt. Dit betekent dat een relatief dunne laag bagger wordt verspreid. Deze laag zal ontwateren en de makkelijk afbreekbare componenten zullen verdwijnen. Zodra dit het geval is, kan een volgende laag worden opgebracht. In de bovenste laag begint het proces opnieuw en in de onderste laag zal de afbraak langzaam worden voortgezet. Nieuwe lagen

kunnen worden opgebracht zolang de onderste laag zuurstof blijft bevatten. Het resultaat van dit 4-dimensionale concept (oppervlak, hoogte en tijd) is schematisch weergegeven in figuur 1. De effectiviteit hangt af van het te bereiken concentratieniveau. In het voorbeeld kan in de USA na 4 jaar de gewenste concentratie bereikt worden in 3 in plaats van 2 lagen. Bij de strengere Nederlandse norm kunnen evenals bij 1 laag ook 3 lagen in ca. 9 jaar worden gereinigd.



Figuur 1 Voorspelde afbraak van PAK bij laagsgewijze toepassing van baggerspecie in combinatie met energieteelt (Harmsen & Sims, 2003).

Risico's van landfarming hangen samen met de volgende bodemfuncties (ISO/FDIS 15799):

- Retentiefunctie - Er zijn geen risico's als de bodem verontreinigingen op een zodanige wijze vastlegt, dat ze niet gemobiliseerd worden en via de waterfase terecht kunnen komen in de voedselketen.
- Habitatfunctie – Er zijn geen risico's als de bodem kan dienen als goede leefomgeving voor micro-organismen, planten en hogere organismen en hun onderlinge interactie.

Risico's voor de retentiefunctie kunnen worden gekarakteriseerd door uitspoeling naar de omgeving en effecten op organismen levend in de waterfase. Deze risico's nemen snel af bij landfarming en zijn verdwenen als de baggerspecie ontwaterd is en een aërobe structuur is verkregen.

Risico's voor de habitusfunctie zijn er zolang door direct contact met de bodemfase overdracht van verontreinigingen mogelijk is. Deze risico's blijven langer bestaan; ze zijn in het algemeen niet meer waarneembaar na een periode van 6-10 jaar (Harmsen, 2004). In aanwezigheid van zware metalen kan, afhankelijk van de samenstelling van de gevormde metalen, het risico langer blijven bestaan. Dit risico is beperkt onderzocht op zowel de landfarm Kreekraksluizen (Harmsen, 2004) als op de Oostwaardhoeve (Boels *et al.*, 1999; Vermeulen *et al.*, 1998b). Zolang het gaat om species, die na rijping een grond opleveren met een hoge pH (> 7) spoelen de zware metalen niet waarneembaar uit en zijn de risico's dus beperkt. Op de Oostwaardhoeve is een

verhoging van de beschikbaarheid van zware metalen in de ondergrond gemeten, vermoedelijk ten gevolge van een verhoogd zoutgehalte in de toegepaste specie.

Het in het kader van het Programma Milieutechnologie (uitvoering NOVEM) ontwikkelde concept van bodembescherming (Harmsen *et al.*, 1996), is toegepast op de Oostwaardhoeve. Hierbij zorgt een natuurlijk of kunstmatig verhoogd organische stofgehalte voor een filterwerking, waardoor uitspoeling wordt voorkomen. Op de Oostwaardhoeve was het natuurlijk organische stofgehalte hoog genoeg en was extra toevoeging van organisch materiaal niet noodzakelijk. Het bodembeschermingconcept is effectief gebleken (Boels *et al.*, 1999).

Afhankelijk van de te gebruiken locatie zullen risico's wel of niet acceptabel zijn. Op een schone landbouwgrond moeten duidelijk eisen gesteld worden aan de uitloging (beschikbaarheid) van zware metalen. Dit kan anders liggen bij toepassing op reeds verontreinigde terreinen. Bij toepassing van baggerspecie als afdeklaag op een stortplaats speelt bijvoorbeeld het verspreidingsrisico minder.

Bepalend voor welke risico's aanvaardbaar zijn, is vooral de eindbestemming van het terrein. Bij voor het publiek gesloten terreinen zijn de humaan toxicologische risico's minder relevant. Met ecotoxicologische risico's moet echter in alle gevallen rekening gehouden worden.

Perspectief van wilgenteelt op baggerspecie

Bekend is, dat wilg kan groeien onder natte bodemomstandigheden en ook op natte baggerspecie (Vos, 1995). Hierbij kan gekozen worden tussen het aanbrengen van baggerspecie in een bestaande wilgenaanplant of op een onbeplant terrein. In het laatste geval zal wilg aangeplant moeten worden op natte baggerspecie of op enig ander moment gedurende het ontwateringstraject.

Naar het perspectief van energieteelt op o.a. opgebrachte baggerspecie, werd eerder een studie verricht in het kader van het EWAB programma (Vermeulen *et al.*, 1998a). Combinatie van extensieve biologische reiniging van baggerspecie en energieteelt heeft als grootste voordeel dat de grondkosten voor beide activiteiten verminderd worden. Uiteraard zijn de grondkosten voor beide activiteiten het laagst als een terrein benut kan worden waarop over een lange periode geen grondkosten drukken, zoals het geval zou kunnen zijn bij de afdekking van een stortplaats met baggerspecie. Na rijping en kwaliteitsverbetering van de baggerspecie zal de grond ook weer voor andere toepassingen gebruikt kunnen worden en moet energieteelt weer concurreren met andere vormen van landgebruik.

Door Vermeulen *et al.* (1998a) wordt geschat dat, bij een gemiddelde laagdikte van 50 cm (gerijpte specie), op den duur 5.000 ha land nodig is om het aanbod van geschikte baggerspecie op te vangen. Daarvoor zou 3.000 ha verontreinigd terrein beschikbaar zijn, waaronder *ca.* 1.200 ha oude vuilstorten, en zou 2.000 ha op landbouwgrond moeten plaatsvinden. Het potentiële aanbod van op baggerspecie geteelde biomassa zou dan 50.000 ton droge stof per jaar zijn. De kostprijs van de geteelde biomassa zal in belangrijke mate afhankelijk zijn van de grondkosten van het gebruikte terrein en het aan de teelt van wilg toegerekende deel van deze kosten. Naar schatting van Vermeulen *et al.* (1998a) zal de prijs voor energie uit biomassa uitkomen op 3,49 €

GJ⁻¹ bij nul toegerekende grondkosten en 5,58 € GJ⁻¹ bij toegerekende grondkosten van 317,65 € ha⁻¹ jaar⁻¹.

Door combinatie van extensieve reiniging van baggerspecie en energieteelt op een oppervlak van 5.000 ha is een potentiële energie-opbrengst van 0,8 PJ per jaar mogelijk. Hierbij is er van uitgegaan dat de benodigde energie voor het extensieve reinigingsproces (bewerkingen etc.) even groot is als die voor het storten van de specie. Wordt extensieve reiniging vergeleken met zeer technologische bodemreinigingsmethoden, dan is bij extensieve reiniging van baggerspecie zeker sprake van een aanzienlijke energiebesparing. Bij een volledige toepassing van het concept is de hoeveelheid vermeden CO₂ emissie 90.000 ton per jaar.

Bij toepassing van het concept wordt naast energiewinning en vermeden CO₂ emissies milieuwinst geboekt door de afbraak van milieuverontreinigende stoffen (PAK en minerale olie). De mogelijkheden voor toepassing van het concept "wilgenteelt op baggerspecie" kunnen anderzijds beperkt worden door optredende risico's voor het milieu. Deze risico's zijn enerzijds de risico's zoals besproken bij landfarming en anderzijds het risico dat schadelijke stoffen via het geoogste wilgenhout verspreid worden.

Nog onbekend is hoeveel zware metalen door wilgen worden opgenomen tijdens de teelt. Bij eventuele opname van zware metalen kan de brandstofkwaliteit van de biomassa beïnvloed worden. Zowel een hoge concentratie van zware metalen in biomassa (fytoremediatie) als een zeer lage opname (brandstofkwaliteit) zijn interessant. Voor energieteelt zijn in eerste instantie lage concentraties zware metalen in de biomassa gewenst (Vermeulen *et al.*, 1998a).

Vanwege het maatschappelijk belang wordt verwacht dat eventueel noodzakelijke bestemmingsplanwijzigingen en het afgeven van de benodigde vergunningen door de overheid positief tegemoet getreden worden.

Een van de aanbevelingen uit de studie van Vermeulen *et al.* (1998a) was om een pilot project te starten met als doel een aantal aannamen te toetsen, nieuwe technologie voor de teelt van wilg op baggerspecie te ontwikkelen en de haalbaarheid te onderzoeken. Dit project is hiervan een uitvloeisel.

Bij de teelt op baggerspecie (systeem baggerspecie uitbrengen tussen de wilg) doen zich een aantal specifieke problemen voor waarvoor oplossingen gezocht moeten worden:

- Groei op verontreinigde baggerspecie; onbekend is welke wilgenklonen het beste voldoen in combinatie met baggerspecie en hoeveel zware metalen zullen worden opgenomen.
- Hoe moeten ziekten en plagen in de wilgeaanplant bestreden worden?; kan vanaf de grond (baggerspecie) gewerkt worden?; biedt het aanplanten van een klonenmengsel uitkomst?; op welke wijze kan menging van klonen het beste tot stand komen (in ruimte en tijd)?
- Is de draagkracht van de baggerspecie na 3 tot 4 jaar voldoende om de wilg machinaal te oogsten?; welke apparatuur is daarvoor nodig?
- Welk opbrengstniveau is haalbaar?; Welke logistieke ketens passen daar het beste bij?

De economische risico's bij energieteelt zijn bekend: de kostprijs van geteelde biomassa is te hoog om te kunnen concurreren met biomassa-afvalstromen en fossiele brandstoffen. Het concept "wilgenteelt op baggerspecie" is weliswaar geheel gericht op verlaging van de kosten van geteelde biomassa, maar een kostprijs die concurrerend is met biomassa-afvalstromen en fossiele brandstoffen is momenteel waarschijnlijk niet haalbaar. De teelt van wilg op baggerspecie moet daarom gezien worden als een poging om tegen zo gering mogelijke stimuleringskosten de doelstelling voor het gebruik van duurzame energie te halen.

1.2 Doelstellingen

De doelstellingen van de voorliggende studie waren enerzijds om geschikte wilgenklonen en technologieën te vinden voor wilgenteelt op baggerspecie en anderzijds om na te gaan of het concept van wilgenteelt in combinatie met herhaalde toediening van natte, verontreinigde baggerspecie tussen de wilgen in de praktijk haalbaar en uit oogpunt van verspreiding van stoffen verantwoord is. Naar de volgende aspecten werd specifiek onderzoek uitgevoerd:

1. Selectie van geschikte wilgenklonen (ziekte-resistentie, opbrengst, opname van zware metalen);
2. Technologie voor de gewasbescherming en de oogst;
3. Haalbaarheid in de praktijk;
4. Ongewenste verspreiding van stoffen (via standaard monitoring programma op de Oostwaardhoeve).

2 Plan en uitvoering

2.1 Inleiding

Het eerste concept voor wilgenteelt op baggerspecie ging uit van het eerst toedienen van natte baggerspecie en daarna planten van wilg op de natte specie door het aanbrengen van gevlochten matten van wilgentenen (Vos, 1995). Het voornaamste bezwaar hiervan was dat de afmetingen van een wilgenveld beperkt werden doordat de matten met een kraan vanaf de zijkant van het veld neergelegd moesten worden. Ook duurde het vrij lang voordat de door velen ontsierend gevonden natte baggerspecie door de begroeiing weer aan het oog onttrokken werd. Een experiment op de Oostwaardhoeve met het planten van wilg vanaf een door de natte specie voortgetrokken slede (surfplank) liet zien dat deze techniek mogelijk, maar arbotechnisch bezwaarlijk was.

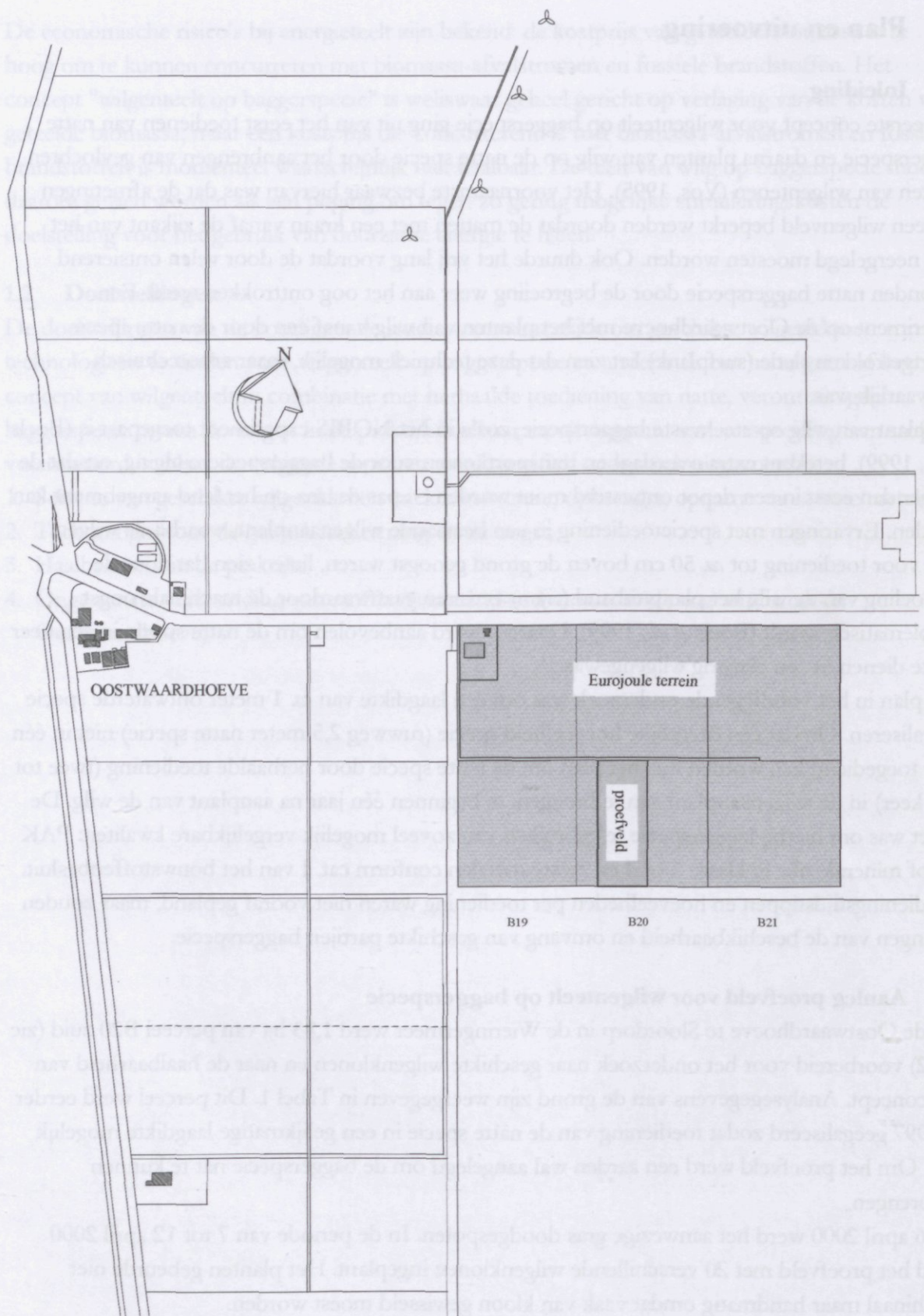
Aanplant van wilg op steekvaste baggerspecie, zoals in het NOBIS experiment toegepast is (Boels *et al.*, 1999), betekent extra overslag- en transportkosten voor de baggerspeciereiniging, omdat de bagger dan eerst in een depot ontwaterd moet worden en pas daarna op het land aangebracht kan worden. Ervaringen met specietoediening in een bestaande wilgnaanplant, waarbij de wilgen kort voor toediening tot ca. 50 cm boven de grond geoogst waren, lieten zien dat door de uitstoeling van de wilg het plantverband (rijen) verloren gaat waardoor de machinale oogst problematisch wordt (Boels *et al.*, 1999). Daarom werd aanbevolen om de natte specie in één keer toe te dienen in een éénjarig wilgengewas.

Het plan in het voorliggende onderzoek was om een laagdikte van ca. 1 meter ontwaterde specie te realiseren. Omdat een dergelijke hoeveelheid specie (ruwweg 2,5 meter natte specie) niet in één keer toegediend kan worden was het plan om de natte specie door herhaalde toediening (twee tot vier keer) in de wilgnaanplant aan te brengen, te beginnen één jaar na aanplant van de wilg. De opzet was om hierbij baggerspecie te gebruiken van zoveel mogelijk vergelijkbare kwaliteit: PAK en/of minerale olie in klasse 3 of 4 en zware metalen conform cat. I van het bouwstoffenbesluit. Toedieningstijdstippen en hoeveelheden per toediening waren niet vooraf gepland, maar zouden afhangen van de beschikbaarheid en omvang van geschikte partijen baggerspecie.

2.2 Aanleg proefveld voor wilgenteelt op baggerspecie

Op de Oostwaardhoeve te Slootdorp in de Wieringermeer werd 1,83 ha van perceel B20 zuid (zie fig. 2) voorbereid voor het onderzoek naar geschikte wilgenklonen en naar de haalbaarheid van het concept. Analysegegevens van de grond zijn weergegeven in Tabel 1. Dit perceel werd eerder in 1997 geëgaliseerd zodat toediening van de natte specie in een gelijkmatige laagdikte mogelijk was. Om het proefveld werd een aarden wal aangelegd om de baggerspecie nat te kunnen aanbrengen.

Op 6 april 2000 werd het aanwezige gras doodgespoten. In de periode van 7 tot 12 april 2000 werd het proefveld met 20 verschillende wilgenklonen ingeplant. Het planten gebeurde niet machinaal maar handmatig omdat vaak van kloon gewisseld moest worden.

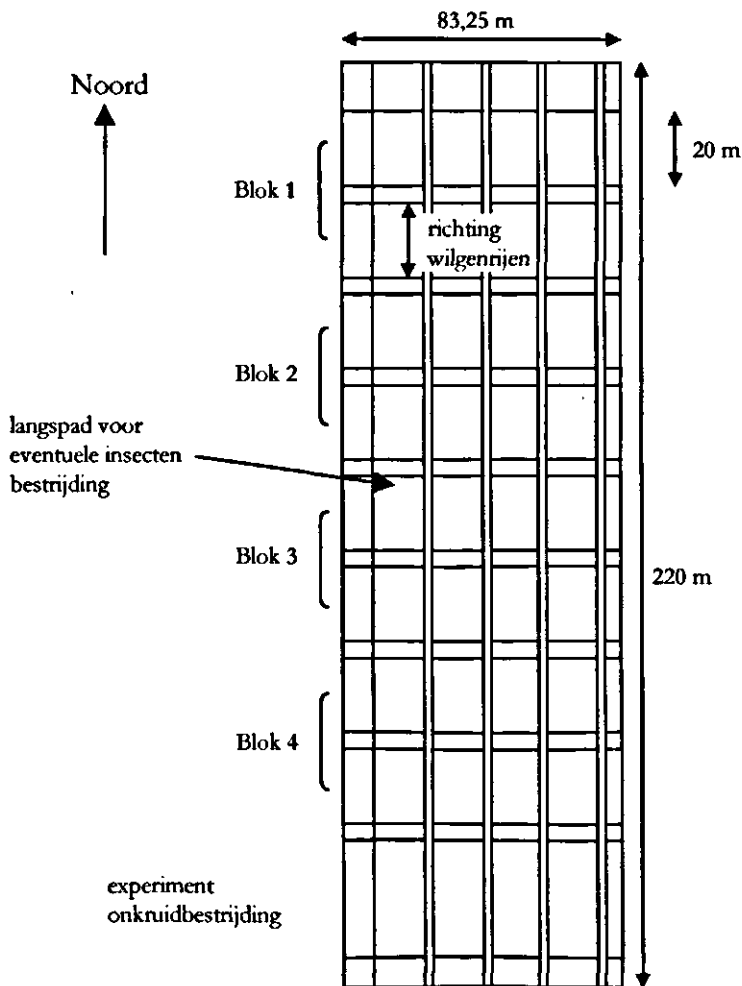


Figuur 2 Locatie van het proefterrein op proefbedrijf de Oostwaardhoeve

Bovendien waren de omstandigheden erg nat voor machinaal planten. De lay-out van het proefveld (Figuur 3) werd zodanig gekozen dat een experiment met 20 wilgenklonen (in 4 herhalingen) mogelijk was en daarnaast een oppervlak overbleef voor eventuele experimenten met verschillende methoden van gewasbescherming of oogst.

Tabel 1 Analyseresultaten van de grond waar de baggerspecie is opgebracht.

	0-25 cm-mv			25-40 cm-mv		
	Min	Max	Average	Min	Max	Average
Lutum (%)	17,9	32,7	24,3	21,8	38,1	28,6
Organische stof (%)	1,7	2,6	2,2	1,8	2,6	2,1
CaCO ₃ (%)	3,4	8,9	6,9	3,8	8,9	6,8
pH-KCL	7,3	7,7	7,5	7,3	7,6	7,4



Figuur 3 Proefveld lay-out aanplant wilgenklonen of kloonmengsels.



Figuur 4 Toediening van natte specie op het veld tussen de wilgen.

Ruim een jaar na aanplant werd de eerste baggerspecie toegediend (mei/juni 2001). Hierbij werden tussen de herhalingen aarden wallen aangebracht en werd de specie telkens per herhaling opgebracht. Deze werkwijze werd toegepast omdat er onzekerheid was over de totaal te ontvangen hoeveelheid baggerspecie (inschattingen vooraf zijn vaak onnauwkeurig). Bij aanzienlijk minder specie dan tevoren ingeschat kon op deze wijze eventueel één van de herhalingen afvallen. Bij de toediening in mei/juni 2001 was dit echter niet nodig. De specie werd aangevoerd in vacuümpomptankwagens en via overdruk in de tank, een extra boosterpomp en een beregeningsleiding het land op gepompt (Figuur 4) Bij eerder toedienonderzoek was dit een haalbare methode gebleken (Vermeulen *et al.*, 1999). De opgebrachte specie was afkomstig van 't Oost (residu 01-7). Het ds gehalte van de opgebrachte specie varieerde van 10 tot 40% met een gemiddelde van 27%. In totaal werd 11.334 ton natte slib opgebracht. De gemiddelde dikte van de toegediende natte specielaag was *ca.* 47 cm. Analysegegevens van de toegediende specie zijn weergegeven in Tabel 2. De gewashoogte bij toediening van de specie was 90 tot 150 cm, afhankelijk van de wilgenkloon, met een gemiddelde van 123 cm.

Na de eerste partij baggerspecie waren tot aan de oogst in januari 2003 geen geschikte partijen meer beschikbaar voor toediening op het proefveld. Oorspronkelijk was het plan om twee tot vier partijen baggerspecie toe te dienen totdat een totale laagdikte van ca. 1 m gerijpte specie aangebracht was. Dit kon echter niet uitgevoerd worden. De voorliggende activiteiten en resultaten zijn daarom gebaseerd op deze éénmalige toediening.

Tabel 2 Analyseresultaten van de baggerspecie (twee monsters), opgebracht in mei/juni.

Omschrijving	Eenheid	Monster 1	Monster 2
Droge stof	Gew. %	33,6	18,5
Organische stof (gloeiverlies)	% van de ds	13,4	16,8
Kleigehalte (< 2 µm)	% van de ds	13	33
Arseen	mg kg ⁻¹ ds	5,3	16
Cadmium	mg kg ⁻¹ ds	0,4	1,6
Chroom	mg kg ⁻¹ ds	46	240
Koper	mg kg ⁻¹ ds	29	150
Kwik	mg kg ⁻¹ ds	0,29	0,63
Nikkel	mg kg ⁻¹ ds	18	65
Lood	mg kg ⁻¹ ds	31	83
Zink	mg kg ⁻¹ ds	140	680
PAK-totaal	mg kg ⁻¹ ds	4,5	5,3
Minerale olie totaal (C10 – C40)	mg kg ⁻¹ ds	890	1.200

2.3 Klonenonderzoek

2.3.1 Kloneselectie

De gewenste eigenschappen van een wilgenkloon in verband met de teelt op baggerspecie kunnen worden samengevat als:

- Hoog opbrengstniveau in termen van ds ha⁻¹;
- Rechtopgaande habitus, geschikt voor mechanische oogst;
- Weinig gevoelig voor insectenvraat/schade; blauwe wilgenhaantje (*Phyllosecta vulgatissima*), bronsgroene wilgenhaantje (*Phyllosecta vitellinae*), rupsen (*Lepidoptera*), dromedarisluis (*Tubero lachnus salignus* Gm), elzensnuitkever (*Cryptolynchus latatbi*);
- Weinig gevoelig voor ziekten: bladroest (*Melampsora* spp.);
- Lage opname van eventueel in de baggerspecie aanwezige zware metalen;
- Voor zoute baggerspecie: zouttolerant.

De wensen van hoog opbrengstniveau en een rechtopgaande habitus spreken voor zich.

Mede aanleiding voor het klonenonderzoek was een grootschalige aantasting van alle wilgen op de Oostwaardhoeve door het wilgenhaantje in 1999. Tijdens deze uitbraak werden duidelijk verschillen in tijdstip en mate van aantasting gezien tussen verschillende klonen. Bij de selectie van klonen werd daarom speciaal gelet op soorten met een afwijkende bast of blad, met mogelijke weerstand tegen aantasting door insecten, zelfs al was het verwachte opbrengstniveau niet hoog of was de soort struikvormig (zoals koriyanagi, purpurea en cinerea).

Voor energieteelt zijn voor een goede, “groene” brandstofkwaliteit in eerste instantie lage concentraties zware metalen in de biomassa gewenst. Alleen bij zeer hoge opname van zware metalen zouden klonen ook interessant kunnen zijn voor verwijdering van zware metalen uit baggerspecie of verontreinigde grond (fytoremediatie).

Voorafgaand aan het veldonderzoek werd een inventarisatie van beschikbare wilgenklonen en hun eigenschappen uitgevoerd (Moroso, 2001). Dit leverde een database van wilgenklonen op, die als basis diende voor de selectie van twintig klonen voor het onderzoek. Als selectiecriteria werden uiteindelijk gebruikt 1) het opbrengstpotentieel, 2) de habitus, 3) mogelijk verminderde insectenaantasting door afwijkende bast en blad en 4) de beschikbaarheid van een voldoende aantal stekken bij grote telers/klonenbanken in Nederland, Zweden en Engeland. De geselecteerde klonen of kloonmengsels zijn vermeld in Tabel 3.

Tabel 3 Selectie van wilgenklonen (*Salix*) met leverancier van stekmateriaal.

letter	Wilgensoort	Kloon	Leverancier	opm.
A	Alba	het goor	NL Geesink	
B	Alba	lievelde	NL Geesink	
C	Alba	belders	NL OWH	
D	Alba	chermesina	NL Udenhout	syn.: Britsensis
E	Cinerea	thurlby Fen.	UK Long Ashton	
F	Erioccephala		UK Long Ashton	US clone
G	Dasyclados Skv.	79097 (IEA trial)	UK Long Ashton	Instead of loden
H	Fragilis	belgisch rood	NL CPV	
I	Fragilis	deventer rood	NL CPV	
J	Koriyanagi		UK Long Ashton	= gracilistyla melanostachys
K	Triandra	zwarte driebast	NL CPV	
L	Viminalis	orm	NL OWH	
M	Viminalis	78183	Zweden SW	Reference clone in Sweden
N	x rubens ¹⁾	bouton aigu	NL CPV	
O	x hirtei	delamere	UK Long Ashton	
P	x calodendron		UK Long Ashton	
Q	x dasyclados	wimm	UK Long Ashton	
R	x tora		Zweden SW	
S	x sven		Zweden SW	
T	x mollissima	Q83 (77083)	UK Long Ashton	

¹⁾ Voorvoegsel x betekent dat het een kruising is.

2.3.2 Teelt

De wilgenstekken werden in de periode van 7 tot 12 april 2000 ingeplant volgens het zogenaamde dubbelrijensysteem. In dit systeem worden 2 rijen wilg (de dubbelrij) op een afstand van 75 cm geplant. Tussen de dubbelrijen wordt een afstand van 150 cm aangehouden. Dit plantverband heeft het voordeel dat ook na uitstoeling van de wilgen en na meerdere oogsten nog goed met de trekker of oogstmachine over het veld gereden kan worden (dubbelrij tussen de

wielen). De afstand tussen de stekken in de rij was ca. 55 cm, waarmee het plantaantal per hectare uitkwam op 16.000.

Op 11 en 12 mei 2000 werden de stroken tussen de rijen machinaal geschoffeld en werden stekken bijgeplant waar de eerst geplante stekken niet aangeslagen waren. Op 31 mei 2000 werd handmatig tussen de planten in de rij geschoffeld. Begin juli 2000 werd het schoffelen tussen en in de rijen herhaald.

In mei/juni 2001 stond er behoorlijk veel onkruid, maar dit werd door de toediening van de baggerspecie in het veld bedekt. Direct na het aanbrengen van de bagger was onkruidbestrijding niet meer noodzakelijk.

Maatregelen tegen ziekten en plagen bleken op het proefveld niet nodig; ernstige aantastingen zoals in 1999 bleven in de proefperiode uit.

De oogst vond plaats op 8 januari 2003 en werd uitgevoerd met de Segerslätt stengeloogster (figuur 5).



Figuur 5 Oogst met de Segerslätt stengeloogster (bron: VOF Oostwaardhoeve).

2.3.3 Lay-out van het proefveld

De statistische opzet voor vergelijking van de twintig klonen was een gewarde blokkenproef in vier herhalingen. De locatie van de klonen binnen een herhaling werd per herhaling geloot. In figuur 6 is de lay-out van het proefveld weergegeven met daarin de toewijzing van de klonen aan de veldjes. De afmeting van elk veldje was 18 x 6,75 m (l x b), d.w.z. 3 dubbelrijen over een lengte van 18 m. Op de randen van het proefveld (kantrijen), de langspaden en een deel van het veld dat gereserveerd was voor een eventueel experiment met verschillende gewasbeschermingmethoden werden ook wilgen aangeplant.

2.3.4 Metingen

Per wilgenkloon werden de volgende gegevens verzameld om de vestiging, de groei, aantasting door ziekten en plagen, en de drogestofproductie vast te leggen:

31 mei 2000	Percentage aangeslagen stekken en observatie van ziekten en plagen.
19 juli 2000	Percentage aangeslagen stekken en observatie van ziekten en plagen.
16 mei 2001	Gewashoogte (direct voor de toediening van de baggerspecie).
13 september 2001	Score voor gewashoogte, roestaantasting en insectenschade.
29 januari 2002	Stengelaantal, stengelengte, stengeldikte en drogestofgehalte t.b.v. schatting drogestofopbrengst (methode Gigler <i>et al.</i> , 1998).
8/13 januari 2003	Opbrengst vers en drogestofgehalte (van elk veldje de middelste dubbelrij). Het drogestofgehalte werd bepaald door weging van stengelmonsters nat en na 48 uur droging in een droogstoof bij 105 °C.

Om de opname van zware metalen van de verschillende wilgenklonen vast te leggen werden in het voorjaar van 2003 de volgende gegevens verzameld:

- Textuur typering van de oorspronkelijke grond (zie Tabel 1);
- Inname analyse van de baggerspecie (zie Tabel 2);
- Analyse van zware metalen en macro-ionen in de geroijpte baggerspecie (over volledige laagdikte) en de oorspronkelijke bouwvoor (0 – 25 cm diepte in oorspronkelijke bodemprofiel, vóór specietoediening); februari 2003 (2 monsters per bodemlaag en per herhaling);
- Dikte van de aangebrachte laag geroijpte baggerspecie (2 metingen per herhaling ter plaatse van de grond- en speciebemonstering);
- Analyse van zware metalen in het hout en in de bast van de verschillende wilgenklonen (1 houtmonster en 1 bastmonster per kloon), ten tijde van de opbrengstbepaling (januari 2003). De velden voor bemonstering werden ad random over de herhalingen gekozen. De bast werd met een mes van het hout gescheiden tot op de cambiumlaag. De monsters zijn gedroogd, gemalen en na destructie met koningswater zijn de zware metalen gemeten met ICP-AES.

Blok 1	K	Q	B	N	E	T	H	G	F	Kloon D
	1-10	1-9	1-8	1-7	1-6	1-5	1-4	1-3	1-2	Veld 1-1
Blok 2	O	R	A	C	M	P	I	S	J	Kloon L
	1-20	1-19	1-18	1-17	1-16	1-15	1-14	1-13	1-12	Veld 1-11
Blok 3	P	E	K	T	G	D	Q	M	J	Kloon H
	2-10	2-9	2-8	2-7	2-6	2-5	2-4	2-3	2-2	Veld 2-1
Blok 4	B	F	I	N	L	S	C	R	O	Kloon A
	2-20	2-19	2-18	2-17	2-16	2-15	2-14	2-13	2-12	Veld 2-11
Blok 5	C	P	D	K	T	R	E	S	I	Kloon B
	3-10	3-9	3-8	3-7	3-6	3-5	3-4	3-3	3-2	Veld 3-1
Blok 6	Q	F	N	G	J	A	L	M	H	Kloon O
	3-20	3-19	3-18	3-17	3-16	3-15	3-14	3-13	3-12	Veld 3-11
Blok 7	Q	J	P	I	K	E	D	L	R	Kloon M
	4-10	4-9	4-8	4-7	4-6	4-5	4-4	4-3	4-2	Veld 4-1
Blok 8	H	A	S	O	N	F	C	G	T	Kloon B
	4-20	4-19	4-18	4-17	4-16	4-15	4-14	4-13	4-12	Veld 4-11
	Kantrijen	Langspad		Langspad		Langspad		Langspad	Kantrijen	

Figuur 6 Nummering van de velden en de indeling van de klonen per blok (voor klonen overeenkomend met de letters, zie Tabel 3).

2.4 Technologie voor gewasbescherming en oogst

Voor de teelt van wilg als energiegewas zijn in de praktijk geschikt gebleken werktuigen beschikbaar voor de grondbewerking, het planten, de bestrijding van onkruid, ziekten en plagen in een jong gewasstadium en voor de oogst. De opzet bij het voorliggende project was om te beschrijven welke mechanisatieproblemen zich in de projectperiode aandienen op, met name op de percelen met een combinatie van wilgenteelt en baggerspeciereiniging. Voorzien werd dat in het beproefde concept voor wilgenteelt op baggerspecie met name de draagkracht van de grond een probleem zou kunnen vormen, doordat met een grote laagdikte gewerkt zou worden. De vraag daarbij was of apparatuur voor veldbewerkingen wel tijdig ingezet zou kunnen worden. Voor eventuele proeven met verschillende apparatuur op een dikke specielaag werd aan de zuidzijde van het klonenproefveld een veld van 83 x 20 m gereserveerd. Op voorhand werd een oplossing gezocht voor het uitvoeren van bespuitingen indien zich ziekten en plagen zouden voordoen.

2.5 Monitoren verspreiding van stoffen

De mogelijke verspreiding van stoffen naar de ondergrond en de ecotoxicologische risico's werden niet bestudeerd, omdat dit onderzoek in Nobis verband heeft plaats gevonden bij een vergelijkbare speciekwaliteit en ook uitgebreid is bestudeerd op Kreekraksluizen (Harmsen, 2004).

De samenstelling van het water dat van het perceel werd afgevoerd werd wel gecontroleerd via het monitoringprogramma dat op de Oostwaardhoeve wordt uitgevoerd in het kader van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater.

De mogelijke verspreiding van stoffen via de afvoer van biomassa kan worden afgeleid uit de reeds genoemde metingen van de samenstelling van wilg.

3 Resultaten

3.1 Klonenonderzoek

3.1.1 Gewaskarakteristieken

Bij de meeste klonen waren 96% tot 100% van de stekken op 6 weken na planten (7 – 12 april 2000) en bijplanten (12 mei 2000) aangeslagen (Tabel 4). Uitzonderingen waren de veldjes met x calodendron (74%), Alba het goor (86%) en Alba lievelde (89%). Drie maanden na planten liep het aantal aangeslagen planten in het algemeen nog wat terug. Vlak voor de toediening van baggerspecie (mei/juni 2001) waren er plekken op het proefveld met een duidelijk slechtere gewasstand. De oorzaak hiervan kon niet achterhaald worden.

Regelmatig werd het proefveld gecontroleerd op ziekten en plagen. Op geen enkel moment was sprake van ernstige aantasting van het gewas. Op 3 data werden de observaties genoteerd. Op 31/5/2000 waren op een aantal veldjes (Tabel 4) insecten in de top van de scheuten aanwezig; slechts op 3 veldjes was sprake van enige gewasbeschadiging in de vorm van vraat (bij de klonen *Fragilis deventer rood*, x *tora* en x *mollissima* Q83). Op 19/07/2000 werd op een aantal veldjes insectenvraat, luis en bladroest waargenomen. De aantastingen waren bij alle klonen gering, behalve bij *Fragilis belgisch rood* en *Alba chermesina*, die op alle veldjes door luis aangetast waren, en *Viminalis orm* die op alle veldjes door bladroest aangetast was. Op 13/09/2001 werd de beoordeling in de vorm van een rapportcijfer (1-10) gegeven, waarbij 10 geen enkele aantasting betekende. Op deze datum scoorden *Cinerea thurlby Fen.*, x *hirtei delamere* en x *calodendron* duidelijk minder wat vraat betreft. Voor roest waren het vooral *Dasyclados Skv.* 79097, x *mollissima* Q83 en *Viminalis* 78183, die wat minder scoorden. Twee klonen, x *tora* en *Alba lievelde*, hadden tijdens het hele experiment geen enkel minpunt op het gebied van ziekten en plagen.

Bij de beoordeling van de geschiktheid van de klonen voor mechanisch oogsten werd gelet op de stand van de stengels (rechttopgaand, schuin of kruipend) en de mate van vertakking (weinig of sterk). Klonen met weinig vertakte, rechttopgaande stengels werden als zeer geschikt (3) aangemerkt en klonen met weinig vertakte, schuin opgaande stengels als geschikt (2). Klonen die kruipende of sterk vertakte stengels hadden werden als ongeschikt aangemerkt (1). Twaalf klonen waren zeer geschikt, 5 klonen waren geschikt en 3 klonen waren ongeschikt voor de mechanische oogst (zie Tabel 4). Zes zeer geschikte klonen, x *sven*, x *tora*, x *rubens bouton aigu*, *Alba belders*, *Alba het goor* en *Fragilis belgisch rood* waren tevens klonen met hoge opbrengsten.

Op 16 mei 2001 werd de stengellengte gemeten als eerste indicatie voor de ontwikkeling van de wilg. In februari 2002 werden stengellengte, aantal stengels per m², stengeldiameter op 130 cm hoogte en het ds-gehalte bepaald, waaruit een schatting van de drogestof opbrengst gemaakt werd (Tabel 4). De werkelijke drogestofopbrengst werd bepaald in januari 2003, bij de oogst met de Segerslät stengeloogster. Als hoogst opbrengende klonen bij de teelt met opgebrachte baggerspecie kwamen de Zweedse klonen x *sven* en x *tora* naar voren (Tabel 4).

Tabel 4 Groeikarakteristieken van de *Salix* klonen, gesorteerd op droge-stof opbrengst.

	31-05 2000	31-05 2000	19-07 2000	19-07 2000	16-05 2001	13-09 2001	13-09 2001	13-09 2001	13-09 2001	Febr. 2002	Febr. 2002
Wilgenkloon ¹⁾	Aange- slagen stekken %	Ziekte, plagen ja = x	Aange- slagen stekken %	Ziekte, plagen ja = x	Stengel lengte cm	Habitus Score ²⁾	Stengel lengte score 0-10	Roest Score 0-10	Vraat Score 0-10	Aantal stengels m ⁻²	Stengel diam. mm
x sven	98		98	x	137	3	9,2	8,0	7,4	5,7	13
x tora	99		98		144	3	9,7	8,0	7,0	3,5	16
x rubens bouton aigu	99	xx	98	xx	126	3	8,5	8,0	7,0	6,7	11
Alba belders	96		95	x	108	3	8,2	7,7	7,5	4,7	13
Alba het goor	86		91	x	119	3	8,0	8,0	7,4	3,0	12
Fragilis belgisch rood	100	x	99	xxxx	100	3	7,9	8,0	7,6	7,8	9
Dasyclados Skv. 79097	97	x	96		113	2	8,2	6,5	7,0	4,8	12
Alba lievelde	89		88		111	3	8,4	8,0	7,7	2,9	11
x mollissima Q83	99	xx	99		88	1	7,6	6,1	7,0	10,3	9
Viminalis78183	100		100		111	3	7,7	5,5	7,5	4,9	10
Cinerea Thurlby Fen.	97		93		96	2	7,9	8,0	6,0	4,6	10
x hirtei delamere	98		94	x	96	2	7,5	7,1	6,2	4,6	8
Triandra zwarte driebast	99	x	98	x	131	2	8,0	7,7	7,2	8,7	11
Alba chermesina	99	x	99	xxxx	97	3	7,9	8,0	7,0	5,7	9
Erioccephala	100	x	97		65	2	6,9	8,0	7,4	13,6	8
Viminalis orm	99		99	xxxx	101	3	6,9	6,5	7,9	3,8	8
x calodendron	74		68		89	3	7,4	8,0	6,0	3,0	7
Fragilis deventer rood	98	x	99		98	1	7,1	8,0	7,2	10,4	8
Koriyanagi	97		92		75	3	6,5	8,0	7,9	1,8	3
x dasyclados wimm	97	xx	94		115	1	7,4	7,7	6,7	5,4	10
Gemiddeld	96		95		106		7,8	7,5	7,1	5,8	9,8
l.s.d. (P<0,05)	8		9		19		0,6	0,6	0,6	2,9	2,7

¹⁾ voorvoegsel x betekent dat het om een kruising gaat.

²⁾ 1 = ongeschikt; 2 = geschikt; 3 = zeer geschikt voor mechanisch oogsten.

³⁾ gemeten op 130 cm hoogte.

3.1.2 Opname van zware metalen en macro-ionen

Zware metalen in de bodem

In februari 2003 zijn de ondergrond en de opgebrachte specie op het proefveld bemonsterd. De resultaten van de analyses zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Gehalte aan zware metalen en P in de ondergrond en in de baggergrond in mg kg⁻¹ ds.

Locatie	Monsternummer	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	P
Ondergrond	1	22,3	0,54	4,18	12	22	30,5	1.121
	2	17,0	0,42	4,77	11	19	30,0	1.074
	3	19,0	0,45	9,72	16	25	54,2	1.002
	4	22,4	0,54	5,91	14	26	39,9	1.050
	5	26,3	0,63	6,63	14	21	39,0	1.120
	6	26,7	0,65	5,90	15	26	40,8	1.194
	7	33,2	0,80	6,47	16	30	48,5	1.231
	8	32,3	0,78	7,40	18	29	48,1	1.345
	Gemiddeld	24,9	0,60	6,37	15	25	41,4	1.142
	standaard afwijking	5,8	0,14	1,70	2	4	8,6	110
Baggerspecie	1.B	14,6	2,56	213	183	105	1.154	4.358
	2.B	16,3	2,84	234	213	116	1.257	4.753
	3.B	17,9	3,30	262	253	132	1.492	5.526
	4.B	20,2	3,95	293	297	156	1.742	5.896
	5.B	18,1	3,47	263	259	139	1.517	5.666
	6.B	19,5	3,84	277	264	143	1.664	5.766
	7.B	19,4	3,69	297	284	132	1.738	6.014
	8.B	19,7	3,78	287	291	131	1.667	6.014
	Gemiddeld	18,2	3,43	266	255	132	1.529	5.499
	standaard afwijking	1,9	0,50	30	40	16	221	615

De in de Tabel 5 gegeven gehalten aan zware metalen in de baggerspecie zijn hoger dan de gegevens waarop de inname is gebaseerd (Tabel 2). De relatief kleine standaardafwijking laat zien dat de specie qua kwaliteit gelijkmatig is verdeeld over het proefveld. Het fosforgehalte, dat naast het zware metalen gehalte is gemeten, laat zien dat baggerspecie een bemestende werking heeft. De laagdikte van de baggergrond was in februari 2003 niet overal hetzelfde (Tabel 6).

Tabel 6 Laagdikte (cm) van de gerijpte baggerspecie in februari 2003.

Herhaling	Gemiddeld	Minimum	Maximum
1	22,2	17,0	27,0
2	16,6	13,0	20,0
3	16,3	14,0	20,0
4	20,0	16,0	23,0

Opname van zware metalen in de stengels

De biomassa die wordt geoogst als brandstof bestaat alleen uit de stengels, zonder blad. De gehalten aan zware metalen in de stengels werden in hout en bast afzonderlijk gemeten (bijlage 1). In Tabel 7 wordt weergegeven wat het gehalte aan zware metalen in de stengels geweest is, uitgaande van een gewichtsverhouding van 85% hout en 15% bast. De resultaten zijn gesorteerd op zinkgehalte. Te verwachten was dat met name Cd en Zn in verhoogde mate opgenomen zouden worden door wilg geteeld op verontreinigde grond en vaak is er een correlatie tussen de opname van Cd en Zn. Het Zn gehalte is relatief belangrijk als het gaat om de brandstofkwaliteit.

Tabel 7 Zware metalen gehalte in de wilgenstengels, gesorteerd op zinkgehalte.

Letter	Wilgensoort	Kloon/Hybride naam	Zware metaal gehalte in mg kg ⁻¹ ds						
			As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
B	Alba	lievelde	0,96	2,03	0,14	4,66	0,32	<0,59	64,2
N	x rubens ¹⁾	bouton aigu	1,03	2,40	0,10	4,56	0,49	<0,57	67,6
H	Fragilis	belgisch rood	0,82	2,17	0,12	4,30	0,22	<0,60	80,1
C	Alba	belders	0,91	3,31	2,08	5,12	1,25	<0,83	87,4
Q	x dasyclados	wimm	0,82	3,64	0,30	2,83	0,44	<0,68	92,9
A	Alba	het goor	0,93	2,41	0,11	5,51	0,40	<0,50	98,1
G	Dasyclados Skv.	79097 (IEA trial)	1,01	3,55	0,07	3,74	0,33	<0,54	106,8
T	x mollissima	Q83 (77083)	1,11	3,89	0,20	4,42	0,25	<0,54	107,6
E	Cinerea	thurlby Fen.	0,89	3,29	0,20	2,61	0,41	<0,54	109,4
R	x tora		0,79	2,82	0,67	3,84	1,17	<0,50	111,3
S	x sven		0,91	3,79	0,10	3,74	0,76	<0,50	112,4
D	Alba	chermesina	0,84	4,53	0,16	5,85	0,82	<0,56	113,8
F	Eriocephala		1,07	2,32	0,08	4,65	0,71	<0,92	118,5
P	x calodendron		0,89	2,65	0,18	2,66	0,40	<0,50	120,8
L	Viminalis	orm	0,98	2,87	0,22	3,55	0,36	<0,45	121,7
O	x hirtei	delamere	0,76	3,33	0,15	4,22	0,66	<0,50	124,5
K	Triandra	zwarte driebast	0,80	4,65	0,20	4,82	0,45	<0,62	128,8
I	Fragilis	deventer rood	0,86	2,90	0,27	3,85	0,56	<0,52	139,8
M	Viminalis	78183	0,77	3,18	0,17	3,36	0,71	<0,50	147,7
J	Koriyanagi		0,79	2,72	0,12	5,26	1,35	<0,50	161,8

¹⁾ voorvoegsel x betekent dat het een kruising is.

3.2 Technologie voor gewasbescherming en oogst

De onkruidbestrijding bleek geen problemen te geven bij het concept "eerst wilgen aanplanten en daarna lagen baggerspecie toedienen". Direct na inplanten van de wilg werd het onkruid twee keer bestreden terwijl de baggerspecie nog niet toegediend was. Ten tijde van de toediening van de baggerspecie stond er wel onkruid in de aanplant, maar deze werd geheel bedekt met baggerspecie en daardoor goed bestreden. Hoewel in de baggerspecie veel onkruidzaden aanwezig waren en ook kiemden, werd het niet echt een probleem omdat de wilg al groot genoeg was om snel een gesloten bladerdek te vormen en het licht voor het onkruid weg te nemen. Een uitzondering hierop waren de veldjes met slecht groeiende klonen, waarop het onkruid wel met

het gewas kon concurreren. Het feit dat niet door de zachte baggerspecie gereden kon worden vormde dus geen probleem voor de onkruidbestrijding, mits een geschikte, snelgroeïende wilgenkloon aangeplant was.

Bij een ernstige aantasting van de gehele wilgenaanplant op de Oostwaardhoeve door het wilgenhaantje (*Phylloxera*) in 1999 was geen apparatuur voorhanden om een bestrijding uit te voeren. Dit was aanleiding om technologie te ontwikkelen om in een hoge aanplant te kunnen spuiten. Een landbouwspruit werd hiertoe op een hefmaat gemonteerd, zodat de 24 m brede spuitboom boven het gewas gebracht kon worden (figuur 7). Zelfs als de wilg ca. 3,5 meter hoog is kan een trekker nog door het gewas heen rijden zonder al te veel schade aan de wilg te veroorzaken. Op deze wijze is een bespuiting mogelijk voor het geval dat nodig is. Bij het concept “eerst wilgen aanplanten en daarna lagen baggerspecie toedienen” is het door de aanplant rijden echter niet mogelijk zolang de baggerspecie nog onvoldoende gerijpt is. Omdat het voor toediening van de natte baggerspecie met een uniforme laagdikte ook wenselijk bleek om het veld te compartimenteren wordt voorgesteld om de te maken grondwallen wat breder te maken (ca. 3 m) en ook te gebruiken om over te rijden ten behoeve van het spuiten. Bij keuze van een grote spuitboombreedte kunnen de grondwallen op een onderlinge afstand van 30 meter of meer gelegd worden. Er kan dan nog gekozen worden voor: 1) wel of niet inplanten van de wallen met wilg en 2) aanleg van de wallen dwars op, of in dezelfde richting als de rijen wilg. Op deze wijze hoeft ook de plaagbestrijding in het onderzochte concept geen problemen te geven.

Doordat maar één baggerspecielaag werd toegediend, die na twee jaar voldoende gerijpt was om over te rijden, kon niet uitgetoet worden of de oogst na toediening van meerdere lagen mogelijk was. Bij de oogst van het proefveld werd over de vorst gereden (figuur 8), waarbij zich geen problemen met spoorvorming of wegzakken voordeden. Verwacht wordt dat deze methode ook toegepast kan worden na toediening van meerdere lagen baggerspecie.

3.3 Bedrijfsgegevens over verspreiding van stoffen

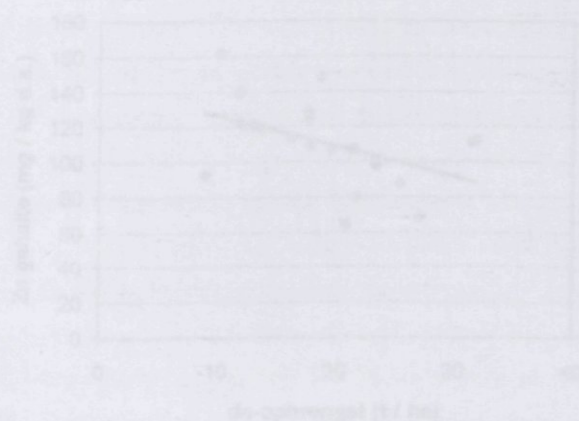
De check op de samenstelling van het van het perceel afgevoerde water, die uitgevoerd wordt in het monitoring programma voor de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (WVO) gaf aan dat een verspreiding naar het oppervlaktewater op de locatie Oostwaardhoeve niet meetbaar optreedt. Ook op de landfarm Kreekraksluizen is en wordt aandacht besteed aan de verspreiding van stoffen. De aldaar verrichte metingen laten ook zien dat verspreiding niet meetbaar optreedt.



Figuur 7 Landbouwsprayer gemonteerd op een hefboom om hoogopgaande wilg te kunnen sproeien (bron: VOF Oostwaardhoeve).



Figuur 8 Oogst van het proefveld over de vorst (bron: VOF Oostwaardhoeve).



Figuur 9 Trend in relatie tussen het Zn-gehalte in de veldopbrengst en de droge-stof opbrengst van wijk.

4 Discussie

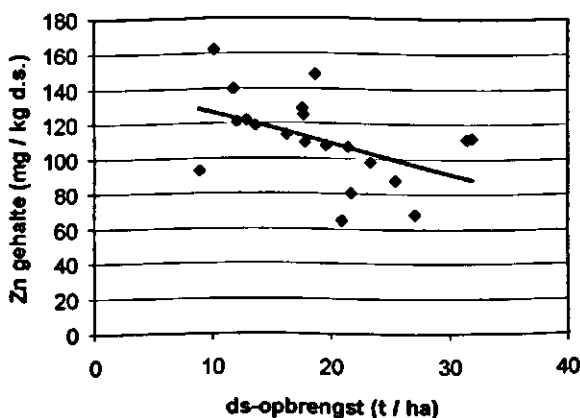
Klonenkeuze

Het feit dat er op het proefveld verschillende plekken met een duidelijk slechtere gewasstand waren heeft waarschijnlijk alleen tot gevolg gehad dat het gemiddelde opbrengstniveau wat lager is dan mogelijk zou zijn op een perceel met overal een goede stand. Door de herhaalde waarnemingen in de proef is het niet waarschijnlijk dat de plekken van invloed geweest zijn op de relatieve verschillen tussen de klonen.

Hoewel tevoren bekend was dat enkele klonen ongeschikt waren voor mechanische oogst zijn zij in het experiment opgenomen, omdat bij deze klonen een duidelijk betere weerstand tegen ziekten en plagen vermoed werd. Dit bleek echter niet het geval in het huidige experiment; de twee klonen (x tora en Alba lievelde) die geen enkele aantasting te zien gaven waren zeer geschikt voor de mechanische oogst.

Goede wilgenklonen voor het concept van energieteelt op baggerspecie moeten geen zodanige opname van zware metalen hebben dat problemen ontstaan bij het gebruik van het hout voor opwekking van energie. Het verschil tussen de laagste en de hoogste opname van zware metalen bij de verschillende wilgenklonen bedroeg een factor 2 tot 3. Ligthart *et al.* (1997) bestudeerden de mogelijke nadelige effecten bij meestoken of vergassen van wilg met verhoogde concentraties zware metalen. De in het huidige concept gevonden maximale gehalten in wilg (bij de klonen die de meeste zware metalen opnamen) komen overeen met de gehalten in de wilg van verontreinigde grond waarop de genoemde studie is gebaseerd. Zelfs deze maximale gehalten zouden op basis van deze studie geen probleem vormen voor gebruikelijke toepassingen van de vlieg-as als de wilg wordt gebruikt als bijstook (tot 15%) in poederkoolcentrales.

Ondanks het hoge gehalte aan Zn in de baggerspecie was het gehalte in de kloon met de laagste Zn opname (Alba lievelde) niet hoger dan de referentiewaarde voor wilg van schone grond in de studie van Ligthart *et al.* (1997). Belangrijk is ook de trend dat de klonen met hoge ds-opbrengsten (waaronder Alba lievelde) een relatief lage opname van Zn te zien gaven (figuur 9).



Figuur 9 Trend in relatie tussen het Zn gehalte in de wilgenstengels en de droge-stof opbrengst van wilg.

De twee klonen met de hoogste ds-opbrengst (x sven en x tora) lieten een gemiddelde Zn opname zien. De kloon x rubens bouton aigu liet zowel een goede opbrengst (rangnummer 3) als een lage Zn opname zien (rangnummer 2). Behalve door klonenkeuze kan de opname van zware metalen beïnvloed worden door de pH, het klei- en organischstof gehalte van de bodem/specie. Bij hogere waarden hiervan is de opname kleiner. De hier beschreven resultaten hebben betrekking op een middelzware ondergrond met relatief weinig organische stof en een baggerspecie met een laag kleigehalte en een middelmatig organische stofgehalte. Een eventuele mogelijkheid om de wilgkwaliteit wat zware metalen betreft verder te verbeteren is het minder mobiel maken van de zware metalen in de baggerspecie door het toevoegen van immobilisatoren (Osté, 2001).

Verwijderen zware metalen

Verwijderen van zware metalen via gewassen (fytoextractie) is een optie die veel wordt bediscussieerd. In deze discussie is de wens vaak de vader van de gedachte. Zware metalen worden weliswaar door planten opgenomen, maar de hoeveelheid in de plant is klein t.o.v. de hoeveelheid in de bodem (Japenga, 1999). Zogenaamde hyperaccumulatoren kunnen specifieke metalen in hogere gehalten opnemen, maar de drogestofproductie van deze planten is meestal laag, waardoor de hoeveelheid die uit de bodem verdwijnt klein is.

Wilg is geen hyperaccumulator, maar heeft wel een relatief hoge drogestofproductie. De drogestofproductie en de opname van zware metalen verschillen per kloon zoals weergegeven in Tabel 7 en Bijlage 1. Op basis van de drogestofproductie en het zware metalengehalte is het mogelijk uit te rekenen hoeveel tijd nodig is om de zware metalen te verwijderen. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor de metalen cadmium, zink en lood die gezien worden als de meest problematische metalen. Hierbij zijn de volgende aannamen gedaan:

- De te reinigen laag is 100 cm dik en de droge bulkdichtheid is 1,4 ton m⁻³;
- De gehalten Ca, Zn en Pb zijn respectievelijk 0,6, 41 en 25 mg kg⁻¹ ds in de bodem en 3,4, 1.529 en 132 mg kg⁻¹ ds in de baggerspecie;
- Productie drogestof is 30 ton ha⁻¹, hetgeen een hoge schatting is;
- De opname van zware metalen is hoog (voor resp. Cd, Zn en Pb is de opname 7,6, 356 en 1,25 mg kg⁻¹ ds); aangenomen is dat de opname door veredeling van wilg gelijk kan worden aan de huidige opname in de bast;
- De opname van zware metalen is constant in de tijd. In werkelijkheid zal voor cadmium en zink de opname afnemen bij verlaging van het gehalte.

De berekeningen laten zien dat de snelste volledige reiniging wordt verkregen voor cadmium, maar dan nog is in dit meest optimistische scenario 174 jaar nodig. Voor de andere metalen zijn extreem lange reinigingstijden nodig (voor Zn 1.951 jaar en voor Pb 39.947 jaar). Fytoextractie kan dus bij de toegepaste landfarming niet worden beschouwd als een reële optie om de bagger te reinigen.

Wilgenteelt in combinatie met afbraak van PAK en minerale olie in baggerspecie

Bij de afbraak van organische verontreinigingen kan onderscheid worden gemaakt in 3 afbreekbare fracties, snel, langzaam en zeer langzaam. De tijd nodig voor de afbraak van deze fracties is respectievelijk 1, 5-10 en enkele tientallen jaren. De snelle afbraak is direct gerelateerd aan de snelheid van ontwatering. Bij het huidige concept van wilgenteelt op baggerspecie is uitgegaan van een teeltperiode van 20 jaar zoals gebruikelijk voor wilgenteelt voor energie. Het concept van combinatie met wilgenteelt is daarom met name interessant voor de afbraak van de langzaam en zeer langzame afbreekbare fracties. De in behandeling genomen baggerspecie bevatte relatief lage concentraties aan PAK en minerale olie, respectievelijk *ca.* 5 en iets meer dan 1.000 mg kg⁻¹ ds. Bij de start van het onderzoek moest het minerale oliegehalte van de gestorte specie nog afnemen tot beneden 500 mg kg⁻¹ ds om als bouwstof te kunnen worden gebruikt. Aangezien de beschikbaarheid van minerale olie voor snelle afbraak in de meeste species beperkt is, werd een reinigingstijd voor reiniging tot bouwstof voorzien van een aantal jaren. De specie paste daarom voldoende in het concept.

Door verandering in de regelgeving (VROM, 2004) is de grens in het bouwstoffenbesluit voor minerale olie in baggerspecie opgetrokken tot 2.000 mg kg⁻¹ ds. Deze wijziging in de regelgeving heeft grote gevolgen voor het aanbod van geschikte species voor het concept van wilgenteelt in combinatie met landfarming, met een looptijd van *ca.* 20 jaar. Bij kortere looptijden wordt wilgenteelt minder aantrekkelijk omdat de investeringen in de aanplant en de kosten voor het opruimen (stronken verwijderen) dan per geproduceerde ton droge stof relatief hoog worden. Voor reiniging tot bouwstof kan op dit moment voor het merendeel van de PAK- en olie-verontreinigde baggerspecies volstaan worden met rijping van de specie en/of het afbreken van de snel afbreekbare fractie in een rijpingsdepot in 1 tot 2 jaar. Het concept wilgenteelt op baggerspecie wordt daarmee bij uitstek toepasbaar voor zeer sterk verontreinigde baggerspecie (indicatie: > 80 mg kg⁻¹ ds PAH en > 4.000 mg kg⁻¹ ds minerale olie).

Momenteel wordt reiniging tot voldaan wordt aan de criteria voor bouwstof als voldoende ervaren. Dit in sterke tegenstelling tot het voorgaande beleid, waarbij een schone grond het doel was waar naar werd gestreefd. Het is echter de vraag of de grote hoeveelheden baggergrond die nu waarschijnlijk beschikbaar zullen komen afzetbaar zullen zijn als bouwstof. Als er een verschuiving komt in de vraag van laagwaardige, nog steeds vervuilde bouwstof naar kwalitatief betere grond zal het belang van langzame afbraak weer groter worden en biedt het landfarming concept goede mogelijkheden. Het landfarming concept levert immers een product waarbij de risico's voor de omgeving zeer drastisch worden gereduceerd.

Logistiek

Op basis van de ervaringen lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat, ook al vóór de aanpassing van de grenswaarde voor minerale olie in bouwstof, de niet-tijdige beschikbaarheid van geschikte partijen baggerspecie een ernstige belemmering vormt voor het onderzochte concept "wilgenteelt

in combinatie met herhaalde toediening van baggerspecie”. De baggerspecie moet vloeibaar en vrij van grof vuil (stenen, plastic, etc.) zijn om het te kunnen verpompen in het huidige systeemontwerp, waarbij de wilg reeds is aangeplant op het perceel. Verder is een probleem dat baggercontracten lange termijnwerk zijn. Het moment van vrijkomen van de baggerspecie is zeer onvoorspelbaar. De verwachting van versoepeling van het beleid op bodemreinigingsgebied kan hierbij een rol hebben gespeeld. Binnen het huidige concept zijn de momenten van toediening belangrijk. Voor een succesvolle introductie van het concept dienen daarom duidelijke afspraken over de beschikbaarheid van geschikte specie gemaakt te worden.

Haalbaarheid

Naar het perspectief van energieteelt op o.a. opgebrachte baggerspecie, werd eerder een studie verricht in het kader van het EWAB programma (Vermeulen *et al.*, 1998a). Combinatie van extensieve biologische reiniging van baggerspecie en energieteelt heeft als grootste voordeel dat de grondkosten voor beide activiteiten verminderd worden. De kostprijs van de geteelde biomassa zal in belangrijke mate afhankelijk zijn van de grondkosten van het gebruikte terrein en het aan de teelt van wilg toegerekende deel van deze kosten. Naar schatting van Vermeulen *et al.* (1998a) zal de prijs voor energie uit biomassa uitkomen op 3,49 € GJ⁻¹ bij nul toegerekende grondkosten en 5,58 € GJ⁻¹ bij toegerekende grondkosten van 317,65 € ha⁻¹ jaar⁻¹. Bij toepassing van het concept “eerst wilgen planten en daarna herhaald baggerspecie toedienen” in de praktijk kunnen deze bedragen aangehouden worden, omdat bij de teelt en oogst geen additionele kosten geconstateerd zijn.

Ondanks de inzet op het gebruik van biomassa in Nederland voor de productie van energie (Bergsma, 2002) is de afzet van biomassa ervaren als een knelpunt. Ook bij de teelt van wilg op de Oostwaardhoeve is de afzet in de praktijk als groot knelpunt ervaren. Zelfs ver onder de kostprijs van geteelde biomassa bleek het onmogelijk om het hout af te zetten.

Evenals bij de teelt van biomassa zijn de grondkosten ook voor de reiniging van baggerspecie een belangrijke kostenpost. In de praktijk is het daarom noodzakelijk om de grond als bouwstof af te zetten zodra dat mogelijk is. Binnen het landfarmingconcept kan wilg een belangrijke functie hebben bij het afdekken van een grote kale baggervlakte om bezwaren van omwonenden te verminderen. In het onderzochte concept werd dit op zeer goede wijze bereikt omdat de baggerspecie tussen de al gevestigde wilg aangebracht werd. In de huidige situatie, waarin de reinigingsduur van de meeste olie- en PAK-verontreinigde species korter dan 5 jaar zal zijn is wilg een minder aantrekkelijke optie, omdat het verwijderen van de aanplant, inclusief de stronken, na minder dan 5 jaar relatief duur is. Toepassing van een andere bodembedekker is dan aantrekkelijker. Mogelijk zijn er relatief hoogopgaande gewassen te selecteren waartussen de baggerspecie aangebracht kan worden (bijvoorbeeld maïs), die uitsluitend dienen om direct na toediening de specie aan het oog te onttrekken en geen lastig residu in de baggergrond vormen.

Inpassing van het concept van wilgenteelt op baggerspecie in ruimtelijke planvorming kan een mogelijkheid zijn om uit de impasse te komen (Harmsen *et al.*, 2002). Baggerspecie kan hiermee mogelijk direct op de eindbestemming worden toegediend en afvoer als bouwstof is dan niet meer noodzakelijk. De grondkosten worden in dit geval gedragen door de belanghebbenden bij de landschappelijke en recreatieve voorzieningen. Gewassen die een geschikte biomassa opleveren voor energiewinning (brandstof of grondstof voor vergisting) kunnen in deze planvorming ingepast worden. Door Oostwaardhoeve wordt hierop geanticipeerd door er ook voor te zorgen dat de activiteiten passen in de landschappelijke en recreatieve ontwikkelingen in de Wieringermeer (Poel *et al.*, 2004).

5 Conclusies

Het concept “wilgenteelt op baggerspecie” is een technisch goed haalbare methode van landfarming waarbij een combinatie plaats vindt van de teelt van biomassa en reiniging van bagger. Het voordeel is met name toe te schrijven aan een besparing van de grondkosten. PAK en minerale oliën kunnen goed worden afgebroken.

Telen van wilg op baggerspecie met als doel het onttrekken van zware metalen aan de baggerspecie is geen optie. Er kan beter worden ingestoken op minimalisatie van de opname van zware metalen om de productkwaliteit van de geteelde biomassa te verbeteren. Het verschil tussen de laagste en de hoogste opname van zware metalen bij de verschillende wilgenklonen bedroeg een factor 2 tot 3. De gevonden concentraties zware metalen vormden zelfs bij de wilgenklonen met de hoogste opname geen probleem voor meestook van de biomassa in poederkoolcentrales tot een aandeel van 15% van de brandstof (op basis van energiewaarde).

Een goede wilgkloonselectie loont om tot een hoge drogestofproductie te komen. Van de onderzochte 20 wilgenklonen gaven de Zweedse klonen x sven en x tora de hoogste drogestof opbrengsten.

Bij het concept werden problemen ervaren met het tijdig beschikbaar krijgen van bagger van een geschikte kwaliteit, die in de wilgenteelt aangebracht kon worden. De afzet en financiële opbrengst van de geteelde biomassa kon nog niet gerealiseerd worden.

Door verandering van het beleid is de noodzaak om met PAK en minerale olie verontreinigde baggerspecie langdurig te reinigen minder groot geworden. Specie die enkele jaren geleden nog werd beschouwd als ernstig verontreinigd kan nu direct na rijping als bouwstof worden gebruikt. Als de kwaliteit van het reinigingsproces niet beter hoeft te zijn dan een bouwstof, zal het aanbod van specie voor het langdurige landfarming concept met wilgenteelt beperkter gaan worden. Een alternatief kan zijn de teelt van éénjarige gewassen gedurende de rijping van de specie. Er zal weer meer perspectief komen voor wilgenteelt op baggerspecie als er vraag ontstaat naar een betere kwaliteit bouwstof met lage gehalten aan PAK en minerale olie.

Het is onvoldoende om de teelt van biomassa alleen maar te combineren met het reinigen van baggerspecie. Door ook nog functies als landschap, natuur en recreatie te versterken zal het concept een grotere levensvatbaarheid krijgen. Bovendien is extra aandacht nodig voor een goede afzet van de biomassa.

Literatuur

- Anonymous, 1995. Derde energienota. Tweede Kamer, vergaderjaar 95-96, 24 525, nrs. 1-2, SDU, Den Haag.
- Anonymous, 2001. Basisdocument Tienjarensceenario waterbodems: bagger in beeld. AKWA-rapport 01.014, RIZA, Lelystad.
- Bergsma, G., 2002. Sleutelrol biomassa in energietransitie. *Arena*, 6, 10-11.
- Biewinga, E.E. & G. van der Bijl, 1996. Sustainability of energy crops in Europe. CLM, Utrecht.
- Boels, D., J. Harmsen, A. van der Toorn, R. Kampf, G.D. Vermeulen, J.J. van der Waarde, J.E. Dijkhuis, W. Ma & R. Duijn, 1999. Kwaliteitsverbetering van baggerspecie op basis van extensieve biorestauratie in combinatie met energieteelt. Gouda, CUR/NOBIS, NOBIS-rapport 96-1-02.
- Breteler, H., R. Duijn, P. Goedbloed & J. Harmsen, 2001. Surface Treatment of polluted sediments in an energy plantation. In: Magar, V.S., F.M. von Fahnestock and A. Leeson. Ex Situ biological treatment technologies. Proceedings of the Sixth International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium. 59-63. Battelle Press, Columbus.
- Gigler, J.K., G.J. Kasper, C. Sonneveld & W. Huisman, 1996. Beschrijving en kostenvergelijking van vier logistieke ketens van de energiegewassen wilg en miscanthus. IMAG-DLO, Wageningen, Nota P 96-46.
- Gigler, J.K., J.V. van den Berg & C. Sonneveld, 1998. Opbrengstgegevens van het energiegewas wilg (*Salix viminalis*) voor het proefjaar 1996. IMAG-DLO, Wageningen, Nota V 98-68.
- Gigler, J.K., 2000. Drying of willow biomass in supply chains. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, 142 pp.
- Harmsen, J., J.J.H. van de Akker, A.G.C. Beurskens, O.M. van Dijk-Hooyer, W. Ma & H.J.J. Wieggers, 1996. Mogelijkheden van extensieve landfarming voor biologische reiniging van grond. Reeks Schone technologie DV3,ST.02, NOVEM, Utrecht.
- Harmsen, J., G.D. Vermeulen, J. Hoeks, K. Otten, M.C.G. Klaus, J. Joziase & L. Feenstra, 1997. Definitiestudie biologische reiniging baggerspecie. NOBIS-rapport 96-1-02.
- Harmsen, J., C. Sonneveld & F. Bransen, 2002. Baggerproblemen koppelen aan inrichtingskansen. *Arena*, 6, 8-9.
- Harmsen, J., & R.C. Sims, 2003. Height and time in landfarming: from two to four dimensions. In: Magar, V.S. and M.E. Kelley. In Situ and On-Site Bioremediation: Proceedings of the Seventh International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium. Battelle Press, Columbus.
- Harmsen, J., 2004. Landfarming of polycyclic aromatic hydrocarbons and mineral oil contaminated sediments. PhD-thesis Wageningen Universiteit.

- Japenga, J., 1999. Fytoremediëring: Klaar voor gebruik in Nederland?. Rapporten Programmabureau Geïntegreerd Bodemonderzoek, deel 24, 34 pp.
- Ligthart, F.S., H.A. van der Slot, D. Hoede & J.H.A. Kiel, 1997. Biobrandstof van verontreinigde grond. Kwaliteit vlieggas bij vergassing en meestoken in poedercentrales. ECN, rapport ECN-C-97-099, 71 pp.
- Moroso, F., 2001. Salix genotypes and production of biofuel on dredging sludge. IMAG nota V 2001-99.
- Osté, L., 2001. In situ immobilization of cadmium and zinc in contaminated soils: fiction or fixation? Proefschrift Wageningen Universiteit, 126 pp.
- Paulson, M., P. Bardos, J. Harmsen, J. Wilczek, M. Barton & D. Edwards, 2003. The Practical use of short rotation coppice in land restoration. Land Contamination & Reclamation, 11(3), 323-338.
- Poel, K. de, J. Harmsen & M. Jansen, 2004. Landschapsontwerp Oostwaardhoeve. Intern rapport Alterra, Wageningen.
- Vermeulen, G.D., J. Harmsen, P. del Castillo & F. Ligthart, 1998a. Perspectief van energieteelt op verontreinigde terreinen voor de energie-opwekking in Nederland. MHP, Maarn, EWAB rapport 9814, 37 p. + bijlagen.
- Vermeulen, G.D., P.J. Goedbloed, J. Harmsen, P.N. Duijn & D. Boels, 1998b. Kwaliteitsverbetering van baggerspecie op basis van extensieve biorestauratie in combinatie met energieteelt. Terreininrichting en proefopzet. Wageningen, EuroJoule (DLO en De Vries & van de Wiel), NOBIS 96-1-02 Onderzoekverslag 1.
- Vermeulen, G.D., B.R. Verwijs & P.N. Duijn, 1999. Toediening van baggerspecie bij wilgenteelt voor energieproductie. Wageningen, IMAG, nota 99-136, 42 pp.
- Vos, B. de, 1995. Rapport Leie/Menen juli 1995. Universiteit Gent, vakgroep Land- en Bosbeheer, 72 pp. + bijlagen.
- VROM, 2004. Tijdelijke vrijstelling eisen grond en baggerspecie. Staatscourant 27 februari, nr 40, 25.

Bijlage 1 Zware metalengehalten in hout en bast.

Gehalte aan zware metalen gemeten in de bast.

Letter	Wilgensoort	Kloon/Hybride naam	Zware metaal gehalte in mg kg ⁻¹ ds						
			As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
A	Alba	het goor	0,85	6,02	0,22	8,26	2,26	< 0,5	290
B	Alba	lievelde	1,31	4,93	0,33	7,97	1,44	1,10	201
C	Alba	belders	0,90	8,09	0,04	7,50	3,83	2,70	292
D	Alba	chermesina	1,07	11,49	0,38	9,24	5,12	0,89	309
E	Cinerea	Thurlby Fen.	1,14	9,27	1,02	3,68	2,33	0,79	360
F	Erioccephala		1,35	5,75	0,30	6,96	3,98	3,33	371
G	Dasyclados Skv.	79097 (IEA trial)	1,14	9,70	0,21	4,36	1,55	0,77	386
H	Fragilis	belgisch rood	1,12	5,26	0,06	6,73	1,17	1,17	221
I	Fragilis	deventer rood	1,24	6,44	0,38	6,74	2,43	0,62	533
J	Koriyanagi		0,91	7,23	0,05	8,72	6,54	< 0,5	555
K	Triandra	Zwarte driebast	1,08	12,43	0,51	6,96	2,25	1,28	405
L	Viminalis	orm	1,27	6,20	0,22	6,01	1,42	0,19	421
M	Viminalis	78183	1,06	6,87	0,08	5,77	3,36	< 0,5	428
N	x rubens ¹⁾	bouton aigu	0,98	5,60	0,18	4,64	2,52	0,99	195
O	x hirtei	Delamere	0,99	7,28	0,02	4,81	3,24	< 0,5	373
P	x calodendron		1,18	6,72	0,11	3,73	1,86	< 0,5	345
Q	x dasyclados	wimm	1,29	7,15	0,71	4,64	1,67	1,67	311
R	x tora		1,10	7,00	0,08	4,97	2,74	< 0,5	406
S	x sven		1,11	9,66	0,04	4,54	2,88	< 0,5	371
T	x mollissima	Q83 (77083)	1,25	9,19	0,29	6,07	1,07	0,74	358

¹⁾ voorvoegsel x betekent dat het een kruising is.

Gehalte aan zware metalen gemeten in het hout.

Letter	Wilgensoort	Kloon/Hybride naam	Zware metaal gehalte in mg kg ⁻¹ ds						
			As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
A	Alba	het goor	0,95	1,77	0,10	5,03	0,08	< 0,5	64,3
B	Alba	lievelde	0,90	1,52	0,11	4,08	0,12	< 0,5	40,0
C	Alba	beklers	0,91	2,47	--	4,70	--	< 0,5	51,3
D	Alba	chermesina	0,80	3,30	0,12	5,25	0,06	< 0,5	79,3
E	Cinerea	Thurlby Fen.	0,84	2,24	0,06	2,42	0,07	< 0,5	65,2
F	Erioccephala		1,02	1,71	0,04	4,25	0,14	< 0,5	73,9
G	Dasyclados Skv.	79097 (IEA trial)	0,99	2,47	0,05	3,63	0,11	< 0,5	57,5
H	Fragilis	belgisch rood	0,77	1,62	0,13	3,87	0,06	< 0,5	55,3
I	Fragilis	deventer rood	0,79	2,28	0,25	3,34	0,23	< 0,5	70,5
J	Koriyanagi		0,77	1,92	0,13	4,66	0,43	< 0,5	92,4
K	Triandra	Zwarte driebast	0,75	3,28	0,14	4,44	0,13	< 0,5	80,1
L	Viminalis	orm	0,93	2,28	0,22	3,12	0,17	< 0,5	68,9
M	Viminalis	78183	0,72	2,53	0,19	2,93	0,24	< 0,5	98,3
N	x rubens ¹⁾	bouton aigu	1,04	1,84	0,09	4,54	0,13	< 0,5	45,2
O	x hirtei	Delamere	0,72	2,63	0,17	4,11	0,21	< 0,5	80,7
P	x calodendron		0,84	1,94	0,20	2,48	0,14	< 0,5	81,2
Q	x dasyclados	wimm	0,73	3,03	0,23	2,51	0,22	< 0,5	54,4
R	x tora		0,74	2,09	0,77	3,65	0,89	< 0,5	59,3
S	x sven		0,87	2,76	0,11	3,60	0,39	< 0,5	66,9
T	x mollissima	Q83 (77083)	1,09	2,95	0,18	4,13	0,10	< 0,5	63,4

¹⁾ voorvoegsel x betekent dat het een kruising is.