
Energiegewassen op landbouwgronden aangerijkt met zware metalen

Eindverslag



Auteurs:

Stijn Van Slycken, Erik Meers, Filip Tack (UGent)

Kristin Adriaensen, Ann Ruttens (UHasselt,), Jaco Vangronsveld (UHasselt, CMK-Milieubiologie);

Linda Meiresonne, Boudewijn Michiels, Pierre Van Peteghem (INBO);

Nele Witters, Theo Thewys (UHasselt, CMK-Milieueconomie)



Inleiding

Op dit ogenblik is er in de Kempen een oppervlakte van 700 km² diffuus verontreinigd met zware metalen door historische industriële activiteiten. Een belangrijk aandeel hiervan wordt momenteel benut als landbouwgrond. Door de uitgestrekte aard van de verontreiniging is conventionele bodemsanering economisch geen haalbare optie. Doordat het in deze regio doorgaans zure zandgronden betreft, is de plantbeschikbaarheid van Cd, Zn, Cu en Pb dermate hoog dat de voedselveiligheid in het gedrang komt bij teelt op deze gronden, zelfs wanneer de totaalconcentraties slechts licht verhoogd zijn ten opzichte van normale achtergrondwaarden.

Ook in 2005 werden er in deze regio door het Federaal Voedselagentschap normoverschrijdingen waargenomen, met oogstvernietiging tot gevolg. Dit toezicht op voedsel- en voederveiligheid zal in de toekomst verder verstrengen, wat in de Kempense context ongetwijfeld aanleiding zal geven tot bijkomende vaststellingen van non-conformiteit en oogstweigeringen. Het doel van deze studie is de toepassing van industriële (non-food) teelten te evalueren als economisch alternatief voor landbouwers actief op landbouwterreinen die historisch zijn aangerijkt met zware metalen. Meer in het bijzonder wordt er onder impuls van recente technologische ontwikkelingen aan de Universiteit Gent en de Universiteit Hasselt gestreefd naar de teelt van bio-energiegewassen met hoge affiniteit voor metaalaccumulatie, met voldoende biomassaproductiviteit en met de mogelijkheden tot geschikte veilige verwerking van de biomassa. Het potentieel voordeel voor landbouwers werkzaam op dergelijke terreinen is dus dubbel: enerzijds wordt er een economisch alternatief aangeboden voor gronden die steeds minder voor voedselproductie in aanmerking zullen komen en anderzijds gebeurt dit op een zodanige wijze dat de bodem zelf gesaneerd wordt met op termijn zicht op functionaliteitsherstel en dus opwaardering van de vastgoedwaarde.

Voor de uitvoering van het project werd gebruik gemaakt van een uitgebreide veldproef op een matig verontreinigde terreinen te Lommel (10 ha). Voor het bereiken van de onderzoeksdoelstellingen werden in totaal 5 verschillende werkpakketten behandeld zijnde :

- Bosbouw- en landbouwtechnische werkpakket
- Milieutechnisch werkpakket
- Juridisch en economisch werkpakket
- Verspreiding van de onderzoeksbevindingen
- Naverwerking van de biomassa

Aan de hand van deze werkpakketten werden volgende doelstellingen bereikt.

Een diepgaand onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van energimaïs. Hierin werd niet alleen de biomassa-productiviteit, metaalcompartimentalisatie en –extractie bestudeerd, maar ook de impact van bemesting, de naverwerking en het afstemmen van het oogsttijdstip ten einde de toepasbaarheid te optimaliseren.

Een diepgaand onderzoek naar het gebruik van korteomloophout op metaalverontreinigde gronden in de Kempen, waarin niet alleen de groei van commerciële wilgen en populierenklonen bestudeerd werden, maar ook de opportuniteiten van nieuwe (nog niet commerciële) klonen, speciaal geselecteerd voor metaalopname en groei op metaalverontreinigde zandige gronden, meegenomen.

De aansluitende economische analyse naar de haalbaarheid voor het omschakelen naar energiegewassen op metaalaangerijkte gronden.

1 Onderzoeksterrein (test-site)

Voor de evaluatie van de toepasbaarheid van energiegewassen op landbouwgronden aangerijkt met zware metalen werd gebruik gemaakt van een experimentele site die beheerd werd in het kader van het INTERREG-project BENEKEMPEN.

1.1 Indeling onderzoeksterrein

Het terrein werd onderverdeeld in verschillende zones (Figuur 1.1.). Een eerste deel van het terrein werd gereserveerd voor alle mogelijke studies rond éénjarige landbouwgewassen (2 ha), met als nadruk maïs. De oppervlakte voor het onderzoek van maïs was ongeveer 1 ha. Het overige deel (4ha) werd gebruikt voor het onderzoek rond Korteomloophout. Er werd gekozen om naast gecommmercialiseerde klonen ook klonen in een ver gevorderd selectiestadium aan te planten, zodoende de klonale selectie te optimaliseren naar populieren- en wilgenklonen die niet alleen aangepast zijn aan de ecologische condities van de Kempen, maar ook aan de aanwezigheid van verhoogde metaalconcentraties in de bodem.

Naast deze aanplant werd ook een klein onderzoeksplot (10 are) aangeplant met een 12-tal klonen van Grauwe abeel. Het betreft een eerste screening van de productiemogelijkheden van *Populus canescens* op deze verontreinigde gronden. De geselecteerde klonen zijn afkomstig van plantenmateriaal verzameld in Vlaanderen op locaties van oud bos. Aangezien korteomloophout niet alleen ingezet kan worden voor energieproductie, maar ook voor de papierindustrie werden ook 3 populierenklonen (Muur, Vesten, Oudenberg) aangeplant met een plantafstand van 3 m, elk op een blok van ruim 10 are. Het onderzoeksobjectief bestaat er in om na te gaan of de vereiste dimensie van 7 cm diameter kan bereikt worden binnen een rotatietijd van 8 jaar, zodat dergelijke aanplanting juridisch niet onder de bepalingen van het Bosdecreet valt.

Tot slot was er een klein proefperceel waar bij aanleg GFT-compost in twee hoeveelheden (5 % w/w en 10%w/w) ingewerkt werd. Op deze terreintjes werden twee populierenklonen (Muur en Oudenberg) en één wilgenkloon (Loden) aangeplant. Hierdoor kon de invloed van deze bodembeheersmaatregel op de groei van korteomloophout en opname van metalen



- | | |
|---|------------------------------------|
| Ia + Ib : Wilg & Populier: 2.25 ha | VI : Populier: papierhout: 0.35 ha |
| II : Wilg screening (8 klonen): 0.2 ha | VII : Grauwe Abeel: 0.1 ha |
| III : Koolzaad: 1.1 ha | VIII : Bodembeheersproeven: 0.1 ha |
| IV : Energie maïs: 0.8 ha | IX : Populier screening: 0.4 ha |
| V : Wilg screening (11 families): 0.65 ha | |

Figuur 1. 1. Overzicht van de algemene aanplant van het kortoomloophout en de landbouwkundige gewassen bij aanvang van het project, met aanduiding van de oppervlaktes

1.2 Algemene bodemkarakterisatie van het terrein

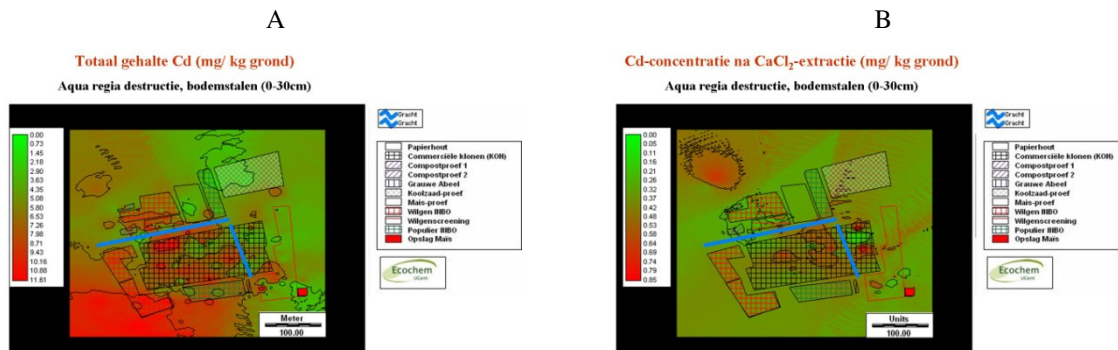
Methodiek ter beschrijving van de bodemkarakteristieken

Uit de ervaringen van een voorgaand onderzoek werd bij aanvang van het project een inschatting gemaakt van de bodemheterogeniteit. Hiervoor werden voor de aanvang van het project op 47 punten volgens een voorafgaand patroon (rasterpatroon met 50 m tussen elk staalnamepunt) verspreid over het gehele gebied bodemstalen genomen die geanalyseerd werden op pH, het pseudototaalgehalte aan Cd en Zn bepaald aan de hand van een *aqua regia* destructie en de beschikbare fractie van Cd en Zn bepaald aan de hand van een CaCl_2 -extractie. Doordat tijdens iedere staalname ook de GPS coördinaten werden genoteerd, konden de resultaten geostatistisch verwerkt worden met digitale beeldverwerkingsprogramma's zoals IDRISI (IDRISI 32, versie 132.2). Voor deze studie werd gebruik gemaakt van lineaire interpolatie om over te gaan van een discreet beeld naar een continu beeld. Er kon ook gekozen worden voor een Kriging-methode, waarbij ook onregelmatigheden en heterogeniteit op kleine schaal in rekening kunnen gebracht worden. Echter deze methode werd niet gekozen omdat deze methode een hogere en intensievere staalname vereist.

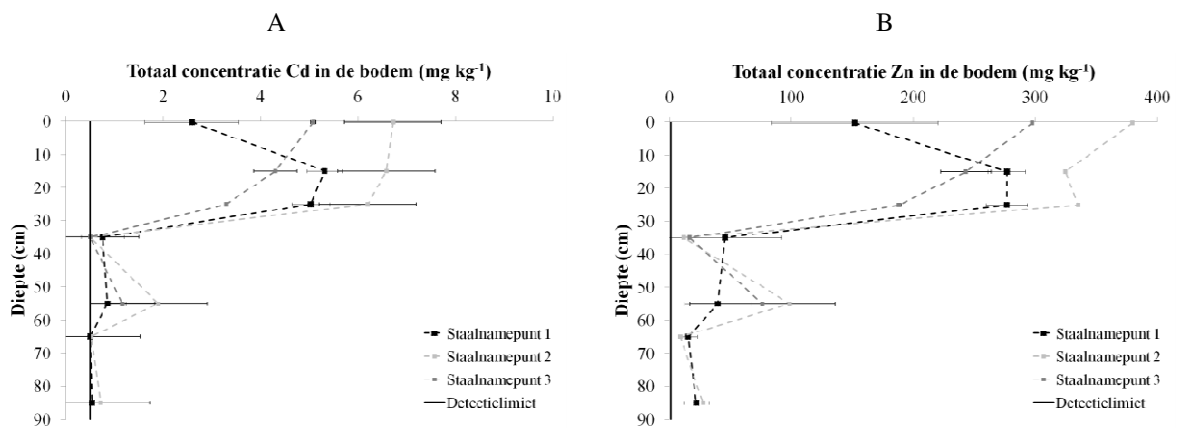
Naast de algemene bodemkarakterisatie werd ook de verdeling van Cd en Zn in de diepte beoordeeld. Hiervoor werden op 3 verschillende locaties in het proefveld door middel van een gutsboor bodemstalen genomen over een diepte van 0 tot 90 cm. Deze stalen werden nadien onderverdeeld in 7 verschillende zones, nl. 0-5; 10-20; 30-40; 50-60; 60-70 en 80-90. Van iedere zone werd nadien het pseudo-totaalgehalte bepaald aan de hand van een *aqua regia* destructie en werd de beschikbare fractie bepaald aan de hand van een CaCl_2 -extractie en werd de pH opgemeten.

Resultaten van de algemene bodemkarakterisatie

Bij aanvang van het project varieerde de pH tussen 4.8 en 6.6. Omdat deze laag was, werd een maand voor de realisatie van het project een bekalking uitgevoerd. Na het diepploegen werd er CaCO_3 (poeder, zuur bindende waarde 53) toegediend met een dosis van 5000 kg/ha en nadien geïncorporeerd in de bovenste 25 cm laag van de bodem. Dit zou de pH moeten verhoogd hebben met ongeveer 1 eenheid aangezien in juli 2006 de pH varieerde tussen 5.6 en 6.7. Uit de analyse van de totaalextractie (Figuur 1.2.) is er een hoge variabiliteit terug te vinden op het terrein. Door de variabiliteit van de pH wordt beschikbaarheid (geschat aan de hand van de CaCl_2 -extractie) iets minder uitgesproken. Toch blijft de heterogeniteit op het veld aanwezig. Dit zorgt ervoor dat metingen steeds moeten gepaard gaan met bodemstalen voor analyse. De resultaten van deze bodemonderzoeken moeten dan toelaten om verschillende teelten met elkaar te vergelijken, maar laat ook toe om eenzelfde teelt te vergelijken onder verschillende omstandigheden van metaalconcentratie in de bodem.



Figuur 1. 2. Overzicht van de spreiding van de totaalconcentratie aan Cd bepaald aan de hand van een aqua regia-destructie (A) en de inschatting van de biobeschikbare fractie aan de hand van een CaCl₂-extractie (B)



Figuur 1. 3. Overzicht van de gemiddelde concentratie aan Cd (A) en Zn (B) bepaald a.d.h.v. een aqua regia destructie over de diepte 0-90 cm, met aanduiding van de standaardafwijking, n= 3

Uit het algemeen onderzoek naar de verdeling van Cd en Zn in functie van de diepte (Figuur 1.3.) blijkt dat de concentratie aan zware metalen zich voornamelijk in de bovenste 30 cm bevinden. Dit voldoet ook aan de verwachtingen aangezien de verontreiniging afkomstig is van atmosferische depositie. Doordat het terrein onder landbouwgebruik zat, werd er op regelmatige tijdstippen geploegd waardoor de 0-30 cm zone het sterkst aangerijkt is. Onder deze zone zijn de totaalconcentratie meestal kleiner zijn dan 0.5 mg Cd /kg grond en 2 mg Zn/kg grond. Voor enkele stalen is er een hogere standaardafwijking. Dit kan verklaard worden doordat er net voor de aanplant en voor de eerste inzaai gediëpploegd is (diepte 60 cm) waardoor er mogelijks bodemzones van de hogere lagen naar daar verschoven zijn.

2 Energiemaïs op metaalaangerijkte landbouwgronden in de Kempen

Een eerste energiegewas die in dit onderzoek werd bestudeerd is het gebruik van energiemaïs als alternatieve landbouwteelt op metaalverontreinigde gronden. In dit deel wordt eerst en vooral de biomassaproductiviteit en metaalcompartmentalisatie bestudeerd (2.1. en 2.2). Nadien wordt ook de nodige aandacht besteed aan de mogelijke naverwerking van energiemaïs zowel technisch (2.3) als economisch vlak (2.7). Hierbij werd ook onderzocht in welke mate de biomassaproductiviteit, metaalextractie en de naverwerking op elkaar afgestemd kan worden (2.5).. Parallel aan deze studies is er ook onderzoek uitgevoerd het eindproduct bij vergisting van maïs afkomstig van een metaalverontreinigde grond (2.4). Hierbij werd niet alleen de metaalconcentratie in het digestaat opgevolgd en opgemeten, maar wordt het verder gebruik van dit digestaat ook besproken.

2.1 Verkennend onderzoek naar het gebruik van maïs op metaalverontreinigde landbouwgronden

Voor de studie rond het toepassen van energiemaïs op metaalverontreinigde gronden in de Kempen wordt in eerste instantie de biomassaproductiviteit en opnamecapaciteit van energiemaïs bestudeerd. Uitgaande van deze resultaten wordt tevens de extractiecapaciteit bepaald door het vermenigvuldigen van de biomassaproductiviteit met de metaalconcentratie. Indien de biomassaproductiviteit gunstig is, kan immers besloten worden of het opportuun is om de studie omtrent energiemaïs verder uit te werken. De resultaten uit dit onderzoek staan tevens beschreven in Meers et al. (2010)¹.

Methodiek van het onderzoek

In het allereerste onderzoeksjaar (2006) werden een verkennend onderzoek uitgevoerd met 6 verschillende variëteiten (geleverd door KWS) (Z1 tot en met Z6), ingezaaid op 04/05/2006 met een densiteit van 95 000 zaden ha⁻¹ op 2 verschillende blokken. Hierbij een standaardbemesting van 50 kg N ha⁻¹ gebruikt. Door aanhoudende droogte in de streek werd in de zomer van 2006 (21 juli) een éénmalige beregening uitgevoerd waarbij water werd onttrokken aan het kanaal (24 h beregening; 60 m³/u). Voor de plantenstaalname (23/10/2006) werd telkens 1m² afgebakend en de planten in deze

¹ Meers, E., Van Slycken, S., Adriaensen, K., Ruttens, A., Vangronsveld, J., Du Laing, G., Witters, N., Thewys, T. & Tack, F.M.G. (2009). The use of bio-energy crops (*Zea mays*) for 'phytoattenuation' of heavy metals on moderately contaminated soils: a field experiment. *Chemosphere* 78: 35-41.

zone werden verzameld. Het plantmateriaal werd eerst gedroogd en onderverdeeld in stengel (stengel + blad), kolf (spil + schutblad) en korrel. De gedroogde plantenstalen werden nadien vermalen zodat de concentratie aan Cd en Zn bepaald kon worden.

Verkennd onderzoek naar biomassa-productiviteit en verdeling van Cd en Zn in de plant

Dit onderzoek toonde aan dat er geen significante verschillen konden aangetoond worden in de droge biomassa-productiviteit tussen de onderzochte variëteiten. Enkel de droge biomassa-productiviteit van de stengel van Z1 toonde significante verschillen in vergelijking met deze van Z6 (Tabel 2.1). De totale verse en droge biomassa varieerden respectievelijk tussen de 36 en 53 ton verse en 7 tussen de en 22 ton droge biomassa ha⁻¹ (drogestofgehalte 30%). Ook bleek dat de droge biomassa-productiviteit voornamelijk bepaald werd door de korrel. Toch kon gesteld worden dat deze opbrengsten lager zijn dan verwacht. Voor energiemaïs wordt er voor de totale plant immers een productiviteit van tussen de 60 en 70 ton vers materiaal ha⁻¹ verwacht. De lagere opbrengsten in dit onderzoek konden echter verklaard worden door de droge omstandigheden in de zomer in de gehele streek. Bijkomend is de irrigatie vermoedelijk te laat gebeurd. De plant zelf zou al teveel verhout zijn geweest, waardoor er geen extra groei meer mogelijk was. Ook de bemesting heeft een rol gespeeld aangezien hier een algemene bemesting werd uitgevoerd i.p.v. een optimale bemesting voor maïs.

Tabel 2. 1. Biomassa-productiviteit (ton droge biomassa ha⁻¹) en concentratie aan Cd en Zn van de verschillende plantenonderdelen (stengel= stengel+blad; Kolf= schutblad+spil; korrel) (mg kg⁻¹) voor de verschillende onderzochte cultivars in het onderzoeksjaar 2006 (gemiddelde ± standaardafwijking, n= 4

		Cultivar					
		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
Biomassa-productiviteit (ton ha ⁻¹)	Stengel	4.4±0.8	3.9±0.7	4.0±1.3	4.3±1.2	3.1±0.7	2.7±0.7
	Kolf	1.9±0.7	1.9±0.3	2.0±0.8	1.6±0.3	1.2±0.4	1.7±0.2
	Korrel	8.1±2.0	9.8±2.5	9.4±3.4	7.7±3.4	7.1±1.9	6.5±1.1
	Totaal	15±3	16±2	14±5	16±5	11±3	12±2
Conc Cd (mg kg ⁻¹)	Stengel	1.8±0.3	2.2±0.4	1.8±0.9	1.9±0.2	1.8±0.4	2.4±0.4
	Kolf	0.47±0.17	0.65±0.19	0.65±0.23	0.80±0.70	0.50±0.10	0.68±0.29
	Korrel	0.10±0.15	0.06±0.02	0.07±0.04	0.07±0.06	0.05±0.01	0.06±0.03
	Totaal	0.66	0.64	0.68	0.62	0.58	0.62
Conc. Zn (mg kg ⁻¹)	Stengel	547±94	541±156	433±63	500±43	549±131	468±31
	Kolf	220±34	166±61	102±7	83±11	343±99	108±11
	Korrel	0.80±0.07	0.66±0.04	0.65±0.08	0.78±0.06	0.67±0.08	0.81±0.10
	Totaal	191	151	143	144	189	124

Wanneer de concentraties van Cd en Zn tussen de verschillende plantenonderdelen en de verschillende variëteiten bestudeerd wordt, bleek er een duidelijke verdeling in concentratie tussen de plantenonderdelen te zijn. De concentraties waren het hoogst in het stengel- en bladgedeelde en het laagst in de korrel. Over het algemeen wordt er voorzien dat het plantenmateriaal een bestemming krijgt in de energiewinningssector. Toch bleken de concentraties aan Cd in de korrel dermate laag dat hij zelfs voldoet aan de Europese norm voor gebruik als groenvoeder (zijnde 1.14 mg kg^{-1}) waardoor de korrel eventueel een meer waardevollere bestemming kan krijgen. De overige delen van de plant kunnen dan gebruikt worden voor de energiewinningssector. Toch moeten hierbij enkel kanttekeningen gemaakt worden. De vergistbaarheid van maïs zonder de korrel is niet echt beschreven geweest, noch is er een machine reeds beschikbaar die op het veld de korrels kan scheiden en de rest van de plant gebruiklaar kan maken voor silage. Ook zou de maïs zelf dan later geoogst moeten worden zodat de korrel een optimaal droge stofgehalte heeft voor gebruik als korrelvoeding. Deze latere oogst zal echter ook het drogestofgehalte van de andere plantendelen beïnvloeden alsook de efficiëntie naar vergistbaarheid. Tevens werd er gewerkt met energimaïs variëteiten ipv met korrelmaïsvariëteiten. Het is niet gekend of bij korrelmaïs eenzelfde positief resultaat zou bekomen worden. Daarom werd besloten om het onderzoek rond de toepassingsmogelijkheden van energimaïs verder uit de diepen (2.2), alsook om de impact van het oogsttijdstip op de naverwerking, biomassaproductiviteit en metaalextractie (2.4).

2.2 Verdiepend onderzoek naar de toepasbaarheid van energimaïs op metaalverontreinigde landbouwgronden

Zoals in onderstaande methodiek terug te vinden is, werd het onderzoek naar de landbouwtechnische haalbaarheid van energimaïs op metaalverontreinigde gronden uitgediept. Hierbij werd niet alleen de biomassaproductiviteit onder optimale bemestingscondities bestudeerd. Hierbij werd tevens de opnamecapaciteit bestudeerd, zodat het extractierendement van Cd en Zn door energimaïs onder optimale conditie bestudeerd kan worden. Dit onderzoek is verwerkt terug te vinden onder Van Slycken et al (XXXa)², maar werd ook de impact van de bemesting op de biomassaproductiviteit bestudeerd.

² Artikel onder interne revisie, Van Slycken, S., Witters, N., Meers, E., Peene, A., Michels, E., Adriaensen, K., Ruttens, A., Vangronsveld, J., Du Laing, G., Thewys, T., Tack, F.M.G. Safe use of metal contaminated agricultural land by cultivation of energy maize (*Zea mays*) en zal ingediend worden bij Environmental Pollution

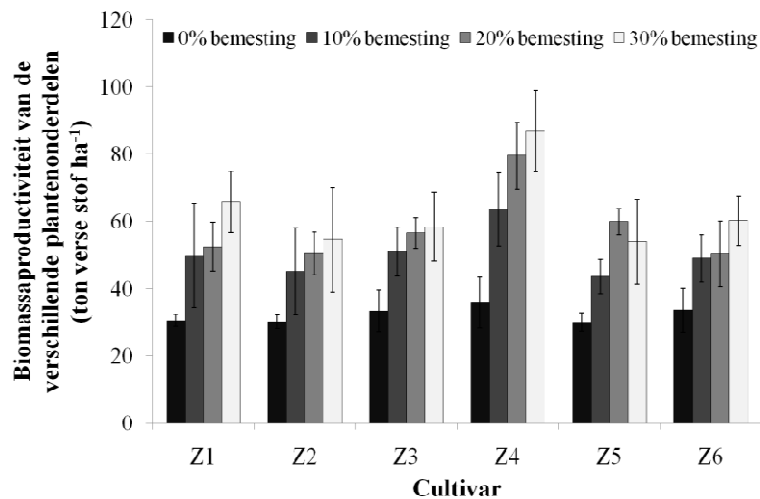
Methodiek van het onderzoek

In het tweede onderzoeksjaar werd de proefopzet rond energimaïs herhaald en verdiept. De gebruikte variëteiten bestonden hierbij uit 3 variëteiten (geleverd door KWS) afkomstig uit het eerste onderzoeksjaar en 3 nieuwe variëteiten (geleverd door Pioneer) (Z1 tem Z6). Om mogelijke verschillen te onderzoeken met korrelmaïs werd er tevens een energimaïsvariëteit ingezaaid die meer aanleunt bij de traditionele korrelmaïs (Zb). Voor dit onderzoek werd tevens gekozen voor een optimale bemesting voor maïs en werd er aan de bodem door middel van de sleepslangmethode maïs $20\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ drijfmest (of 170kg N ha^{-1}) toegevoegd. Iedere plantenstaalname bestond uit het nemen van een representatief staal van 6, naast elkaar groeiende, planten. De plantenstalen werden onderverdeeld in stengel, blad, spil, schutblad en korrel voor bepaling van de verse en droge biomassa. Op de gedroogde plantenstalen werd nadien de concentratie aan Cd en Zn bepaald. Op de plaats waar een plantenstaal werd genomen, werd tevens een bodemstaal genomen. Deze bestond uit het nemen van een mengstaa van 6 boringen met een grondboor (operationele lengte 25 cm) verdeeld over iedere bemonsterde plot. Op de bodemstalen werden pH, conductiviteit gemeten, alsook het gehalte aan Cd en Zn na *aqua regia* destructie en in een CaCl_2 -extractie.

Ook werd het effect van de bemesting op de biomassa-productiviteit onderzocht. Hiervoor werd een perceel ingedeeld in 4 zone met stijgende bemesting (0, 10, 20 en $30 \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ of 0, 85, 170 en 250kg N ha^{-1}). Op hetzelfde tijdstip als voor de het screeningsonderzoek werden hier ook stalen genomen. Tevens werden, verdeeld over de bemestingplots, 6 extra bodemstalen genomen door de Bodemkundige Dienst voor een toetsing aan de nitraatnorm (90kg N-NO_3) die opgelegd wordt door het Meststoffendecreet (Belgisch Staatsblad 30 maart 2000).

Impact van bemesting op de biomassa-productiviteit

Het effect van de suboptimale bemesting op de biomassa-productiviteit werd bevestigd in de bemestingsproef. De toediening van een bemesting zorgt inderdaad voor een enorme impact op de totale biomassa-productiviteit (Figuur 2.1). Zo bestonden er significante verschillen tussen de biomassa-productiviteit van de verschillende cultivars onder nulbemesting ten opzichte van deze onder bemesting. De meest optimale bemesting werd inderdaad gevormd onder een bemesting van ongeveer 170kg N ha^{-1} .



Figuur 2. 1. Verse biomassa-productiviteit (ton ha⁻¹) van 6 onderzochte maïsvariëteiten onder verschillende bemestingsregimes (0, 85, 170 en 250 kg N ha⁻¹), (gemiddelden met aanduiding van de standaardafwijking, n= 5)

Wanneer er zelfs een nog hogere bemesting werd toegediend, werd de biomassa-productiviteit nog verhoogd. Toch moet hierbij met enige voorzichtigheid omgesprongen worden, aangezien een hogere toediening van N niet mag zorgen voor een verhoogd risico op nitraatuitlogging. Daarom werden ook door de Bodemkundige Dienst van België stalen genomen voor een onderzoek naar nitraatuitlogging (Tabel 2.2). Hierbij was er een opmerkelijke stijging in het nitraatresidu bij een verhoogde bemestingsdosis. Toch lagen alle stalen onder de algemene norm van het Meststoffendecreet. De hogere bemesting heeft in de 30-60 cm laag een iets hoger NO₃-gehalte dan normaal veroorzaakt, maar deze is zeker niet verontrustend en veroorzaakt geen gevaar naar uitlogging toe. Alle dosissen hebben verder de nitraatstikstof goed benut en hebben een beperkte hoeveelheid nitraatstikstof achtergelaten in het bodemprofiel.

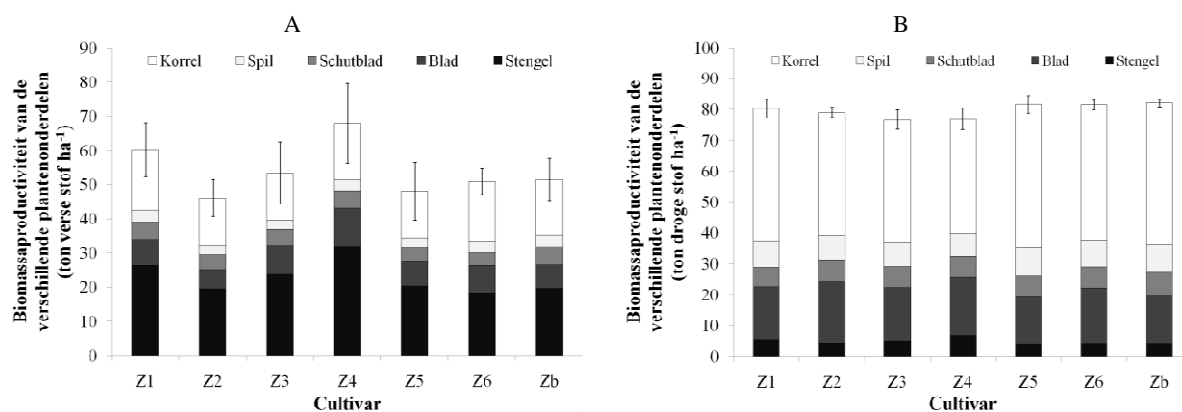
Tabel 2. 2. Overzicht van de analyseresultaten (grondsoort, nitraat-N, ammonium-N, koolstof-gehalte en pH-KCl) uitgevoerd door de Bodemkundige Dienst van België voor de verschillende bemestingsregimes (A, B, C, D zijn respectievelijk 0, 10, 20 en 30 m³ ha⁻¹ drijfmest)

	Grondsoort	Nitraat –N	Ammonium-N	Koolstof gehalte	pH-KCl
A					
0-30 cm	15 Fijn zand	12.8 (laag)	16.1	2.4	6.5
30-60cm	15 Fijn zand	154 (normaal)	> 30.0	(normaal)	
60-90 cm	10 Grof zand	5.9 (laag)	13.1		
Nitraatresidu	(kg NO₃-N/ha)	34.1			
B					
0-30 cm	15 Fijn zand	14.0 (laag)	20.7	2.3	6.6
30-60cm	15 Fijn zand	14.9 (laag)	23.0	(normaal)	
60-90 cm	10 Grof zand	9.9(laag)	9.5		
Nitraatresidu	(kg NO₃-N/ha)	38.8			
C					
0-30 cm	15 Fijn zand	17.8 (normaal)	24.8	1.8	6.3
30-60cm	10 Grof zand	13.7 (laag)	24.6	(normaal)	
60-90 cm	10 Grof zand	20.3 (normaal)	11.4		
Nitraatresidu	(kg NO₃-N/ha)	51.8			
D					
0-30 cm	15 Fijn zand	16.3 (normaal)	21.5	2.0	6.5
30-60cm	10 Grof zand	34.0 (hoger)	20.1	(normaal)	
60-90 cm	10 Grof zand	21.2 (normaal)	12.2		
Nitraatresidu	(kg NO₃-N/ha)	71.5			

* Conform de rekenregels bepaald door de VLM, wordt deze berekende waarde gebruikt gezien de gemeten waarde lager was dan de bepaalbaarheidsgrens van 0.54 mg nitraat-N per liter extract

Biomassaproductiviteit van energiemaïs op metaalverontreinigde landbouwgronden

In 2007 varieerde de totale verse biomassa van maïs tussen de 48±4 (Z5) en 68±12 (Z4) ton ha⁻¹. Dit leunt meer aan bij de verwachte waarden voor energiemaïs. De totale verse biomassaproductiviteit van Z4 was het hoogst. Wanneer de droge biomassaproductiviteit bestudeerd werd bleek deze van Z4 ook het hoogst te zijn, namelijk 23±3 ton ha⁻¹, en significant verschillend van de overige variëteiten met uitzondering van Z1 (Figuur 2.2 en Tabel 2.3). De droge biomassaproductiviteit werd zoals voorgaand onderzoek voornamelijk bepaald door de biomassaopbrengst van de korrels, gevolgd door het blad. De bekomen gemiddelde totale opbrengst (20±3 ton ha⁻¹), was niet alleen beter in vergelijking met het voorgaande jaar, maar was tevens gelijkaardig als deze van andere screeningsproeven op niet-verontreinigde gronden in de Kempen als elders in Vlaanderen (ILVO, 2009; Ghekiere et al., 2007). Dit komt doordat maïs gespecificeerd wordt als excludertype (metaalopname-vermijnd) waardoor hij negatieve effecten van metaal toxiciteit kan vermijden en hij voor opbrengsten kan zorgen die aanleunen bij de opbrengsten op andere, niet-verontreinigde landbouwgronden.



Figuur 2. 2. Verse (A) en droge (B) biomassaproductiviteit (ton ha⁻¹) van de verschillende plantenonderdelen van 7 onderzochte maïsvariëteiten onder optimale bemesting tijdens het tweede onderzoeksjaar (gemiddelden met aanduiding van de standaardafwijking van de totale biomassaproductiviteit, n=6

Opnamecapaciteit van Cd en Zn bij energimaïs

Wanneer de metaalverdeling in de plant werd bestudeerd bleek ook hier een duidelijke tendens te zijn van metaalverdelingen. De concentratie in de stengel is het hoogst gevolgd door blad en zijn het laagst in de korrel. Er konden, analoog als in het eerste onderzoek nagenoeg geen significante verschillen aangetoond worden in metaalconcentratie van de plant en de gekozen cultivar. Ook konden er geen significante verschillen aangetoond worden in de concentratie van Cd en Zn in de totale plant. Er kon daarom geconcludeerd worden dat op het terrein zelf de concentratie aan Cd en Zn in energimaïs $0.96 \pm 0.29 \text{ mg kg}^{-1}$ voor Cd en $219 \pm 39 \text{ mg kg}^{-1}$ voor Zn bedroeg (Tabel 2.4). Ook hier komen de lage concentraties in de korrel naar voren, maar nog steeds met dezelfde kanttekeningen als in 2.1. Wanneer de concentratie aan Cd in maïs gekoppeld werd aan de Europese norm voor veevoeder 1.14 mg kg^{-1} voor Cd bleken slechts enkele stalen hieraan niet te voldoen, waardoor een alternatieve verwerking toch aan te raden blijft.

Tabel 2. 3. Verse (VS) en Droge (DS) biomassaproductiviteit (ton ha⁻¹) van de verschillende plantenonderdelen en van de totale plant van 7 onderzochte energiemais-varieteiten, (gemiddelde ± standaardafwijking, n =6)

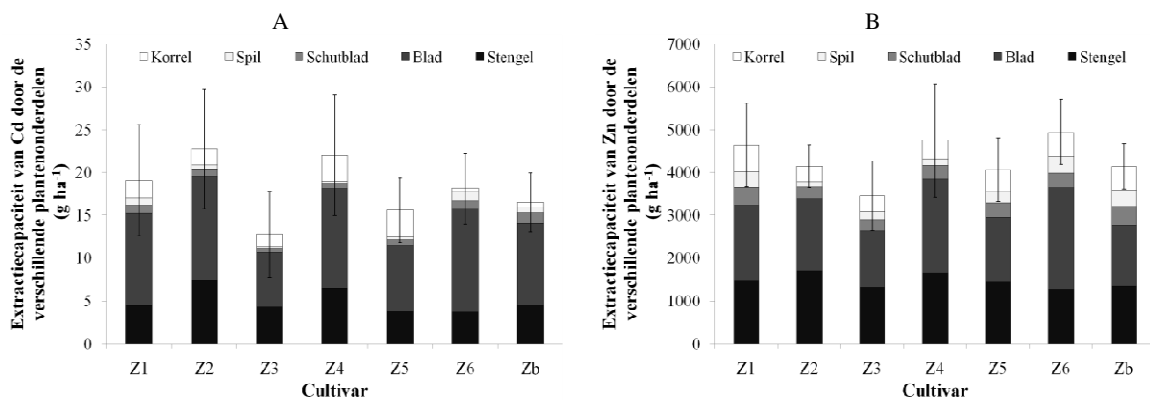
	Stengel		Blad		Schutblad		Spil		Korrel		Total	
	VS	DS	VS	DS	VS	DS	VS	DS	VS	DS	VS	DS
Z1	26±4b	5.4±0.6	7.5±1.8	3.7±0.3	5.1±1.0	1.4±0.3	3.5±0.5	1.9±0.3	18±2	9.4±1.7	60±8	22±3
Z2	20±3c	4.4±0.9	5.6±1.1	3.5±0.2	4.2±0.9	1.2±0.2	2.8±0.6	1.4±0.3	14±3	7.0±1.4	46±5	17±2
Z3	24±3bc	4.9±0.7	8.5±2.3	3.0±0.4	4.7±1.2	1.2±0.2	2.7±0.6	1.4±0.4	14±3	7.1±1.8	53±9	18±3
Z4	32±4ab	6.8±1.3	11±3	4.2±0.5	5.0±2.9	1.5±0.5	3.3±0.8	1.4±0.3	16±4	8.5±1.7	68±12	23±3
Z5	20±2c	4.2±0.5	7.2±1.6	2.8±0.4	4.0±0.8	1.3±0.3	2.7±1.2	1.7±0.4	14±6	8.7±1.8	48±8	19±3
Z6	29±2c	4.3±0.4	8.2±1.3	3.4±0.4	3.7±0.7	1.3±0.2	3.5±0.4	1.7±0.3	17±2	8.3±1.5	51±4	19±2
Z7	20±3c	4.3±0.4	6.8±1.6	2.9±0.2	5.4±2.0	1.4±0.4	3.2±0.3	1.7±0.2	16±1	8.8±1.0	51±6	19±1

Tabel 2. 4. Cd en Zn concentraties (mg kg⁻¹ droog materiaal) in de verschillende plantenonderdelen en van de totale plant van 7 onderzochte maisvarieteiten (gemiddelde ± standaardafwijking, n =6)

	Z1		Z2		Z3		Z4		Z5		Z6		Z7		
	Cd	Stam	0.81±0.34	1.7±1.3	0.85±0.45	0.93±0.32	0.90±0.13	0.89±0.09	1.1±0.6	Blad	2.9±0.6	3.5±0.4	2.2±0.9	2.7±0.9	2.7±1.0
	Kolf	0.67±0.18	0.68±0.22	0.36±0.09	0.43±0.09	0.53±0.13	0.71±0.11	0.88±0.16	Schutblad	0.33±0.33	0.35±0.19	0.07±0.05	0.14±0.07	0.20±0.13	0.41±0.29
	Korrel	0.213±0.032	0.269±0.020	0.205±0.007	0.355±0.056	0.302±0.157	0.034±0.023	0.059±0.045	Totaal	0.89±0.21	1.4±0.4	0.81±0.24	1.0±0.3	0.99±0.19	0.87±0.17
Zn	Stam	276±26	398±92	267±92	244±79	341±26	299±22	315±97	Blad	469±74	492±115	443±125	509±126	542±137	489±88
	Kolf	289±37	223±62	207±41	192±44	266±66	277±26	314±49	Schutblad	193±95	105±16	128±42	93±11	147±32	210±78
	Korrel	65±7	51±3	51±9	51±9	57±8	64±5	64±5	Totaal	211±19	238±38	198±47	204±4	254±40	217±34

Extractiecapaciteit van Cd en Zn door energiemais op metaalverontreinigde landbouwgronden

Wanneer het extractiepotentieel van de verschillende plantenonderdelen bestudeerd wordt, bleek het grootste gedeelte van het extractiepotentieel door de stengel en de bladeren bepaald te worden (Figuur 2.3). Wanneer de totale extractiecapaciteit bestudeerd wordt, dan konden geen significante verschillen aangetoond worden tussen de verschillende variëteiten. Toch bleek ook hier Z4 de best en Z3 de minst presterende variëteit te zijn. Ook tussen de verschillende plantendelen afzonderlijk konden er nauwelijks verschillen aangetoond worden tussen de variëteiten. Hierdoor kan geconcludeerd worden dat mais een algemene extractiecapaciteit heeft van 19 ± 6 g Cd en 4.3 ± 0.9 kg Zn ha^{-1} jaar $^{-1}$. Dit betekent echter dat wanneer 1) een constant extractiecapaciteit wordt aangehouden; 2) enkele de bovenste 25 cm onder beschouwing genomen wordt 3) een bodemdichtheid van 1400 g dm^{-1} wordt verondersteld energiemais voor een jaarlijkse reductie van 0.005 mg kg^{-1} Cd en 0.3 mg kg^{-1} Zn. Voor Cd betekent dit, dat als we de bodem willen saneren van 5 naar $2 \text{ mg Cd kg bodem}^{-1}$ meer dan 500 jaar vereist is. Deze periode is echter te lang om te kunnen spreken van echte remediatie. Indien de naverwerking haalbaar is en de overstap naar de teelt van energiemais economisch haalbaar is, kan er echter gesproken worden van het feit dat energiemais voor een risico-beheerde bodembeheer kan zorgen en een ideaal phytomanagement of phyoattenuatie gewas is.



Figuur 2. 3. Extractiecapaciteit van Cd (A) en Zn (B) door de verschillende plantenonderdelen van 7 onderzochte maïsvariëteiten onder optimale bemesting tijdens het tweede onderzoeksjaar (gemiddelden met aanduiding van de standaardafwijking van de totale extractiecapaciteit, n=6)

2.3 Verkennend onderzoek naar de vergistbaarheid van energimaïs energimaïs afkomstig van een metaalaangerijkte landbouwgrond uit de Kempen

De lage concentraties aan Cd en Zn in energimaïs laten niet toe dat er over efficiënte extractie gesproken kan worden, toch kunnen deze lage concentraties ervoor zorgen dat de impact van metalen op de efficiëntie bij het nuttig toepassen niet al te sterk beïnvloed wordt. Daarom werd in eerste instantie een verkennend onderzoek naar de vergistbaarheid van energimaïs bestudeerd. De resultaten worden tevens meegerapporteerd in Van Slycken et al (XXXa).

Methodiek van het onderzoek

Een eerste stap in dit onderzoeksluikje was het bepalen van het biogas productie potentieel (BPP) van ingekuilde maïs. Deze werd vergeleken met een eenrgiemaïs variëteit van een niet-verontreinigde grond (referentie aangeleverd door OWS). Hiervoor werd gebruik gemaakt van enkele batch-testen en werden uitgevoerd door Organic Waste Systems (Gent), een van de partners in de gebruikerscommissie. Het doel van batch-tests is het achterhalen of het substraat in aanmerking komt om als monosubstraat te kunnen vergisten en berekent hoeveel biogas er per ton substraat er verwacht mag worden. De test is gebaseerd op ISO, 15985, ASTM D 5511-94 and DIN 38414 en bestaat uit het toevoegen van een kleine hoeveelheid van het te onderzoeken substraat (50-100 g) aan een reeds bestaand actief gestabiliseerd inoculum (1 kg). Na grondige roeren wordt deze reactor verhit op 52°C gedurende 14 dagen. De biogas productie wordt opgemeten aan de hand van de volumetrische verplaatsing van een kolom gevuld met gas en water die verbonden is met de reactor. Uit deze verplaatsing wordt nadien het aantal geproduceerd biogas berekend. Het biogas productie potentieel wordt gelijkgesteld aan de netto biogas productie van het substraat opgemeten na 7 dagen en wordt uitgedrukt in $\text{Nm}^3 \text{ biogas kg}^{-1}$ vers gewicht.

Vergistbaarheid van energimaïs van een metaalaangerijkte landbouwgrond uit de Kempen

Uit de allereerste batchtesten leek het verloop van het biogaspotentieel van de verontreinigde silage gelijkaardig te zijn als deze van de referentie (Figuur 2.4A). Tevens kon er geen verschil aangetoond worden in het uiteindelijk berekende biogaspotentiaal, $215 \pm 23 \text{ Nm}^3 \text{ ton}^{-1}$ vers materiaal, voor de silage uit Lommel versus deze aangeleverd door OWS, $194 \pm 4 \text{ Nm}^3 \text{ Nm}^3 \text{ ton}^{-1}$ vers materiaal, die beschouwd werd als referentie. Het biogaspotentieel is tevens gelijkaardig aan het algemeen aangenomen gemiddelde (tussen de 180 and $220 \text{ Nm}^3 \text{ ton}^{-1}$ vers materiaal).

2.3.1 Verdiepend onderzoek naar de vergistbaarheid van energiemais afkomstig van een metaalaangerijkte landbouwgrond uit de Kempen

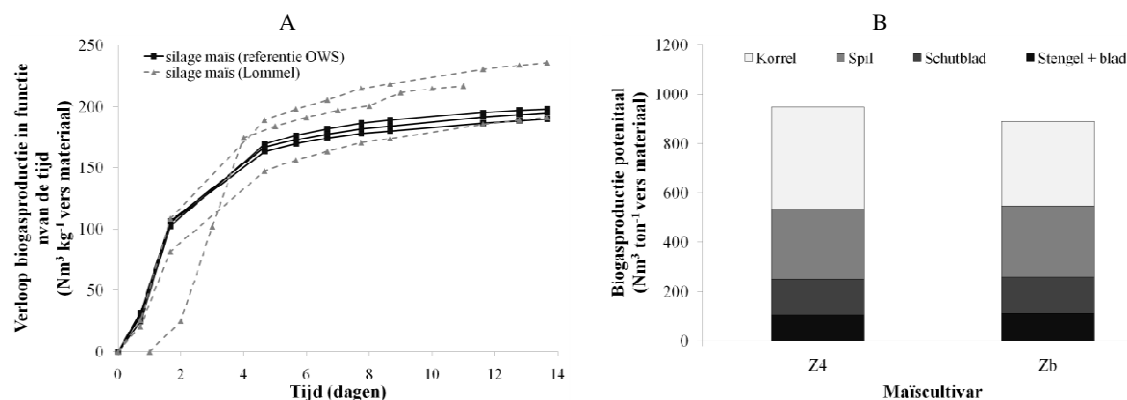
Na positieve test resultaten van de silage werd besloten om het onderzoek rond de vergistbaarheid verder te verdiepen. Deze verdiepende resultaten werden echter uitgevoerd in het kader van een ander project (MIP, 2008), desalnietemin wordend e resultaten samengevat weergegeven daar de biomassa afkomstig is uit dit project. Deze resultaten samen met de resultaten van 2.4 worden gerapporteerd in Van Slycken et al (XXXXb)¹.

Methodiek van het onderzoek

Aangezien tijdens het onderzoek de vraag naar voren kwam of de korrel geen hoogwaardigere naverwerking kon krijgen werd ook het vergistingspotentieel van de verschillend plantenonderdelen zelf onderzocht, volgens hetzelfde procedé als voor 2.3.1. Batch-testen zijn echter enkel verkennende onderzoekslijnen en geven geen informatie over lange termijn effecten. Daarom werd ook besloten om een (mini-)DF-test (Dry Fermentation) op te starten. De resultaten uit deze test zijn een perfecte benadering van het continue Dranco-proces Deze DF-test heeft uiteindelijk 435 dagen geduurd. Over de proefopzet zelf wordt niet tot in detail besproken aangezien dit kaderde in een MIP-project (MIP, 2008).

Vergistbaarheid van energiemais afkomstig van een metaalaangerijkte landbouwgrond uit de Kempen

Uit de vergistbaarheid van de verschillende onderdelen bestudeerd bleek het vergistingspotentieel van energiemais $203 \pm 7 \text{ Nm}^3 \text{ ton}^{-1}$ vers materiaal te te bedragen en is gelijkaardig als bij het verkennend onderzoek. Tevens kon aangetoond worden dat het biogaspotentiaal voornamelijk bepaald wordt door de korrels ($\pm 56\%$), gevolgd door de stengel ($\pm 29\%$) (Figuur 2.4B). Indien rekening wordt gehouden met de biomassaproductiviteit van de plant kan gesteld worden dat er een totale methaan opbrengst is van ongeveer $10\,176 \text{ Nm}^3 \text{ ha}^{-1}$. Dit is vergelijkbaar met de algemene richtwaarden die voor mais in de literatuur gevonden kunnen worden.



Figuur 2. 4. Verloop van het biogaspotentieel (Nm³ van ingekuilde energiemaïs van een metaal-verontreinigde grond (Lommel) en een niet-verontreinigde grond (aangeleverd door OWS) (n=3) (A) alsook de relatieve aandeel van de verschillende plantenonderdelen (stengel en blad, schutblad, spil en korrel) van energiemaïs (n=2) (B)

Batch-testen blijven echter verkennend en geven nog geen definitief uitsluitsel over het al dan niet continu kunnen vergisten van een energiemaïs afkomstig van een metaalverontreinigde grond. Daarvoor is een continue labotest noodzakelijk. In een dergelijke test kunnen parameters zoals ideale substraatmix, nutriëntentekorten en toxiciteit onderzocht worden (MIP, 2008). Daarom werd in het labo van OWS ook een semi-continue test van 435 dagen uitgevoerd. Gebaseerd op de resultaten van de batch-testen werd besloten om de reactor te voeden zodat er een belasting was van $2.5 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^3 \text{ d}^{-1}$. Na 15 weken verliep de vergisting (30 kg reactor) stabiel vermits de N constant bleef en de vluchtige vetzuren laag bleven (< 1000 ppm). bekomen kan worden. Gebaseerd op de dagelijkse metingen kon besloten worden dat biogasproductie over de gehele periode varieerde tussen de 137 and a maximum of $258 \text{ Nm}^3 \text{ ton}^{-1}$ vers materiaal met een gemiddelde biogasproductie van $195 \text{ Nm}^3 \text{ ton}^{-1}$ vers materiaal. Hieruit kan dus besloten worden dat ook op lange termijn er geen negatief effectzijn door de verhoogde metaalconcentraties in het plantenmateriaal en dat de resultaten van de batchtest mogen doorgetrokken worden naar de praktijk toe.

2.4 Metaalconcentratie en gebruik van digestaat van energiemais afkomstig van een metaalaangerijkte landbouwgrond

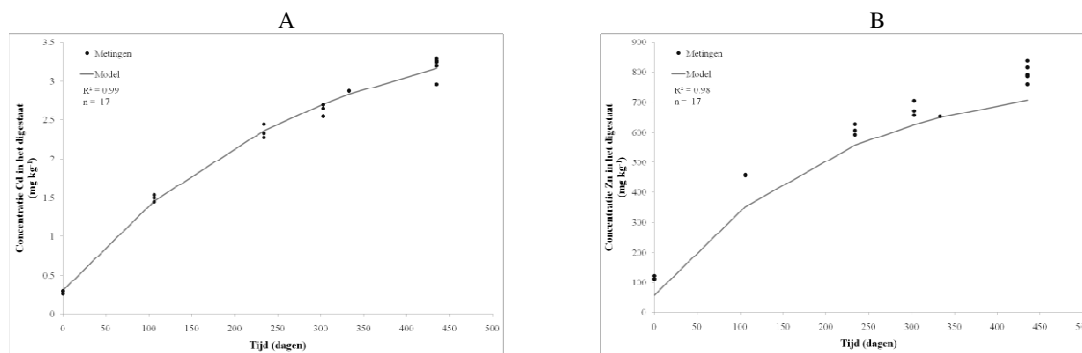
Naast de algemene vragen naar productiviteit en opname en extractiedrag, kon er aangetoond worden dat de geproduceerde biomassa verwerkt kan worden in de energiewinningsindustrie, zijnde de anaerobe vergisting. Desalnietemin blijft de permanente vraag over de massabalans van de metalen tijdens de naverwerking en de implicaties bij het gebruik van het eindproduct. Daarom werd tijdens de semi-continue test van 435 dagen de metaalconcentratie in het digestaat opgevolgd en nadien het digestaat bestudeerd. Deze resultaten vormen mede deel uit van een ander project (MIP, 2008). Toch zullen de conclusies in dit verslag behandeld worden daar ook hier het inputmateriaal uit dit project afkomstig is.

Methodiek van het onderzoek

Parrallel met de semi-continue vergistingsproef werd op regelmatige tijdstippen een staal genomen van het digestaat en fysico-chemisch genalyseerd. Ook bij aanvang en op het einde van het experiment werden stalen genomen van het digestaat en de input ter bepaling van de concentratie aan Cd en Zn en van de hoofdelementen. Een voerzicht van de concentratie aan hoofd en sporeelementen van het metaal waar de vergister gevoed met werd, voor aanvang van het experiment alsook van het silagemateriaal tijdens het experiment wordt weergegeven in Tabel 2.5. Op die manier kon 1) de opconcentratie van de metalen in functie van de tijd bestudeerd worden; 2) de opconcentratiefactor bij anaerobe vergisting van mais afkomstig van een metaalverontreinigde en van een niet-metaalverontreinigde grond bestudeerd en vergeken worden en kon (iii) het gebruik van dit digestaat nader bestudeerd worden. Deze analyses gebeurden in het kader van het MIP-project. Aangezien het beginmateriaal afkomstig is uit dit onderzoek worden de uitkomsten in dit rapport besproken.

Metaalconcentratie in het digestaat tijdens anaerobe vergisting

Zoals reeds vermeld werden op verschillende tijdstippen (na 106, 234, 303, 435 dagen) tijdens de semi-continue vergistingproef stalen genomen van het digestaat zodat de concentratie aan Cd en Zn in functie van de tijd bestudeerd kan worden (Figuur 2.5).



Figuur 2. 5. Verloop van de Cd (A) en Zn (B) concentratie (mg kg^{-1}) in verloop van de tijd, samen met het verloop van het sigmoïdaal model ter bepaling van de eindconcentratie, met aanduiding van de determinatiecoëfficiënt R^2 , $n=17$

Uit dit verloop kan afgeleid worden de concentratie in het digestaat stijgt naar een stabiel eindpunt. Na 435 kon gesteld worden dat de concentratie in het digestaat 3.2 ± 0.1 Cd en 800 ± 34 mg kg^{-1} Zn bevat (Tabel 2.5). Ten einde een volledig inzicht te krijgen over de concentraties in het digestaat, werd de concentratie aan Cd en Zn onder *steady state* condities, d.i. wanneer de concentraties niet meer veranderen; berekend. Hiervoor werd een sigmoïdale curve te fitten aan de data. Er werd gekozen voor een sigmoïdale functie omdat deze het beste de te verwachten opconcentratie van elementen in digestaat beschrijft en wordt beschreven door middel van onderstaande formule (Verg. 2.1):

$$\text{-----} \quad \text{(Verg. 2.1)}$$

Hierbij is x het begintijdstip van het experiment, $g(x)$ de concentratie in het digestaat, x_0 , y_0 , a en b parameters die het model beschrijven. Uit deze data blijkt dat, wanneer *steady state* niveau bereikt zal worden, de concentratie in het digestaat 3.9 mg kg^{-1} Cd en 800 mg kg^{-1} Zn zullen bedragen. Deze leunen dicht aan bij de opgemeten concentraties na 435 dagen, waardoor kan gezegd worden dat het gekozen eindpunt representatief is voor hetgeen verwacht kan worden in de praktijk.

Tabel 2. 5. Overzicht het percentage droge stof (%DS), en de concentratie aan Cd en Zn (mg kg⁻¹) en N, P,K en Ca (g kg⁻¹) van zowel het inputmateriaal voor het experiment (Maïs ref), het inputmateriaal tijdens het experiment (Maïs Lommel); als van het digestaat voor het experiment (Digestaat ref) als op eht einde van het experiment (Digestaat Lommel) (gemiddelde ± standaardafwijking, n=3 voor Maïs ref en Digestaat ref en n=6 voor Maïs Lommel en Digestaat Lommel)

	% DS	Cd mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	P g kg ⁻¹	K g kg ⁻¹	Ca g kg ⁻¹
Maïs ref	31±2	< DL	33±2	12±1	2.1±0.2	13±1	2.3±0.2
Maïs Lommel	24±5	1.0±0.1	257±34	8.3±0.9	1.7±0.3	8.4±1	2.5±0.2
Digestaat ref	9.5±0.1	0.40±0.03	367±15	28±2	21±1	42±2	19±1
Digestaat Lommel	12±1	3.2±0.1	797±27	26±1	9.5±0.1	39±1	72±1

Wanneer de uiteindelijke concentraties vergeleken worden met het inputmateriaal, kon teruggevonden worden dat de opconcentratie-factor van Cd en Zn in het digestaat respectievelijk 3.2±0.5 en 3.1±0.4 ten opzichte van het inputmateriaal bedraagt. Indien met de waarden van het *steady state* niveau gewerkt wordt, worden voor Cd en Zn opconcentratiefactoren van respectievelijk 4.0±0.5 en 3.2±0.4 bekomen.

Naast elementen zoals Cd en Zn werd ook de concentratie aan N, P, K en Ca in zowel het input als het output materiaal bepaald (Tabel). Wanneer ook hier de opconcentratie bepaald wordt, bekomt met voor N, P, K en Ca een opconcentratie-faktor van respectievelijk 3.2±0.4, 5.0±1, 5.0±0.2 en 3.0±0.4. Deze liggen in een gelijkaardige trend als voor Cd en Zn. Tevens liggen de waarden binnen waarden die bekomen worden uit de literatuur waar opconcentratiefactoren voor N, P en K bij Sorghum terug te vinden zijn.

Gebruik van het digestaat

De samenstelling van een digestaat is echter zeer verschillend. Er bestaat niet zoiets als ‘hét digestaat’: de samenstelling varieert naargelang de inputstromen die vergist worden, het proces en de eventuele nabehandeling. Hierbij dient er dan ook meestal een onderscheid ghemaaakt e owrden in de wetgeving. In dit rapport wordt echter vetrokken van een mono-vergisting van maïs en zullen de algemene wettelijke bepalingen voor het bekomen eindproduct uit het experiment overlopen worden. Over de algemene bestemming van het digestaat wordt echter uitgebreid verwezen in hoofdstuk 6.

2.5 Impact van het oogsttijdstip op de vergistbaarheid van energiemaïs

Tijdens het onderzoek is dus gebleken dat energiemaïs een optimale biomassaproductiviteit vertoont en dat ook het biogaspotentieel gelijkaardig is als algemeen verondersteld kan worden. Door de lage

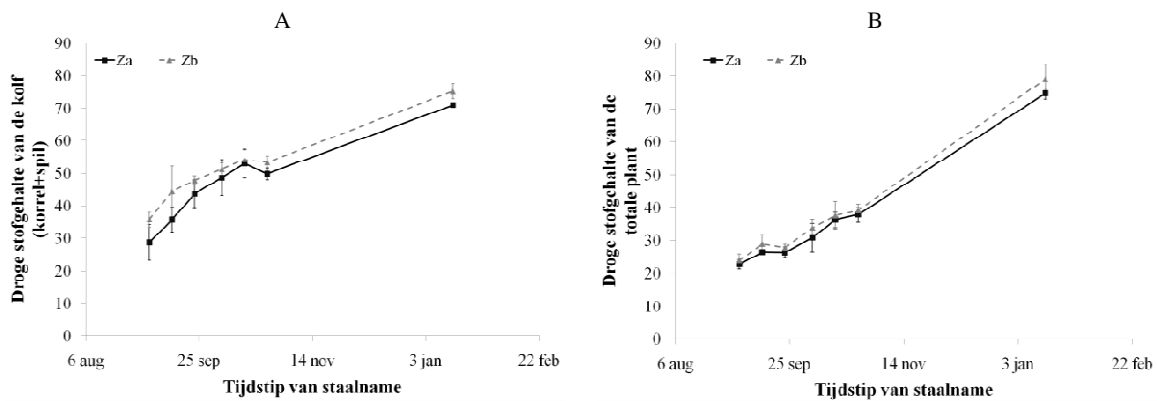
concentraties in de korrel werd de vraag gesteld of de korrel van maïs geen hoogwaardigere eindbestemming (de voederindustrie kon krijgen). Indien deze piste bewandeld zou worden, moet het oogsttijdstip verlaat worden, en moet onderzocht worden of de vergistbaarheid van maïs nog even redabel is aangezien 1) de korrel voor meer dan helft instaat van het totale biogaspotentieel van de maïsplant en 2) een later oogsttijdstip ook impact heeft op het verhoutingsproces van maïs en dus ook op biogaspotentieel van de overige plantenonderdelen. Het later oogsten, of afrijpen van de plant zorgt immers voor een verandering van de C/N verhouding in de plant, waardoor de efficiëntie van de naverwerking beïnvloed kan worden. Aansluitend aan deze vraagstelling kon tevens onderzocht worden of het oogsttijdstip ook een impact heeft op de metaalextractiecapaciteit. De resultaten uit dit onderzoek zullen in een latere fase ook overgebracht worden naar een artikelvorm.

Methodiek van het onderzoek

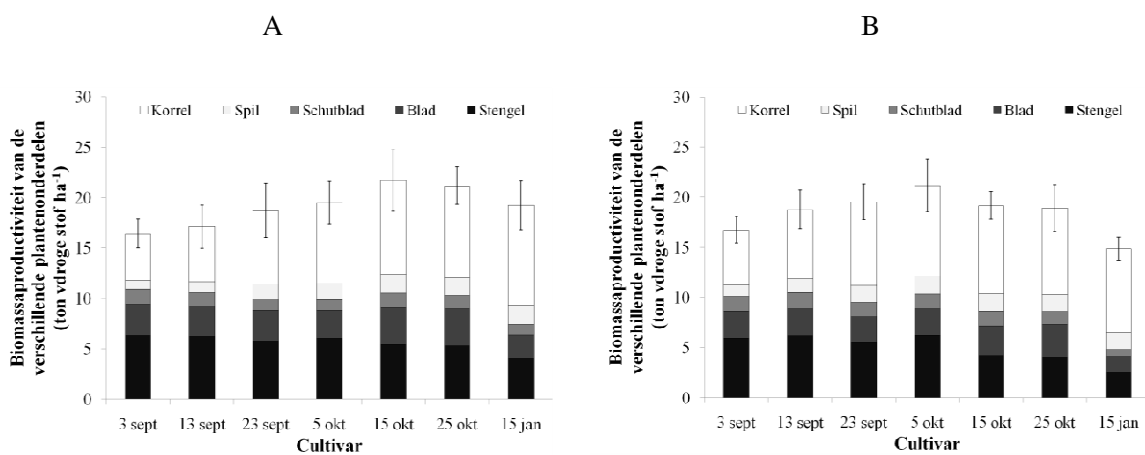
Om het effect van het oogsttijdstip op de biomassa-productiviteit, naverwerking en metaalopname en verwijdering te bestuderen werden op verschillende tijdstippen (3 september 2007; 13 september 2007; 23 september 2007; 5 oktober 2007; 15 oktober 2007; 25 oktober 2007; 15 januari 2008) in het tweede onderzoeksjaar plantenstalen genomen analoog als beschreven in 2.1. Een deel ervan werd eveneens overgebracht naar OWS zodat deze ook onderworpen konden worden aan batchtesten, zoals beschreven in 2.3.

Impact van oogsttijdstip op biomassa-productiviteit bij energiemais

Het later oogsten van de plant bleek een duidelijk impact te hebben op het verloop van het droge stofgehalte van de plant. De toename in droge stofgehalte evalueerde echter heel regelmatig (Figuur 2.6). Tevens bleek de stijging voornamelijk bepaald te worden door het stijgend droge stofgehalte van de kolf (korrel+spil). De stijging voor Zb bleek gelijkaardig te zijn als voor Z4, toch was de stijging in droge stof van de kolf bij Zb sterker en vroeger aanwezig. Dit komt omdat Zb meer aanleunt bij klassieke variëteit voor de productie van korrelmaïs en dus niet speciaal geselecteerd is op uitstel van afrijping. Na het derde tijdstip, kon er geen verschil meer aangetoond worden in droge stof van de kolf tussen beide variëteiten.



Figuur 2. 6. Verloop van het droge stof gehalte (%) van de totale plant (A), de kolf (B) (d.i. korrel + spil) (gemiddelde met aanduiding van de standaardafwijking, n = 6 behalve voor de laatste staalname waar n 4 is)



Figuur 2. 7. Evolutie van de droge stofbiomassa (ton/ha) van de verschillende onderdelen in verloop van tijd, voor variëteit Za (A) en Zb 7 (B) (gemiddelde met aanduiding van de standaardafwijking van de totale biomassa, n= 6 behalve voor de laatste staalname waar n 4 is)

Doordat deze stijging lineair is, kan het optimale tijdstip van oogst goed geschat worden, d.i. een droge stofgehalte heeft van ongeveer 40% voor de kolf of ongeveer 30% voor de totale plant. Doordat het droge

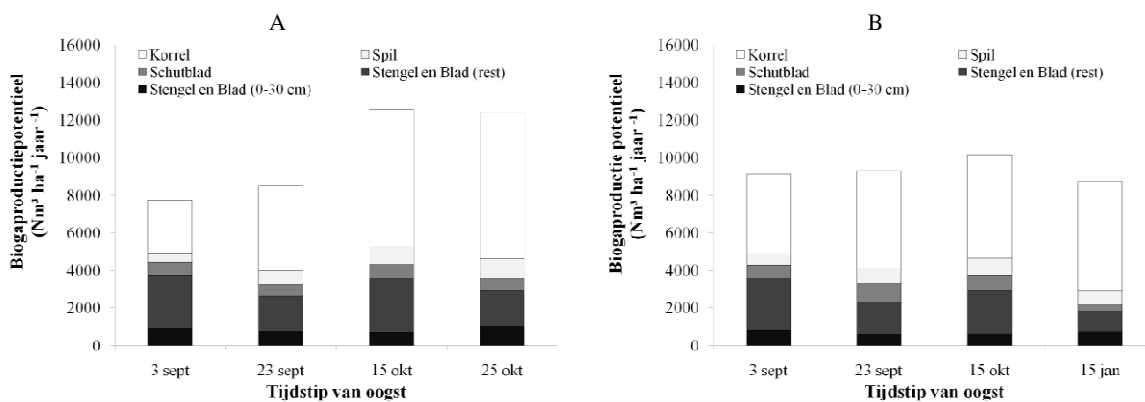
stofgehalte van de plant toeneemt, zal ook de totale biomassa toenemen naarmate er later geoogst wordt (Figuur 2.7). Tevens zal het aandeel van de kolf groter worden. De lichte daling in totale biomassa op het laatste tijdstip kan echter verklaard worden door vogelvraatschade. Bij Zb waren de korrels vroeger droog en was de schade ook het hoogst

Impact van oogsttijdstip op opname en extractiecapaciteit van Cd en Zn

Voor wat betreft de Cd en Zn concentratie op ieder tijdstip en voor ieder plantenonderdeel, kon na het eerste tijdstip er een lichte toename in concentratie (doordat de het droge stofgehalte licht toeneemt) waargenomen worden. Deze was echter niet consistent en zeker niet significant. Het later oogsten heeft daarom geen impact op de metaalconcentratie in de plant uitgedrukt in mg kg^{-1} droog materiaal. Wanneer daarom de extractiecapaciteit berekend wordt blijkt dan ook dat het later oogsten geen significante effecten heeft op de extractiecapaciteit van Cd en Zn. Voor Z4 is er enkel op het eerste tijdstip is er een verschil met de overige tijdstippen door de lichte toename in concentratie en droge biomassa. Voor Zb is de extractie op het laatste tijdstip significant lager door de grote daling in biomassa vanwege de vraatschade.

Impact oogsttijdstip op vergistbaarheid van energiemais

Voor de vergistbaarheid van de verschillende plantenonderdelen werd de totale vergistbaarheid van de verschillende plantenonderdelen berekend, uitgedrukt per ha en per jaar. (Figuur 2.8). Deze studie werd echter uitgevoerd in het kader van een ander project, waardoor de details van het onderzoek niet uitvoerig besproken kan worden. Toch kan uit de studie bij Z4 duidelijk gesteld worden dat het afrijpen een grote impact heeft op de totale biogasproductiepotentieel. Naarmate de korrel verder afrijpt verhoogt niet alleen het aandeel van de korrel, maar verhoogt tevens de totale vergistbaarheid van energiemais. Voor de overige plantenonderdelen was een daling in biogaspotentieel die verklaard kan worden door de verhoutingsproces. Aangezien de afrijping voor Zb vroeger op gang werd gebracht is deze verhouting minder zichtbaar.



Figuur 2. 8. Evolutie van de vergistbaarheid ($\text{Nm}^3 \text{ha}^{-1} \text{jaar}^{-1}$) van de verschillende onderdelen in verloop van tijd, voor variëteit Za (A) en Zb 7 (B) (gemiddelde met aanduiding van de standaardafwijking, $n = 2$)

Afstemmen van het oogsttijdstip

Uit deze korte studie kan geconcludeerd worden dat het oogsttijdstip bijna geen invloed heeft op de metaaextractiecapaciteit, maar wel op het droge stof biomassaproductiviteit en de naverwerking. Het oogsttijdstip van erngiemaïs op metaalverontreinigde gronden wordt dus het best volledig afgestemd op de naverwerking. Voor vergisting van de totale plant kan het meest gangbare oogsttijdstip gebuikt worden, namelijk wanneer de totale plant een drogestofgehalte heeft van ongeveer 30%. Indien men aan de korrel een andere eindebestemming wil geven, wordt de maïsplant best zo vroeg mogelijk geoogst om een zo hoog mogelijk biogaspotentieel van de restplant te hebben. Dit is echter in strijd met het gebruik voor korrelmaïs, waarbij de plant meestal lang op het veld blijft staan. Daarom is het beter om de volledige plant te gebruiken voor een bestemming in de energiewinningssector.

2.6 Economische studie voor landbouwers bij omschakeling naar energiemais op metaalverontreinigde landbouwgronden in de Kempen

Zoals rees is aangegeven bleek de metalverontreiniging geen grote impact te hebben op de biomassa-productiviteit. tevens bleek dat de verhoogde metaalconcentraties in de plant geen grote invloed heeft op de vergistbaarheid. Daarom werd besloten om het onderzoek verder te zetten door de economische haalbaarheid bij het omschakelen van voedermais naar energiemais te bestuderen. Het potentieel van energiemais als alternatieve teelt in het kader van duurzaam bodemgebruik werd opgespitst in 2 scenario's. In een eerste scenario werd het effect op het inkomen bij omschakeling van voeder- naar energiemais berekend, alsook de probabiliteit dat het inkomen van de landbouwer minstens behouden blijft. Opdat hij zijn melkvee zou kunnen behouden, wordt voedermais aangekocht van buiten de verontreinigde zone. In het tweede scenario werd vervolgens nagegaan wat het effect op het inkomen van de landbouwer is indien hij in een coöperatie energiemais zou vergisten, naast zijn huidige activiteit van melkveehouder. Tot slot wordt dan de combinatie van beide scenario's geanalyseerd. Deze resultaten zijn reeds gerapporteerd in Thewys et al., 2010a³ en Thewys et al. 2010b⁴.

2.6.1 Impact op het inkomen bij omschakeling van voeder- naar energiemais

Methodiek van het onderzoek

Zoals besproken in voorgaande onderzoeksluikjes kon er geen verschil aangetoond worden tussen de biomassa-productiviteit van energiemais op metalverontreinigde en niet-verontreinigde gronden op zandige Kempische bodem. Er wordt hierbij wordt er bij deze studie gewerkt met een verse biomassa opbrengst van 60 ton per hectare

³ Thewys, T., Witters, N., Van Slycken, S., Ruttens, A., Meers, e., Tack, F.M.G. Economic viability of phytoremediation of a Cadmium contaminated agricultural area using energy maize. Part :: Effect on the farmers income. International Journal of phytoremediation, accepted for publication

⁴ Thewys; T., Witters, N., Meers, E., Vangronsveld, J. Economic viability of phytoremediation of a Cadmium contaminated agricultural area using energy maize . Part II. Economics of anaerobic digestion of metal contaminated maize in Belgium. International Journal of phytoremediation, accepted for publication

Voor deze studie wordt uitgegaan van een gemiddeld landbouwbedrijf bestaande uit melkvee, met 20 ha voedermaïs en 20 ha gras. Het hoofdaandeel van het landbouwincome komt voort uit de verkoop van melk. De betrokken landbouwer zal energimaïs inzaaien ter vervanging van voedermaïs, zodat hij zijn overige landbouwactiviteiten kan voortzetten, *i.e.*, het houden van melkvee. De 20 ha voedermaïs worden nu bezet door energimaïs, en het voedermaïs wordt aangekocht vanuit een niet verontreinigd gebied. Dit impliceert enkele wijzigingen voor het landbouwincome per hectare. Deze worden opgesomd in Tabel 2.7.

Tabel 2. 6. Vergelijking van de kosten en opbrengsten voor en bij omschakeling naar energimaïs

Situatie voor omschakeling	Situatie bij omschakeling
Teelt voedermaïs (mF) aan kost C per ha	Teelt energimaïs (mE) aan kost C per ha
Verkoop melkproducten aan prijs M	Verkoop melkproducten aan prijs M
	Aankoop voedermaïs (mF) aan prijs P
	Verkoop energimaïs (mE) aan prijs P
	Transport kost van energie- en voedermaïs per ton per
	Steun voor energiegewassen (S)

De modelvariabelen in Tabel 2.7 bevestigen dat het omschelen naar energimaïs enkel haalbaar is voor een landbouwer, indien de aankoopkosten van voedermaïs gecompenseerd worden door de opbrengsten van de verkoop van energimaïs. Belangrijke parameters hierbij zijn: (i) de relatieve opbrengst van energimaïs ten opzichte van voedermaïs, (ii) de maïsprijs en (iii) transportkosten.

Tijdens de studie ontvingen landbouwers voor voedermaïs een prijs tussen € 1,800 en 2,000 ha⁻¹, of een prijs (P) van € 30 ton vers materiaal⁻¹. In onze berekeningen werd gewerkt met teeltkosten van maïs tussen € 1,200–1,250 ha⁻¹. Dit betekent dat voeder- en energimaïs met resp. een biomassaopbrengst van 50 en 60 ton nooit verkocht zullen worden onder een prijs van respectievelijk € 24–25 en € 20–21 ton vers materiaal⁻¹.

De totale transportkosten zijn verschillend voor energie- en voedermaïs, De respectievelijke transportafstanden D_1 and D_2 worden berekend in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**2.) en (Verg 2.3.) en voorgesteld in Figuur 2.9.

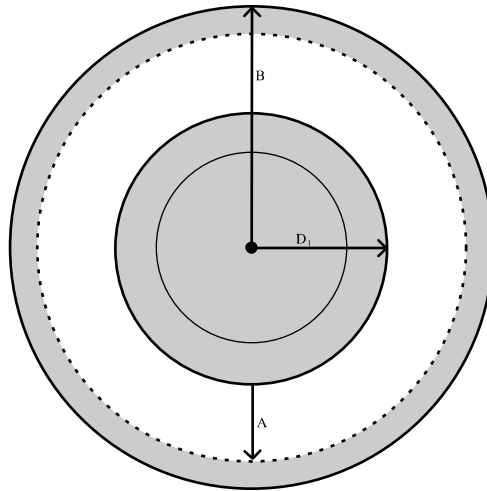
$$D_1 = \left(\frac{2H}{100\pi} \right)^{1/2} \quad \text{Verg. 2.2.}$$

$$D_2 = \left[\frac{\left(\frac{280}{\pi} \right)^{1/2} - \left(\frac{H \cdot 2}{100 \cdot \pi} \right)^{1/2} + \left[\frac{280}{\pi} + \left(\frac{H \cdot 2}{100 \cdot \pi} \right) \right]^{1/2}}{2} \right] \text{ of}$$

$$D_2 = \left[\frac{9.44 - D_1 + [89.13 + (D_1)]^{1/2}}{2} \right] \quad \text{Verg. 2.3.}$$

Met H het aantal hectares bezet met energimaïs (dit is de helft van het totale opp dat de deelnemende boeren vertegenwoordigen, de andere helft van hun land wordt bezet met gras). Dit oppervlak wordt voor de berekening van transportafstanden verdubbeld omdat maïs de hele oppervlakte dient te overbruggen.

Indien verondersteld wordt dat de vergister die de energimaïs zal afnemen centraal gesitueerd is in het gebied van samenwerkende boeren in de gecontamineerde zone (aangeduid door de twee kleinste grijze concentrische cirkels), dan zal energimaïs een gemiddelde afstand D_1 afleggen. Het aangekochte voedemaïs dient een afstand $D_2 = (A+B)/2$ af te leggen van een niet gecontamineerde zone (aangeduid door de buitenste grijze cirkel) concentrisch aan de gecontamineerde zone van 280 km² (aangeduid als de cirkel met streepjeslijnen).



Figuur 2. 9. Voorstelling van de totale gecontamineerde zone (zone binnen stippellijn), met hierrond een concentrische niet gecontamineerde zone (buitenste grijze cirkel) voor de aanvoer van voedermaïs, met een oppervlakte gelijk aan de grijze gecontamineerde zone in het midden waarop energimaïs wordt gezet

Gegeven de transport kost per ton per kilometer (T), kunnen de totale transportkosten berekend worden (i) voor energimaïs: $Te = D_1 \cdot T \cdot mE$; en (ii) voor voedermaïs: $Tf = D_2 \cdot T \cdot mF$. Tijdens de uitvoering van de studie ontvingen landbouwers een premie voor de omschakeling naar energieteelten (S). Indien we al deze parameters samenvoegen, kunnen we de wijziging in het inkomen (R) voortvloeiend uit de omschakeling van voeder- naar energimaïs berekenen als volgt (Verg 2.4.):

$$R = P \cdot (mE - mF) + S + \frac{(D_1 \cdot T \cdot mE \cdot H - D_2 \cdot T \cdot mF \cdot H)}{H} \quad \text{of}$$

$$R = (P + D_1 \cdot T) \cdot mE - (P + D_2 \cdot T) \cdot mF + S \quad \text{Verg. 2.4.}$$

Met: P de prijs van voeder- en energimaïs per ton vers materiaal ($\text{€ ton vers materiaal}^{-1}$); mE en mF de biomassaopbrengst van respectievelijk energie- en voedermaïs. ($\text{ton vers materiaal ha}^{-1}$); S de energiepemie per ha ($\text{€ } 45 \text{ ha}^{-1}$); T de transport kost ($\text{€ ton}^{-1} \text{ km}^{-1}$) en H de totale oppervlakte deelnemende boeren in gecontamineerde zone (aantal boeren $\cdot 20$ ha).

Deterministische bendering van de studie

Een positieve R wijst op een stijging van het landbouwincome door de omschakeling, terwijl een negatieve R wijst op een daling van het landbouwincome door de omschakeling. Indien we de volgende waarden in Verg. 2.4. veronderstellen: $H = 300$ ha (en dus $D_1 = 1.38$ km en $D_2 = 8.8$ km), $mE = 60$ ton ha^{-1} , $mF = 50$ ton ha^{-1} , $T = € 0.5$ ton $^{-1}$ km $^{-1}$, $P = € 30$ ton $^{-1}$ and $S = € 45$ ha $^{-1}$, wordt een R van € 166.5 per ha bekomen. Dit resultaat moet echter gezien worden in het licht van de impliciete assumptie dat de waarde van de variabelen een vaste waarde heeft. We hebben daarom dezelfde berekeningen herhaald op basis van ranges voor de waarden van de variabelen, met behulp van Monte Carlo simulaties.

Monte Carlo simulaties

De Monte Carlo analyse baseert zich op ranges van waarden, voorgesteld als ‘min’, ‘max’, en ‘most likely value’ (Tabel 2.8). We opteerden voor een triangulaire verdeling. De ‘most likely value’ is de waarde uit de deterministische benadering, ‘min’ en ‘max’ vormen een range van $\pm 10\%$ rond deze centrale waarde, met uitzondering van energimaïs, met een opbrengst ten opzichte van voedermaïs zoals weergegeven. Tevens veronderstellen we ook dat voedermaïs een vaste opbrengst heeft van 50 ton vers materiaal ha $^{-1}$. Prijzen voor voeder- en energimaïs zijn gecorreleerd (+0.5, wat betekent dat in 50% van de gevallen hun prijzen in dezelfde richting bewegen).

Tabel 2. 7. Weergave van Base Case waardes van variabelen en R

Variabele	Min	Most likely	Max
H	270	300	330
T	0.45	0.5	0.55
P (voedermaïs)	27	30	33
P (energiemaïs)	27	30	33
mE/mF	1	1.2	1.3
Voorspelling	Min	Most likely	Max
R (€ ha $^{-1}$ gesaneerd)	-303.4	113.8	505.5

Deze simulaties resulteerden in een meest waarschijnlijke extra opbrengst per hectare van € 113.8. Indien we als referentie-inkomen voor omschakeling uitgaan van een inkomen van € 1,123 ha $^{-1}$, betekent de omschakeling een stijging van meer dan 10%. Bovendien geeft het model ook aan dat deze omschakeling voor minstens een behoud van het referentie inkomen zal zorgen in 82.6% van de simulaties. Indien we

deze resultaten dieper analyseren stellen we vast dat R voornamelijk bepaald wordt door de variabelen in Tabel 2.9, aangeduid met hun bijdrage in de variantie in R .

Tabel 2. 8. Verklarende variabelen en hun bijdrage in de variantie in R

Variabele	Bijdrage in de variantie in R
mE/mF	81.3%
P (energiemaïs)	13.4%
P (voedermaïs)	-4.9%

Sensitiviteitanalyse van de berekeningen

Op basis van voorgaande vaststellingen, zijn enkele sensitiviteitsanalyses uitgevoerd op het model. In de eerste plaats werd nagegaan welke wijzigingen in R de biomassa opbrengst van energimaïs (mE) teweegbrengt (Tabel 2.10). Vervolgens werd de prijs per ton fm (P) van energie- en voedermaïs gewijzigd (Tabel 2.11). Een laatste analyse gaat er van uit dat prijzen van aangerijkte energimaïs en voedermaïs niet noodzakelijk gecorreleerd zijn en berekent (Tabel 2.11 en Figuur 2.10) de minimumprijs van energimaïs (*cet. par.*), gegeven dat de probabiteit op minimum het behoud van het inkomen 90% is.

Tabel 2. 9. Gemiddelde wijziging in het inkomen (R) (€ ha-1 jaar-1) en probabiteit op minstens het behoud van het inkomen ($\text{prob}(R>0)$), gegeven wijzigingen in de verhouding in biomassa opbrengst van energimaïs versus voedermaïs (mE/mF), *ceteris paribus*

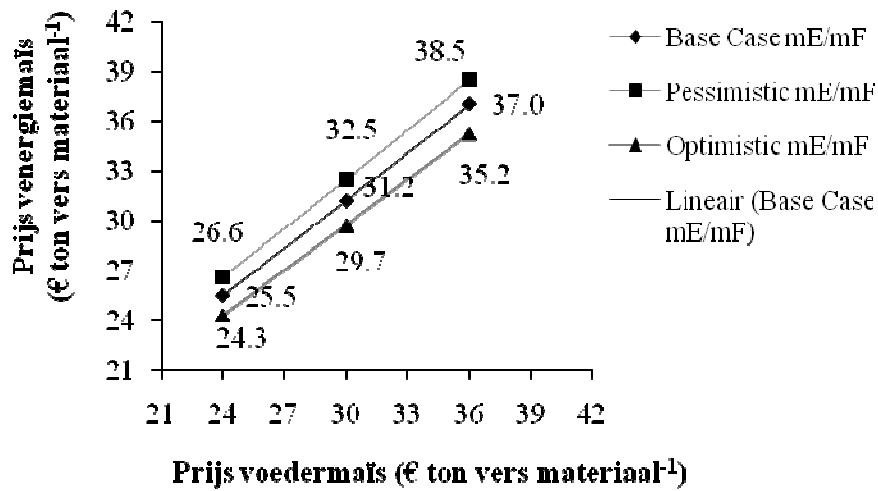
Scenario	Variabele	Min	Most likely	Max	R	$\text{Prob}(R>0)$
Pessimistisch	mE/mF	1	1.1	1.2	12.5	55.0%
Base case	mE/mF	1	1.2	1.3	113.8	82.6%
Optimistisch	mE/mF	1.1	1.2	1.3	166.5	96.5%

Tabel 2. 10. Gemiddelde wijziging in het inkomen (R) (€ ha⁻¹ jaar⁻¹) en probabiteit op minstens het behoud van het inkomen (prob(R>0)), gegeven prijswijzigingen voor energie- en voedermaïs (P in € ton⁻¹ FM) (corr. 0.5), *ceteris paribus*

<i>P</i>(maïs)(€ ton⁻¹)	<i>R</i> (€ ha⁻¹)	Prob(<i>R</i>>0)
24 ±10%	65.8	75.2%
27 ±10%	90.2	79.8%
30 ± 10%	113.8	82.6%
33 ± 10%	140.9	85.9%
36 ± 10%	165.3	87.3%

Uit Tabel 2.10. blijkt dat het zetten van energiemaïs haalbaar is indien de ‘most likely value’ van de biomassa opbrengst van energiemaïs 20% hoger ligt dan de biomassa opbrengst van voedermaïs, en de ‘max’ waarde 30% hoger. Tevens blijkt een prijswijziging geen grote impact op de probabiteit dat het inkomen minstens behouden blijft te hebben, de impact van een wijziging in relatieve biomassa opbrengst is veel groter. Wijzigingen in mE/mF leiden tot een grote onzekerheid: wijzigingen kunnen leiden tot hoge inkomens vergezeld van een grote zekerheid, maar ook tot het omgekeerde: lage inkomens met een lage zekerheid op een behoud van het inkomen. Hiertegenover staan prijswijzigingen die het inkomen eerder stabiel houden met een relatieve zekerheid op minstens behoud van het inkomen.

In het pessimistische scenario (voor de biomassaopbrengst van energiemaïs ten opzichte van voedermaïs) moet de prijs van energiemaïs minstens € 2.5 ton vers materiaal⁻¹ (38.5–36) hoger liggen opdat $R > 0$. In het base case scenario is dit minstens € 1 ton vers materiaal⁻¹ (37–36), en in het optimistische scenario mag de prijs € 0.8 ton vers materiaal⁻¹ (35.2–36) lager liggen. Indien de landbouwer deze berekende prijzen niet krijgt voor energiemaïs, dan zal de probabiteit, dat zijn inkomen door de omschakeling niet daalt, < 90% zijn (*i.e.*, er is een grotere kans dat zijn inkomen niet minstens behouden blijft).



Figuur 2. 10. Berekening van de prijs voor energiemais en R , gegeven $mF=50$, mE/mF zoals in de base case, voor verschillende P (fodder maize) en verschillende mE/mF , opdat $\text{Prob}(R>0) \approx 90\%$

Figuur 2.10 dient gelezen te worden als volgt: gegeven de ‘base case’ waarde voor mE/mF (*i.e.*, min. 1; most likely 1.1; max. 1.2), en gegeven dat de landbouwer zijn voedermaïs dient aan te kopen aan € 30 of € 36 ton^{-1} , zal de landbouwer voor zijn energiemais minstens resp. een prijs van € 31.2 of € 37 ton^{-1} dienen te ontvangen, opdat zijn inkomen met 90% zekerheid minstens behouden blijft. Dit voorbeeld wordt uitgewerkt in Tabel 2.12.

Tabel 2. 11. Berekening van de prijs voor energiemais en R , gegeven $mF=50$, mE/mF (‘base case’), voor verschillende P (voedermaïs), opdat $\text{Prob}(R>0) \approx 90\%$

P (voedermaïs) (€ ton^{-1} , gegeven)	P (energiemais) (€ ton^{-1})	R (€ ha^{-1})
$24 \pm 10\%$	$25.5 \pm 10\%$	151.2
$30 \pm 10\%$	$31.2 \pm 10\%$	183.9
$36 \pm 10\%$	$37 \pm 10\%$	223.6

2.6.2 Impact op het inkomen bij omschakeling van voeder- naar energimaïs met een vergisting in coöperatie met andere landbouwers

Methodiek van het onderzoek

In dit deel werd nagegaan wat de impact op het landbouwincome zou zijn indien de landbouwer niet enkel zou overschakelen van voeder- naar energimaïs, maar hij ook zelf zou gaan vergisten in coöperatie met andere landbouwers. De economische haalbaarheid van zulk een project wordt nagegaan door de Netto Contante Waarde (NCW) van de vergister te berekenen. Indien deze positief is, dan zal het vergistingsproject aanvaard worden. Als tijdschaal kozen we 20 jaar, met een discontovoet van 6%. Vanuit de NCW kan dan de jaarlijkse wijziging in het landbouwincome per hectare berekend worden.

Door de vergisting wordt een hoogwaardig gas bekomen dat kan verbrand worden in een warmte kracht koppeling (WKK), en een digestaat dat in normale omstandigheden gebruikt wordt als meststof. Echter, zoals rees besproken, komen tijdens vergisting alle metalen, aanwezig in de maïs, terecht in het digestaat, wat noopt tot een voorzichtige en mogelijk alternatieve behandeling van dit bijproduct. Deze studie handelt over het bekomen digestaat dat gescheiden in een dikke en dunne fractie, waarna de dikke fractie verder wordt ingedroogd met behulp van de warmte afkomstig van de gasmotor (WKK).

Beschrijving van de variabelen

De WKK-eenheid is gebaseerd op een gasmotor met een levensduur van 10 jaar (een herinvestering in jaar 11 is daarom noodzakelijk). De motor wordt degressief afgeschreven. Investeringskosten voor de motor (I_m) worden bepaald door de dimensie van de motor (D_{im} in kWe), en de investeringskost in elektrische aansluiting (Inv elec wiring):

$$I_m = (-386.1 \cdot \ln(900) + 3170.5) \cdot 1.2 \cdot D_{im} + \text{Inv elec wiring} \quad \text{in case } D_{im} > 900\text{kWe} \quad \text{Verg 2.5.}$$

$$I_m = (-386.1 \cdot \ln(D_{im}) + 3170.5) \cdot 1.2 \cdot D_{im} + \text{Inv elec wiring} \quad \text{in case } D_{im} < 900\text{kWe} \quad \text{Verg 2.6.}$$

Vermits de investeringskosten een log functie zijn met schaalvoordelen vanaf 900 kWe, is op basis van deze kosten het optimale aantal participerende landbouwers berekend op 15 (Verg. 2.5 en Verg. 2.6)

De investeringskosten van de vergister worden als een lineaire functie voorgesteld, zodat hier geen schaalvoordelen optreden en we de optimale grootte berekenen door het bekomen aantal vanuit de WKK in te vullen.

$$D_{ig} = \left(\frac{H \cdot mE}{365} \right) \cdot Res \quad \text{Verg 2.7}$$

Hierbij is D_{ig} , de dimensie van de vergister (m^3); H , het aantal hectares (= aantal landbouwers (N) · 20 ha/landbouwer); mE de biomassaopbrengst energiemais per hectare per jaar; en Res de verblijftijd van de biomassa in de vergister (dagen). Dit betekent dat met 15 landbouwers en 20 hectare per landbouwer, een biomassa opbrengst van 60 ton per ha, en een verblijftijd van 38 dagen, is een vergister van 1,874 m^3 nodig is. De levensduur van het project is 20 jaar, met een degressief afschrijvingschema. De aangenomen investeringskosten zijn weergegeven in Tabel 2.13. Aangezien deze gebaseerd zijn op persoonlijke communicaties met experts, en eigen berekeningen, kunnen deze niet gegeneraliseerd worden.

Tabel 2. 12. Specifieke investeringskosten vergister

Vergistingsonderdelen	Investering	meeteenheid
Basis installatie	97.50	€ ton verse biomassa ⁻¹
Ontwateringsinstallatie	10.00	€ ton verse biomassa
Gebouwen	28.33	€ ton verse biomassa
Ontzwaveling	0.032	€ m ³ gas
Metingen, afkoeling	0.035	€ m ³ gas

Het geproduceerde gas wordt in de gasmotor omgezet naar warmte en elektriciteit waarvan de hoeveelheden respectievelijk als volgt worden berekend:

$$\text{Warmte} = mE \cdot H \cdot G \cdot EV \cdot n_{th} \quad \text{Verg. 2.8}$$

$$\text{Electriciteit} = mE \cdot H \cdot G \cdot EV \cdot n_e \quad \text{Verg. 2.9}$$

Met $mE \cdot H$ de totaal beschikbare biomassa ($mE = 60$ ton per ha, $H = 20$ ha \cdot N), G de gasopbrengst van maïs (190 m^3 gas ton verse biomassa maïs⁻¹), EV de energiewaarde gas (53% CH₄ leidt tot 5.3 kWh m^{-3} gas) en n_e and n_{th} de elektrische en thermische efficiëntie van de motor ($n_e = 41\%$ en $n_{th} = 43\%$).

De prijs en biomassa opbrengst zijn identiek aan Tabel 2.8, namelijk: € 30 ton verse biomassa⁻¹ en een relatieve biomassa opbrengst ten opzichte van voedermaïs van min. 1 (= 50/50), most likely 1.1 (= 55/50) en max. 1.2 (= 60/50 ton ha⁻¹).

Zoals reeds aangehaald bevinden alle metalen zich in het digestaat, zodat voor deze een correcte behandeling en afzet dient gezocht te worden. Persoonlijke communicatie met Biogas-E leert ons het volgende:

- Scheidingskost van het digestaat is inbegrepen in de initiële investeringskost (Tabel 7) aan € 10 per ton input;
- Werkingskosten voor scheiding bedragen € 2 per ton digestaat;
- Drogingskosten voor het digestaat bestaan voornamelijk uit energiekosten (eigen geproduceerde warmte). Wij veronderstellen additionele drogingskosten van € 10 per ton dikke fractie;
- Transport kosten van de gedroogde dikke fractie bedragen € 3 per ton; en
- Afzetkosten van dezelfde fractie bedragen € 5 ton⁻¹.

In Vlaanderen worden elektriciteitsproducenten verplicht om een bepaald aandeel elektriciteit te produceren uit hernieuwbare bronnen, met als inzet het bekomen van Groene Stroom Certificaten per MWh “geproduceerde” groene elektriciteit. De berekening van deze “hoeveelheid” wordt weergegeven in een beslissing van de Vlaamse regering (2004) en verduidelijkt door de VREG (2007). De certificaten

worden verzekerd voor 20 jaar, de minimumprijs is € 80 per certificaat, en in de studie gebruiken we een marktwaarde van € 112.5 per certificaat. Elektriciteit **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) kan op de site worden verbruikt aan een opportuiniteitskost van € 100 per MWh, of op het net worden gezet aan een prijs van € 80 per MWh.

Een tweede stimulans vanuit de Vlaamse overheid zijn de Warmtekracht certificaten, waarbij de opvang en het hergebruik van warmte wordt aangemoedigd. Deze certificaten worden gegarandeerd voor 10 jaar, de minimumprijs is € 27 per certificaat, en in de studie gebruiken we een marktwaarde van € 40.5 per certificaat. Hiertoe dient het system kwalitatief te zijn. Voor motoren < 1 MW betekent dit dat minder primaire energie zou moeten worden gebruikt in een WKK dan wanneer warmte en elektriciteit apart zouden worden opgewekt.

Deterministische benadering van de studie

Baserend op de gegeven base case waardes (kolom (3) in Tabel 2.14), wordt een jaarlijks extra inkomen per hectare van € 77.4 ha⁻¹ bekomen. Dit is het inkomen dat de vergister kan uitkeren aan elke deelnemende landbouwer. Dit extra inkomen zou bovenop het extra inkomen uit het voorgaande deel komen (€ 166.5 ha⁻¹ in de deterministische benadering).

Tabel 2. 13. Base Case value ranges voor verschillende variabelen bepaald op basis van ‘most likely value’ ± 10%

Variabele	Min.	Most likely	Max.
(1)	(2)	(3)	(4)
<i>N</i>	13.5	15	16.5
<i>mE</i> (ton ha ⁻¹)	50	60	65
<i>P</i> (energiemaïs) (€ ton ⁻¹)	27	30	33
<i>P</i> (energiemaïs)(€ ha ⁻¹)	1,350	1,800	2,145
<i>T</i> (€ ton ⁻¹ ha ⁻¹)	0.45	0.5	0.55
Prijs WKK certif. (€ MWh ⁻¹)	36.45	40.5	45
Prijs GS certif. (€ MWh ⁻¹)	101.25	112.5	125
Waarde warmte (€ MWh ⁻¹)	24.75	27.5	30.25
Elektr. prijs net (€ MWh ⁻¹)	72	80	88
Afzetkost dig. (€ ton ⁻¹)	4.5	5	5.5

Monte Carlo simulaties

Gegeven de base case waarden, werd met de Monte Carlo analyse een gemiddeld extra jaarlijks inkomen per ha van € 76.6 bekomen. De probabilliteit dat de investering in een vergister minstens het landbouwincome niet doet dalen, is 75.7%. Indien deze resultaten dieper geanalyseerd werden, werd vastgesteld dat R voornamelijk bepaald wordt door de variabelen in Tabel 2.15, aangeduid met hun bijdrage in de variantie in R . Op basis van deze vaststellingen, hebben we enkele sensitiviteitsanalyses losgelaten op het model.

Tabel 2. 14. Verklarende variabelen voor de variantie in R

Variabele	Bijdrage in de variantie van R
Prijs GC Certif.	38.8%
P (energie maïs)	-24.9%
Elektr. prijs net	23.6%

Sensitiviteitanalyse van de berekeningen

Op basis van voorgaande vaststellingen, zijn enkele sensitiviteitsanalyses uitgevoerd op het model. In eerste instantie werd vertrokken vanuit een pessimistisch model. Tabel 2.16 geeft de pessimistische waarden aan voor de verschillende variabelen in kolom (3), de wijziging in het inkomen in kolom (4), en de probabilliteit dat het inkomen minstens behouden blijft in kolom (5).

Tabel 2. 15. Gemiddelde wijziging in het inkomen R (€ ha⁻¹ j⁻¹) en probabilliteit op minstens het behoud van het inkomen (prob($R>0$)), gegeven een pessimistische waarde voor één variabele, *ceteris paribus*

(1)	Variabele	Most likely value		R	Prob(NPV>0)
		(2) Base	(3) Pess.	(4) Value	(5) Value
(1)	Prijs GC Certif. (€ MWh ⁻¹)	112.5	101.25	-79.3	22.2%
(2)	Prijs energiemaïs (€ ha ⁻¹)	30	33	-63.2	28.0%
(3)	Elektr. prijs net (€ MWh ⁻¹)	80	72	-49.2	31.6%
(4)	Prijs WKK Certif. (€ MWh ⁻¹)	40.5	30	-38.2	35.6%
(5)	Aantal landbouwers	15	10	-24.8	40.7%

Rij (1) van Tabel 2.16 bevestigt het belang van GS certificaten voor de rendabiliteit van een vergister. De aangenomen daling van 10% zou bijvoorbeeld kunnen veroorzaakt worden door meer aanbod op de markt en heeft negatieve gevolgen voor de rendabiliteit van de installatie en dus ook voor het inkomen van de landbouwer. De minimumprijs voor de GS certificaten van € 80 MWh⁻¹ (*ceteris paribus*) is zeker niet voldoende om een vergister rendabel te houden. Even belangrijk is de prijs die voor energiemaïs dient betaald te worden (rij (2)). Hier heerst echter een dualiteit, vermits de landbouwer een zo hoog mogelijke prijs wil, maar als investeerder in een vergister is een zo laag mogelijke prijs noodzakelijk voor de overleving van de installatie. Rij (3) gaat het effect na van een daling in elektriciteitsprijzen vermist deze allesbehalve constant is. In rij (4) wordt de prijs van de WKK certificaten verlaagd tot de minimum gegarandeerde prijs. Tot slot wordt in rij (5) de grootte van de vergister aangepast door het aantal deelnemende landbouwers te reduceren tot 10. Hierbij hebben we het schaalvoordeel dat kan bekomen worden voor de motor naast ons neergelegd, met de verwachte gevolgen: vaste kosten blijken te hoog om nog gedekt te worden door jaarlijkse opbrengsten

Tabel 2. 16. Impact gebruik warmte voor drogen digestaat op R en Prob(NPV>0)

% warmte droging	% warmte proces	% warmte verkoop	% warmte met certif.	R	Prob
25%	4.1%	71.9%	71.9%	271.4	99.5
38%	4.1%	57.9%	57.9%	143.7	90.7
50%	4.1%	45.9%	45.9%	23.6	58.0
75%	4.1%	20.9%	20.9%	-232	1.7

Indien verondersteld wordt dat er geen WKK certificaten worden ontvangen voor het deel van de warmte dat gebruikt wordt voor droging van het digestaat, bekomen we resultaten zoals weergegeven in Tabel 2.17. In het basis scenario worden een afzetkost van € 5 ton⁻¹ digestaat, en een drogingskost van € 10 ton⁻¹ vaste fractie verondersteld. Indien drogingskosten gereduceerd kunnen worden tot € 6, *ceteris paribus*, dan resulteert dit in een extra inkomen van € 130.4 per hectare per jaar met een Prob(NPV) > 0) ≈90%. Afzetkosten van € 2.2 ton⁻¹ digestaat leiden tot een extra inkomen van € 136.2 per hectare per jaar met een (Prob(NPV) > 0) ≈90%. Indien het digestaat zou kunnen worden afgezet zonder extra kosten, dan zou het extra inkomen € 213.3 per hectare per jaar bedragen.

Tabel 2.18 geeft de maximale prijs van energiemais weer opdat de probabiliteit dat de vergistingsactiviteit minstens het inkomen van de landbouwer niet nadelig beïnvloedt 90% is. Indien bijvoorbeeld de ‘most likely’ prijs van GC certificaten daalt met 10% en gegeven een range van $\pm 10\%$ rond deze waarde, dan zal de maximale prijs die de vergister zal kunnen betalen voor de mais $\text{€ } 25.5 \text{ ton}^{-1}$ bedragen opdat in 90% van de gevallen het inkomen van de investerende landbouwer niet zal dalen. Op basis van de prijzen die de landbouwer vanuit de vergistingsactiviteit zou krijgen voor het energiemais (Tabel 12), kan berekend worden bij welke aankooprijzen van voedermais hij deze prijzen zou aanvaarden (Tabel 6 en Figuur 2): $\text{€ } 24.0\text{-}27.3 \text{ ton}^{-1}$. Deze laatste prijzen leiden eveneens tot een 90% zekerheid dat het inkomen van de landbouwer niet zal dalen door omschakeling van voeder- naar energiemais. In het laatste deel zullen we aannemen dat het helemaal niet noodzakelijk en veel te streng is om zowel voor de omschakeling van voeder- naar energiemais, als voor de vergistingsactiviteit een $\text{Prob}(R > 0) \approx 90\%$ te eisen. Bij de integratie veronderstellen we daarom dat een gecumuleerde $\text{Prob}(R > 0) \approx 90\%$ voor beide activiteiten voldoende is.

Tabel 2. 17. Maximum prijs energiemais (kol. 3) en resulterende R (kol. 5) opdat $\text{Prob}(\text{NPV}>0) \approx 90\%$, gegeven verschillende scenario's

	Variabele (1)	Most likely (2)	Max Prijs energiemais (3)	Prob(NPV>0) (4)	R ($\text{€ ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$) (5)
(1)	Base Case	Fout!	28.7	90%	134.6
(2)	Priis GS certif. (€ MWh^{-1})	101.25	25.5	90%	123.5
(3)	Prijs WKK certif. (€ MWh^{-1})	30	26.1	90%	127.6
(4)	Elektr. prijs net (€ MWh^{-1})	72	26.1	90%	128.2

Bij omschakeling van voeder- naar energiemais (eerste scenario) is er 83% kans op minimum een behoud van het inkomen (Tabel 2.19). Het extra inkomen varieert dan rond $\text{€ } 114$ per ha per jaar (zie ook tabel 2.8). In het tweede scenario is er 75.7% kans op minimaal een behoud van het inkomen, met een gemiddeld extra inkomen van $\text{€ } 76.6 \text{ ha}^{-1}$.

Tabel 2. 18. Integratie van scenario 1 en 2: Bijdrage in de variantie in R [rij (1)-(5)], R [rij (6)], en Prob(R>0) [rij(7)], voor scenario 1, 2 en het geïntegreerde scenario

	Scen.	1: Scen.	2: Integratie scen. 1 en
(1)	(2)	(3)	(4)
(1) Biomassa energiemaïs	81.3%		52.3%
(2) Prijs energiemaïs	13.4%	-24.9%	
(3) Prijs voedermaïs	-4.9%	-6.5%	-12.2%
(4) Prijs GS certif.		38.8%	19.5%
(5) Elektr. prijs net		23.6%	11.4%
(6) Extra inkomen (R) (€ ha ⁻¹ j ⁻¹)	113.8	76.6	191.4
(7) Prob(R>0)	82.6%	75.7%	89.0%

Indien beide scenario's worden geïntegreerd, dit is wanneer de landbouwer omschakelt van voeder- naar energiemaïs en deze laatste vergist, bekomen we een gemiddeld extra inkomen van € 191.4 ha⁻¹ j⁻¹ met een probabilliteit dat het inkomen minstens behouden blijft van bijna 90%. Deze resultaten dienen gezien te worden in het licht van de aangenomen waardes voor de variabelen. De biomassaopbrengst van energiemaïs draagt voor meer dan de helft bij in de verklaring van de variantie van het extra inkomen. Het is dan ook met reden dat op dit moment veel onderzoek wordt verricht naar selectie van *Zea mays* cultivars, gebaseerd op optimale biomassa- en biogasopbrengsten. Het belang van de groene stroomcertificaten toont echter aan dat in het huidige systeem en met de huidige aangegeven kosten van vergisting het hele proces financieel niet haalbaar is zonder deze substantiële steun.

2.7 Algemene conclusie rond de toepassingsmogelijkheden van maïs op metaalverontreinigde gronden in de Kempen

Deze studie liet echter toe om stapsgewijs een volledige en geïntegreerde studie te maken naar de haalbaarheid omtrent het gebruik van energiemaïs op metaalverontreinigde gronden in de Kempen. Hierbij werd niet alleen gekeken naar de landbouwkundige aspecten en inclusief de metaalopname en metaalextractie; maar liet tevens toe om de verwerking van de biomassa tot in een zeer gevorderd stadium te bestuderen. Tot slot werd, en dit is een niet onbelangrijk luik, ook de economische haalbaarheid, vanuit het oogpunt van de landbouwers, bij het overschakelen naar energiemaïs bestudeerd.

Om de haalbaarheid te visualiseren moet in eerste instantie de biomassaproductiviteit bestudeerd worden. Hieruit blijkt dat onder optimale condities en bemesting er weinig verschillen in biomassaproductiviteit tussen cultivars terug te vinden is. Over het algemeen was de jaarlijkse biomassaproductiviteit ± 10 ton verse biomassa en een 20 ± 3 ton droge biomassa ha^{-1} . Wat echter belangrijker is, is dat de opbrengsten gelijkaardig zijn met zowel de verwachte opbrengsten, met opbrengsten afkomstig van proefvelden op niet-verontreinigde gronden in de Kempen en elders Vlaanderen.

De metaalconcentratie in het plantenmateriaal vertoont een mooie gradatie. De concentratie in de stengel is het hoogst gevolgd door blad en zijn het laagst in de korrel. De algemene concentratie in de plant bedroeg $0.96 \pm 0.29 \text{ mg kg}^{-1}$ voor Cd en $219 \pm 39 \text{ mg kg}^{-1}$ voor Zn. Door deze lage concentratie is de extractiecapaciteit van Cd en Zn bij energiemaïs echter is minder beloftevol. Baserend op het gegevens van het onderzoek kan geconcludeerd worden dat maïs een algemene extractiecapaciteit heeft van $19 \pm 6 \text{ g Cd}$ en $4.3 \pm 0.9 \text{ kg Zn ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Dit betekent echter dat wanneer 1) een constant extractiecapaciteit wordt aangehouden; 2) enkele de bovenste 25 cm onder beschouwing genomen wordt 3) een bodemdichtheid van 1400 g dm^{-1} wordt verondersteld energiemaïs voor een jaarlijkse reductie van $0.005 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Cd}$ en $0.3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Zn}$. Voor Cd betekent dit, dat als we de bodem willen saneren van 5 naar $2 \text{ mg Cd kg bodem}^{-1}$ meer dan 500 jaar vereist is. Deze periode is echter te lang om te kunnen spreken van echte remediatie. Desalniettemin kunnen deze lage concentratie en hoge biomassaproductiviteit oppurtunities beiden voor de naverwerking, waardoor de gehele omschakeling toch nog interessant kan worden.

De meest opportune verwerking van de biomassa is de vergistingsindustrie. Batch-testen en semi-continue testen toonden het biogas productie potentieel van energiemaïs van een metaalverontreinigde grond gemiddeld $203 \pm 7 \text{ Nm}^3 \text{ ton}^{-1}$ vers materiaal bedroeg en ook hier vergelijkbaar is met de biogasopbrengsten van energiemaïs afkomstig van niet-verontreinigde gebieden. Het biogaspotentiaal

wordt hierbij voornamelijk bepaald wordt door de korrels ($\pm 56\%$), gevolgd door de stengel ($\pm 29\%$). Indien rekening wordt gehouden met de biomassa-productiviteit van de plant kan gesteld worden dat er een totale methaan opbrengst is van ongeveer $10\,176\text{ Nm}^3\text{ ha}^{-1}$.

Naast biogas wordt er tijdens anaerobe vergisting ook digestaat geproduceerd. De metalen gaan tijdens het vergistingsproces niet verloren, en komen in het digestaat terecht. Een semi-continue proef, waarin een kleine installatie 435 dagen gevoed werd met maïs afkomstig van metaalverontreinigde gronden heeft aangetoond dat er na verloop van tijd een soort steady state wordt bereikt. Uit analyses van dit digestaat werd een opconcentratiefactor voor zowel Cd en Zn, als voor N, P, K en Ca van tussen de 3 en 5 bekomen. Deze is tevens gelijkaardig als voor niet-verontreinigde maïs. De samenstelling van een digestaat is echter zeer uiteenlopend, maar op basis van zijn inputsamenstelling kan dus een inschatting gemaakt worden van de samenstelling van het eindproduct.

Wanneer tevens de economische haalbaarheid bestudeerd wordt, kan besloten worden dat, gegeven de aangenomen waarden voor de variabelen in de *case study*, de omschakeling naar een alternatief gewas ter remediatie van de bodem gecombineerd met energieopwekking het gemiddelde inkomen van de landbouwer minstens behouden zou blijven. Kiezen voor energiemais is kiezen voor een lange termijn scenario voor vervuilde bodems. Het is een keuze voor duurzaam bodembeheer. Inderdaad, energiemais is geen evidente remediërende teelt, maar de keuze voor deze plant wordt verantwoord door het feit dat zij gekend is, en bovendien een groot energiepotentieel heeft. Op deze manier gaan de ecologische voordelen van fyto-remediatie hand in hand met de economische voordelen voor de landbouwer.

Referenties

Ghekiere, G., Calus, ., Schellekens, A., Van de Ven, G., Van Looveren, M., Chavez, B., De Vliegheer, A., Praktijkonderzoek rassen biogas-mais.in 2007. 8p.

ILVO, Instituut voor landbouw en visserijonderderzoek. website: www.ilvo.vlaanderen.be.
Rassenproeven met energiemais

3 Andere éénjarige landbouwgewassen op metaalaangerijkte landbouwgronden in de Kempen

Naast het gebruik van energiemais als éénjarig landbouwgewas, werd ook koolzaad en tarwe onderzocht als alternatief landbouwgewas op metaalverontreinigde gronden. Het onderzoek rond deze gewassen was echter enkel verkennend. Hierbij werd voor koolzaad enkel een verkennend onderzoek uitgevoerd naar de biomassa-productiviteit, opname- en extractiecapaciteit. Voor de naverwerking werd enkel een theoretische benadering uitgevoerd. Voor tarwe daarentegen bestond het verkennend onderzoek uit het bestuderen van de opnamecapaciteit door de verschillende plantenonderdelen samen met een studie rond de impact van de concentraties in bodem tov van deze in de plant.

3.1 Koolzaad op metaalaangerijkte landbouwgronden in de Kempen

Methodiek van het onderzoek

Om het gebruik van koolzaad op metaalaangerijkte gronden te bestuderen werden op 10 september 2006, vier verschillende koolzaadcultivars (rap 1 tem rap 4) ingezaaid met een densiteit van 60 zaden m² op het proefveld in een blokdesign met 8 blokken. De zaden werden ter beschikking gesteld door de firma's Pioneer en KWS. De staalname gebeurde tijdens de eerste week van juli 2007 op analoge wijze als voor maïs. Voor vergelijkbaarheid met energiemais werd een gelijkaardige bemesting van 50 kg N ha⁻¹ gebruikt. De gecombineerde bodem- plantenstaalname werd uitgevoerd met in totaal 4 replica's per cultivar in de blokken met 'normale' opkomst. Voor elke replica werden op een oppervlakte van 1m² alle aanwezige planten geoogst. De planten werden opgesplitst in het zaad, het bovenste deel van de stengel en het onderste deel van de stengel (0-30 cm). Dit laatste deel blijft immers bij klassieke oogst meestal op het veld achter, maar zou in een fyto-remediatiecontext eventueel mee kunnen verwijderd worden, om een vergistinginstallatie te voeden. Elk bodemstaal bestond uit 6 deelstalen genomen met een grondboor (0-25 cm) verspreid over de betrokken vierkante meter. Van de bodemstalen werden de pH, conductiviteit, de totale metaalconcentraties (Cd, Zn, Cu, Pb, Fe, Al ...) (a.d.h.v. een *aqua regia destructie*) bepaald en de beschikbare metaalconcentratie geschat (a.d.h.v. een CaCl₂ extractie). De verschillende plantenstalen werden eveneens geanalyseerd op Cd en Zn, zodat niet alleen de metaalcompartimentalisatie maar ook de metaalextractie van Cd en Zn door koolzaad bestudeerd kan worden. Het onderzoek naar de verdere

verwerking van koolzaad afkomstig van een metaalaangerijkte landbouwgrond wordt uitgevoerd in een ander project, resultaten hiervan zijn niet beschikbaar en worden dus niet opgenomen in dit rapport.

Biomassaproductiviteit van koolzaad in koolzaad op landbouwgronden aangerijkt met zware metalen

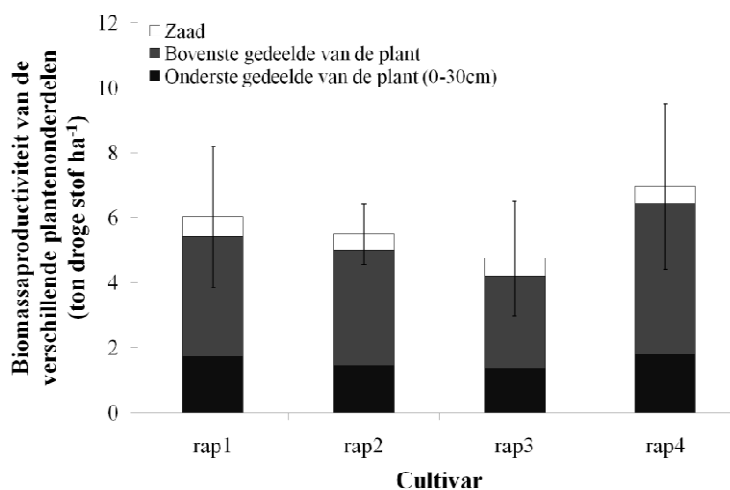
Tijdens de groei en de oogst is gebleken dat slechts in 2 van de 8 blokken een opkomst was die beschouwd kon worden als 'normaal'. In de andere blokken was er een graduele achteruitgang van de groei, waarbij in grote delen van het veld totaal geen opkomst van het gewas meer kon waargenomen worden. De plantenstaalname werd daarom enkel uitgevoerd op de 'normale' delen. Daarnaast werden ook bodemstalen geanalyseerd uit het gedeelte van het veld waar het koolzaad niet opkwam, om zo de mogelijke oorzaak trachten van de opkomst te achterhalen (gradiënt 1 en 2). Op basis van de bodemanalysen (Tabel 3.1) bleken vooral de uitwisselbare gehalten aan Fe en Al hoger te zijn in het gedeelte van het veld waar koolzaad niet groeide, in vergelijking met in de andere delen. Het is niet uitgesloten, dat deze verschillen mee aan de basis liggen van de problemen die koolzaad ondervindt op deze bodem. Daarnaast kunnen uiteraard ook andere, nog niet geanalyseerde bodemeigenschappen een rol spelen. Deze vraag werd veelvuldig gesteld aan experts binnen als buiten de gebruikerscommissie, toch kwam er een veelheid van mogelijke oorzaken naar voren. Zo kon er sprake geweest zijn van slakken- of duivenschade, restanten van herbiciden in de bodem, tijdstip van inzaai, diepte en dichtheid van inzaai, verschil in vochtgehalte van de bodem, Ook de algemene voedingstoestand kon een rol gespeeld hebben in het uitkomen van het koolzaad. Daarom werd besloten om ook stalen uit de verschillende delen van het veld bezorgd aan de Bodemkundige Dienst van België.

Tabel 3. 1. Overzicht van de verschillende bodemeigenschappen, pH, totaalgehalte, en beschikbare fractie aan metalen in het koolzaadveld (gemiddelde \pm standaardafwijking, n = 4-6).

	'normale' groei	Gradiënt 1	Gradiënt 2
pH-H ₂ O	6.6 \pm 0.1	6.7 \pm 0.1	6.6 \pm 0.1
Totaalgehalte (<i>aqua regia</i> destructie)			
Cd (mg/kg)	4.9 \pm 0.2	5.0 \pm 0.8	4.9 \pm 0.6
Pb (mg/kg)	161 \pm 4	163 \pm 18	153 \pm 12
Zn (mg/kg)	258 \pm 10	268 \pm 37	267 \pm 23
Cu (mg/kg)	23 \pm 1	22 \pm 2	21 \pm 1
Fe (mg/kg)	1327 \pm 41	2186 \pm 228	1530 \pm 147
Beschikbare Fractie (CaCl ₂ -extract)			
Cd (mg/kg)	0.28 \pm 0.02	0.23 \pm 0.03	0.26 \pm 0.03
Pb (mg/kg)	0.19 \pm 0.03	0.15 \pm 0.02	0.16 \pm 0.02
Zn (mg/kg)	12.9 \pm 1.5	8.9 \pm 1.3	11.6 \pm 1.5

Cu (mg/kg)	0.07 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.11 ± 0.01
Fe (mg/kg)	0.70 ± 0.1	1.36 ± 0.14	1.14 ± 0.04
Al (mg/kg)	1.47 ± 0.17	1.90 ± 0.19	1.96 ± 0.09

Uit de normale plots werd bekomen dat koolzaad in het eerste onderzoeksjaar een totale droge bovengrondse biomassa van 5.8 ± 2.0 ton ha^{-1} opbracht. Er konden hierbij geen significante verschillen aangetoond worden tussen de verschillende onderzochte variëteiten. Wanneer echter naar de zaadopbrengst werd gekeken kon dit wel. Rap 1 (0.61 ± 0.44 ton droog materiaal ha^{-1}) toonde hierbij de hoogst zaadproductiviteit en rap 2 (0.48 ± 0.25 ton droog materiaal ha^{-1}) de laagste (Figuur 3.1). Deze opbrengsten zijn echter heel laag, aangezien er in Vlaanderen een opbrengst van 4.5 ton droog materiaal ha^{-1} (met droge stofgehalte van 9%) verwacht wordt. Deze lage opbrengst kan deels verklaard worden door het late moment van oogst, waardoor een deel van de zaadopbrengst reeds verloren is gegaan. Het kan ook verklaard worden door dezelfde verschillende factoren als deze van de verandering in opkomst, alsook het late tijdstip van staalname kan een verklarende rol hebben gespeeld.



Figuur 3. 1. Droge biomassaproductiviteit (ton ha^{-1}) van de verschillende plantenonderdelen van koolzaad (gemiddelde \pm standaardafwijking, n=10)

Zoals vermeld, werd voorafgaand aan de inzaai een bemesting uitgevoerd van 50 kg N ha⁻¹. In studies rond het telen van koolzaad in Vlaanderen en Nederland wordt er echter geopteerd om een bemesting van 180-200 kg ha⁻¹ toe te passen. Wanneer koolzaad echter laat wordt ingezaaid of op zandige gronden is een dosis van 40-60 kg N ha⁻¹ voldoende als eerste gift, na de winter moet er echter bijbemest worden. Dit werd niet gedaan zodat tijdens het eerste verkennend onderzoek de koolzaadproductie goed afgewogen kon worden tov van maïs (onder dezelfde omstandigheden). In een gelijkaardig onderzoek op een niet-verontreinigde grond in Geel werd er ook een proef uitgevoerd met koolzaad in 2006 en ook daar werden heel lage zaadopbrengsten bekomen. Dit werd ook bevestigd uit het bemestingsadvies van de Bodemkundige Dienst. Bovendeel gaf het bemestingsadvies weer dat er de toediening van zwavel ook aan te raden was. Een tekort aan S brengt immers niet enkel een lagere zaad kwaliteit met zich mee, maar kan ook de productiviteit doen dalen. Om deze impactfactoren te onderzoeken werd ook in de overige jaren koolzaad ingezaaid, maar telkens was er geen opkomst, wat ons doet concluderen dat koolzaadproductie op metaalaangerijkte gronden in de Kempen nog steeds suboptimaal is en verder onderzocht moet worden.

Opname en extractiecapaciteit van Cd en Zn door de verschillende plantenonderdelen bij koolzaad

Wanneer de metaalcompartimentalisatie van koolzaad bestudeerd wordt, kan een gelijkaardige verdeling teruggevonden worden als voor maïs. De hoogste concentraties worden teruggevonden in het onderste gedeelte van de plant en de laagste concentraties in het zaad. Koolzaad wordt echter getypeerd als getypeerd als bovengemiddelde accumulator van de zware metalen Zn, Cd en Pb, waardoor de concentraties veel hoger zijn in vergelijking met maïs die getypeerd wordt als excluder type (Tabel 3.2.).

Tabel 3. 2. Concentratie aan Cd en Zn van de verschillende plantenonderdelen (onderste gedeelde plant (0-30 cm), bovenste gedeelde plant, totaal stengel en blad en zaad) (mg kg⁻¹) voor de verschillende onderzochte cultivars (gemiddelde ± standaardafwijking, n= 10)

		Cultivar			
		rap1	rap2	rap3	rap4
Onderste gedeelde plant (0-25 cm)	Cd	8.0±1.	5.3±0.5b	5.4±1.7b	6.1±1.4b
	Zn	496±1	367±74b	384±110ab	411±98ab
Bovenste gedeelde plant	Cd	6.2±1.	4.4±0.7ab	3.7±1.2b	5.2±1.6ab
	Zn	436±1	343±53ab	292±75c	437±113b
Totaal stengel en blad	Cd	6.3±1.	4.7±0.6b	4.2±0.9b	4.8±1.3ab
	Zn	427±7	350±57a	324±85a	379±103a
Zaad	Cd	1.3±0.	0.54±0.12b	0.74±0.18b	0.65±0.21b
	Zn	97±13	81±6c	67±5b	80±7c

Door zijn hogere accumulatiecapaciteiten is de metaalextractiecapaciteit van koolzaad dan ook hoger in vergelijking met maïs, namelijk 27±14 g ha⁻¹ jaar en 2.0±1.0 kg Zn ha⁻¹ jaar⁻¹. Onder gelijkaardige condities als beschreven onder 2.2, zou er 250 jaar nodig zijn om een bodem van 5 naar 2 mg Cd kg bodem⁻¹ te laten zakken. Hierbij moet er echter ook enkele kanttekeningen gemaakt worden. 1) De volledige bovengrondse plant werd geoogst, 2) Voor deze termijn werd steeds koolzaad na koolzaad gebruikt. Dit is normaal gezien niet wenselijk, vanwege het feit dat koolzaad het best onder een rotatie staat. Het is aan te raden om dit te doen, niet enkel omdat er mogelijk ezietkes op koolzaad te vermijden maar ook omdat onderzoek heeft aangetoond dat wanneer maïs onder rotatie zit met tarwe, de opbrengst zelf tot 10% hoger kan zijn. Hierdoor zullen de remediatieperiodes anders verlopen, naargelang de rotatie. Desalniettemin blijven ook hier de remediatieperiodes lang. Toch kan, mits een goede en veilige naverwerking en positieve economische haalbaarheidstudies, koolzaad een interessant alternatief gewas zijn.

Naverwerkingsopties voor koolzaad

Het specifiek onderzoek naar de verdere verwerking van koolzaad afkomstig van een metaalaangerijkte landbouwgrond wordt uitgevoerd in een ander project, resultaten hiervan zijn niet beschikbaar en worden dus niet opgenomen in dit rapport. Toch kunnen er reeds enkele zaken besproken worden op basis van de metaalconcentratie in de plant alsook rond het gebruik van de koolzaadkoek voor vergistingindustrie. Wanneer koolzaad geperst wordt is er naast de productie van koolzaadolie ook een koek. Deze koek wordt meestal gebruikt voor voederconsumptie. Zelfs indien alle metalen in uit het zaad van onze experiment in deze koek terecht zou komen, dan nog voldoet hij aan de Europese normen voor voeder en voedsel van 1

mg kg⁻¹ vers materiaal bij een vochtgehalte van 12%). De koolzaadkoek kan tevens gebruikt worden voor vergisting. Batchtests bij OWS (uitgevoerd analoog als voor maïs, 2.1.2. en gerapporteerd in het MIP-project, jaar 2) van niet-verontreinigde koolzaadkoek tonen aan dat koolzaadkoek een groot biogaspotentieel heeft. Het is een heel droog substraat en is uitstekend geschikt voor droge anaerobe vergisting. Het is wel te rijk aan stikstof en heeft daarom een iets te lage C/N verhouding en komt daarom enkel in aanmerking om te vergisten als co-substraat bij een stikstofarm substraatmaïs. Naast het koolzaad zelf is er ook nog het achterblijvend gedeelte van het koolzaad, de stengel en bladeren. Deze worden momenteel gebruikt als stro. Maar ook voor dit moet een veilige manier, zoals het gebruik in de energiewinningssector, van verwerking kunnen gegarandeerd worden. Een meer gedetailleerd overzicht wordt gegeven in hoofdstuk 6.

3.2 Tarwe op metaalaangerijkte landbouwgronden in de Kempen

Methodiek van het onderzoek

Om de mogelijkheden van een rotatie met koolzaad te onderzoeken, werd ook wintertarwe ingezaaid op het veld voor evaluatie van de biomassa-productie en de metaalaccumulatie. In november 2007 werden op een oppervlakte van 0.5 ha, 2 commerciële cultivars voedertarwe (Lexus en Patrel) en 1 commerciële baktarwe cultivar (Tommy) gezaaid in 10 replica's. In augustus 2008 werd deze tarwe geoogst in blokjes van 1 m² per replica. Er dient hierbij opgemerkt te worden dat er een heel hoge mate van onkruidgroei werd vastgesteld. Hierdoor werd besloten om geen opbrengsten weer te geven aangezien dit een vertekend beeld zou kunnen geven en werd de focus van het onderzoek voornamelijk gelegd op metaalcompartimentalisatie en navererking. De genomen plantenstalen werden gescheiden in tarwekorrel en het overblijvend stro-gedeelte. Voor beide plantendelen werd de Cd en Zn concentratie bepaald. Per plantenstaal werd ook telkens een bodemstaal genomen. Op de bodemstalen werd de pseudototaalconcentratie aan Cd en Zn bepaald aan de hand van een *aqua regia* destructie, de biobeschikbare fractie werd bepaald aan de hand van een CaCl₂-extract.

Om de verwerking van tarwe in de non-food industrie te onderzoeken werd naar analogie met de overige gewassen het de mogelijkheden naar vergisting toe bestudeerd. Hiervoor werd het vergistingspotentieel van landbouwr rijpe tarwe en van tarwestro bepaald op analoge wijze als beschreven in het verkennend onderzoek naar de vergistbaarheid van maïs.

Opnamecapaciteit van Cd en Zn door de verschillende plantenonderdelen

De metaalconcentratie aan Cd en Zn in de korrel was resp. gemiddeld 1.2 ± 0.4 en 114 ± 28 mg kg⁻¹, terwijl dit voor het stro een gemiddelde Cd en Zn concentratie van 0.4 ± 0.1 en 210 ± 51 mg kg⁻¹ terug te vinden was. Er werden geen verschillen gevonden in Cd concentratie tussen de verschillende cultivars. Er kon een duidelijk verband aangetoond worden tussen de Cd concentratie in het stro en de korrel, alsook tussen de beschikbaarheid aan metalen en de concentraties in de plantenonderdelen (Tabel 3.3.)

Tabel 3. 3. Overzicht van de Pearson Bivariate correlatie tussen de concentratie aan Cd en Zn in de korrel (M_{korrel}) en het stro (M_{stro}) met de concentratie aan Cd en Zn bepaald in een aqua regia destructie (M_{tot}) en in een CaCl_2 extract (M_{biob}), berekeningen op basis van $n=30$

	$\text{Cd}_{\text{korrel}}$	$\text{Zn}_{\text{korrel}}$	Cd_{stro}	Zn_{stro}	Cd_{tot}	Zn_{tot}	Cd_{biob}	Zn_{biob}
$\text{Cd}_{\text{korrel}}$	1	0.89**	0.51**	0.30	0.091	0.006	0.50**	0.49**
$\text{Zn}_{\text{korrel}}$	0.89**	1	0.49**	0.22	-0.10	-0.19	0.37	0.43*
Cd_{stro}	0.51**	0.49**	1	0.85**	0.093	0.071	0.17	0.15
Zn_{stro}	0.30	0.22	0.85**	1	0.005	-0.005	0.20	0.18
Cd_{tot}	0.091	-0.10	0.093	0.005	1	0.97**	0.035	-0.14
Zn_{tot}	0.006	-0.19	0.071	-0.005	0.97**	1	0.030	-0.13
Cd_{biob}	0.50**	0.37	0.17	0.20	0.035	0.030	1	0.97**
Zn_{biob}	0.49**	0.42*	0.15	0.18	-0.14	-0.13	0.97**	1

** correlatie is significant bij $\alpha < 0.01$

* correlatie is significant bij $\alpha < 0.05$

Naverwerking van tarwe

Uit de resultaten naar naverwerking blijkt dat het vergistingspotentieel van rijpe tarwe $484 \pm 29 \text{ Nm}^3 \text{ ton}^{-1}$ vers materiaal en van het tarwestro $298 \pm 7 \text{ Nm}^3 \text{ ton}^{-1}$ vers materiaal bedraagt in vergelijking met maïs die een het vergistingspotentieel van $194 \pm 4 \text{ Nm}^3 \text{ ton}^{-1}$ vers materiaal. Het BVS voor tarwe (70%) is echter duidelijk lager dan voor maïssilage (85%). Dit is wellicht te verklaren door de moeilijker vergistbare stengel (tarwestro meer verhout dan maïsstengel). Dit vindt men dan ook terug in het nog lagere omzettingpercentages voor het tarwestro (BVS < 50%). Voorts zou voor een goede een inschatting van de totaalopbrengst van tarwe (uitgedrukt door het biogaspotentiaal per oppervlakte) meer duidelijkheid kunnen scheppen.

4 Korteomloophout op metaalaangerijkte landbouwgronden in de Kempen

Naast éénjarige gewassen kan er ook gekozen worden voor meerjarige gewassen zoals korteomloophout (KOH). Meerjarige gewassen bieden bijkomende voordelen: ze zijn extensiever zijn in beheer en verzekeren een jaarrond bodembezetting wat o.a. uitloging verhindert. Tevens biedt korteomloophout ook nog bijkomende milieuvordelen, zoals broeikasgas- en SO_x-reductie, verbetering van de bodem- en water capaciteit en verhoging van de biodiversiteit. Tevens toonden voorgaande studies aan zowel UAntwerpent, UGent als UHasselt aan dat KOH sterk is in de opname van zware metalen (doctoraten Meers, Vervaeke, Laureysens, Ruttens) . Het gebruik van korteomloophout als energiegewas is ook sterk stijgend gezien de mogelijkheden om er zowel warmte als energie uit te genereren.

Daarom wordt het gebruik van korteomloophout onderzocht als mogelijk alternatief gewas op metaalverontreinigde gronden. Aangezien het gebruik van KOH niet uitgebreid gekend is, worden de bevindingen omtrent de aanleg en het beheer van korteomloophout op metaalverontreinigde gronden in de Kempen eerst besproken (4.1). Nadien wordt het meest optimale oogsttijdstip van korteomloophout op metaalverontreinigde Kempische gronden bepaald. Hierbij wordt niet enkel de optimale rotatielengte bepaald, maar ook de impact van oogsten in de winter of in de herfst. De oogst met blad (in de herfst) kan namelijk de extractiecapaciteit verhogen. Toch zijn er geen studies terug te vinden omtrent de hergroei, wanneer op dergelijk tijdstip geoogst wordt. (4.2). Na deze teelttechnische onderzoeksvragen, wordt de effectieve staande biomassa van commercieel verkrijgbare populieren- en wilgenklonen besproken (4.2), Ook werd de opname van Cd en Zn door deze klonen bepaald (4.3) en hun respectievelijke extractiecapaciteit berekend (4.3).

Naast de beschikbare commerciële klonen is er tijdens het project ook intensief onderzoek verricht naar nieuwe wilgen- en populierenklonenselecties die een optimale groei aan hoge extractierendementen koppelen (4.4).

4.1 Aanleg en beheer van kortoomloophout

4.1.1 Aanplant

De aanplant van het kortoomloophout (met uitzondering van het perceel papierhout), gebeurde met stekken van 20 cm lengte. Deze stekken werden aangeplant door middel van een aangepaste preiplantmachine (Figuur 4.1). De plantafstand tussen de rijen bedroeg alternerend 0.75 m en 1.50 m, volgens de vereisten van bestaande oogstmachines. In de rijen werden 2 verschillende afstanden gehanteerd nl. 30 cm en 60 cm voor de wilgen, en 60 cm en 90 cm voor de populieren. Planttechnisch is deze wijze van aanplanten een goede keuze, op voorwaarde dat het bodemoppervlak bij aanvang voldoende vlak geëgd is. Wanneer de bodem echter minder egaal is, blijven de stekken te hoog boven de grond uitsteken en is het nodig om deze manueel dieper te plaatsen.



Figuur 4. 1. Overzicht van de machinale aanplant van wilgen- en populierenstekken op een verontreinigde akker in Lommel (foto's A. Ruttens)

4.1.2 Beheer

Wildcontrole

Ter preventie van wildschade, vooral door konijnen, werd het veld voorzien van een 1.80 m hoge omheining die tot op 70 cm diepte werd ingegraven (Figuur 4.2). Bijkomend werd beroep gedaan op de plaatselijke wildbeheereenheid voor de verdelging van accidenteel binnengedrongen konijnen.



Figuur 4. 2. Beelden van de omheining en de activiteiten van de wildbeheereenheid ter preventie van wildschade (foto's A. Ruttens)

Ondanks deze voorzorgsmaatregelen werd lokaal, en kloonspecifiek, een vrij hoge mate van wildschade vastgesteld. Bij de verdere selectie van geschikte klonen zal het nodig zijn rekening te houden met deze factor, en de meest geprefereerde klonen voor bepaalde regio's eventueel niet verder te weerhouden.

Onkruidcontrole

Tijdens het eerste groeiseizoen is het belangrijk dat het onkruid goed beheerst wordt, zodat maximale groeikansen kunnen gecreëerd worden voor de uitschietende stekken. Daarom werd het opkomend onkruid in het eerste jaar drie maal (nl. in juni, juli, augustus) aangepakt, door in de brede rijen (1.50 m) met een lichte frees mechanisch te behandelen (Figuur 4.3 midden boven). In de smalle (0.75 m) rijen werd het onkruid chemisch behandeld door te sproeien met glyfosaat. Hierbij werd, om drift te vermijden, gebruik gemaakt van een beschermkap (Figuur 4.3, midden onder).



Figuur 4. 3. Overzicht van de onkruidbestrijding, links de toestand voor en rechts de toestand na behandeling, figuur midden boven toont de lichte frees voor de mechanische bestrijding en midden onder toont het sproeistoestel (foto's A. Ruttens)

4.2 Oogst

Een normale cyclus van korteomloophout bedraagt gemiddeld 3 jaar. Tijdens de loop van het onderzoek is echter gebleken dat voor metaalverontreinigde zandgronden de rotatieperiode eventueel langer zou zijn, ten einde maximale biomassa-productiewaarden te kunnen genereren. Daarom werd besloten om de oogst van alle biomassa pas na 4 jaar te organiseren. Om deze keuze te onderbouwen werd in de wilgenscreeningsplot het groeiculminatiepunt bepaald.

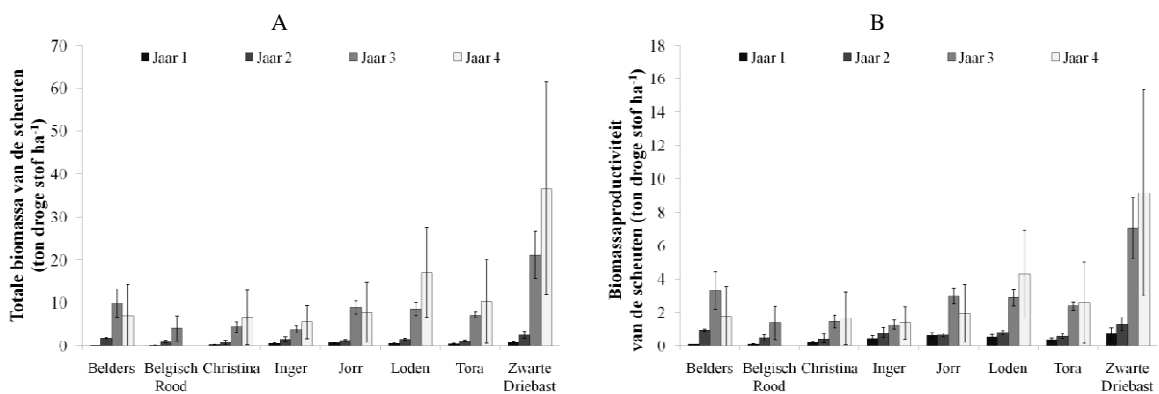
4.2.1 Bepaling van het groeiculminatiepunt van korteomloophout op metaalaangerijkte landbouwgronden in de Kempen

Methodiek van het onderzoek

In de wilgenscreeningsplot werden er gedurende 4 jaar stalen genomen op een gelijkaardige wijze. Voor iedere kloon werd een staal genomen van zowel de scheut (schors en hout) als van het blad. De bladbiomassa werd hierbij telkenmale beschouwd als de bladeren die nog aan de boom hingen. Nadat blad en scheut van elkaar verwijderd werden, werden de stalen gedroogd op 50°C zodat de droge biomassa bepaald kon worden. Op basis van deze opvolging kon naderhand bepaald worden wanneer de biomassa-productiviteit zich stabiliseert en wanneer het ideale oogsttijdstip is aangebroken.

Optimaal oogsttijdstip van korteomloophout op metaalaangerijkte landbouwgronden in de Kempen

Uit het verloop van de totale biomassa van de verschillende klonen werd een duidelijke groei terug te vinden (Figuur 4.4). Tijdens het eerste jaar was het moeilijk om reeds enkele vergelijkingen te maken in biomassaproductiviteit van de verschillende onderzochte klonen. Toch bleek dat de klonen Belders en Belgisch Rood zeer laag scoren, resp 0.075 ± 0.004 en 0.083 ± 0.041 ton droog materiaal ha^{-1} ten opzichte van een algemeen gemiddelde van 0.41 ton droog materiaal ha^{-1} . De lage productie van Belgisch Rood is voornamelijk te verklaren door konijnenvraatschade. De overige onderzochte klonen vertonen een biomassaproductiviteit die dicht tegen elkaar aanleunen.



Figuur 4. 4. Verloop van de totale droge biomassa (ton droog materiaal ha^{-1}) en de biomassaproductiviteit (ton droog materiaal $\text{ha}^{-1} \text{jaar}^{-1}$) van de scheuten van 8 onderzochte wilgenklonen (gemiddelde \pm standaardafwijking, n=4)

Tijdens het tweede onderzoeksjaar bleek dat de groei van Belgisch Rood verbeterde en dat de biomassaproductiviteit van Belders die van de overige klonen evenaarde. Zwarte Driebast vertoonde de hoogste groei in vergelijking met de andere klonen. Dit patroon kwam ook terug in jaar 3: Zwarte Driebast vertoonde de hoogste groei (21 ± 5 ton droog stof ha^{-1}) in vergelijking met de andere klonen en het algemeen opgemeten gemiddelde (8 ton droog stof ha^{-1}). De laagste groei was terug te vinden bij Belgisch Rood, ten gevolge van de groeiachterstand opgelopen tijdens het eerste jaar, gevolgd door Christina en Inger. Indien er geoogst zou worden na 3 jaar vertonen deze commerciële wilgenklonen een gemiddelde droge biomassaproductiviteit van ongeveer 2.7 ± 1.9 ton $\text{ha}^{-1} \text{jaar}^{-1}$ bedraagt. Deze waarde is laag en heeft een grote standaardafwijking vanwege de grote spreiding in biomassaproductiviteiten. De

metaalverontreiniging en het feit dat het hier arme zandige gronden betreft zijn medeverantwoordelijk voor de lage biomassa-productiviteitscijfers. Daarom werd tijdens het onderzoek ook besloten om af te wijken van de klassieke rotatieperiode van 3 jaar en een rotatieperiode van 4 jaar uit te voeren. Belgisch Rood kon echter niet meer meegenomen worden in deze studie, aangezien er geen representatief staal kon worden genomen.

Na 4 jaar kunnen echter gelijkaardige conclusies genomen worden. Zwarte Driebast blijft de hoogste biomassa-productiviteit vertonen (10 ± 2 ton droge stof ha^{-1}), gevolgd door Loden (4.9 ± 2.6 ton droge stof ha^{-1}) en Tora (3.2 ± 2.4 ton droge stof ha^{-1}). De hoge productiviteitscijfers van Zwarte Driebast zijn te verklaren doordat er binnen de plots enkele heel zware stammen geoogst werden. Hierdoor vertoont deze kloon dan ook een grotere standaardafwijking in vergelijking met de andere klonen. Indien deze extremen niet worden meegenomen, blijft hij echter de hoogste productiviteit hebben. De productiviteitscijfers zijn over het algemeen hoger in vergelijking met jaar 3, toch niet significant. Daarom kan besloten worden dat voor korteomloophout op metaalaangerijkte gronden in de Kempen een algemene rotatieperiode van 4 jaar aan te raden zou zijn, om een optimale productie te bekomen

4.2.2 Oogst van korteomloophout

De oogst werd uitgevoerd met een door New Holland ontwikkelde oogstmachine. Dit is een maïshakselaar met een voorzetstuk, speciaal ontworpen voor de oogst van korteomloophout (Figuur 4.5.). Dit voorzetstuk kan gemakkelijk vervangen worden, zodat loonwerkers gedurende de traditioneel 'stille' periodes van het jaar, na de oogst van de maïs, hun machines kunnen inzetten.



Figuur 4. 5. Oogst van korteomloophout (Foto's S. Van Slycken, genomen op de demodag te Lommel)

De oogst van het korteomloophout werd gekoppeld aan het organiseren van een demodag. Hierdoor werd de kans gecreëerd aan de leden van de gebruikerscommissie, maar ook aan de pers en de lokale bevolking, om kennis te maken met deze techniek en met de stand van zaken betreffende het onderzoek. De opkomst op de demodag bleek een succes te zijn, zowat 150 mensen. Naast de aanwezigheid van de leden van de gebruikerscommissie waren ook tal van andere geïnteresseerden, particulieren en studie- en adviesbureaus. De pers was goed vertegenwoordigd (het Nieuwsblad, het Belang van Limburg, Radio 2, .).



Figuur 4. 6. Fotoreportage over de demonstratiedag (foto's genomen door S. Van Slycken en Ecoprojects)

4.3 Bepaling van de staande biomassa van de commerciële klonen

Na twee jaar groei is de biomassaproductiviteit van de commerciële populieren- en wilgenklonen bepaald aan de hand van een niet-destructieve manier. Na 4 jaar werd de biomassa bepaald aan de hand van representatieve staalname's.

4.3.1 Bepaling van de staande biomassa van de tweejarige commerciële klonen

Methodiek biomassabepaling van de tweejarige commerciële klonen

In het najaar 2007 werd begonnen aan het uitvoeren van het onderzoek naar het accuraat inschatten van de biomassa. Hiervoor werd de methode gebruikt zoals beschreven door Pointailler *et al.* (1997). De metingen werden verricht aan de plots met commerciële klonen, die geen tot minimale vraatschade door konijnen vertoonden. Telkens werden de middelste tweelingrijen gemeten teneinde de invloed van randeffecten te vermijden, wat een derde van de geplante bomen betekent,.

In iedere plot (een plot is een unieke combinatie van een kloon met een bepaalde plantdichtheid) is de scheutdiameter (D) van alle levende scheuten op 22 cm boven de grond opgemeten met een schuifmaat (Pointailler *et al.*, 1997). Bij scheuten dikker dan 3 cm werd de diameter gemeten in twee richtingen loodrecht op elkaar, en het gemiddelde van beide waarden zal worden meegenomen in de verdere berekeningen. Ook de hoogte (H) van al deze scheuten worden opgemeten. Met deze waarden kon, van alle scheuten, de stamvolume-index (VI) berekend worden, zijnde

$$VI = H \cdot D^2 \qquad \text{Verg 4.1}$$

Aan de hand van de stamvolume-index van alle levende scheuten werd een frequentiedistributie opgesteld, en dit voor elk plot. Op basis van deze distributie werden 5 scheuten geselecteerd per plot volgens de techniek van de kwantielen van het totaal. Aldus vertegenwoordigen de geselecteerde scheuten het scheutvolume en zijn variatie voor elke plot. De geselecteerde scheuten werden afgesneden boven de grond en gedroogd aan 40 °C en het drooggewicht werd bepaald. Verschillende plots waren dusdanig aangevreten door konijnen dat een representatieve opmeting niet mogelijk was. In blok I was alleen de plot met Oudenberg op plantafstand 60 cm nog intact. In blok II waren alle populierenklonen op plantafstand 90 cm onbruikbaar voor opmeting.

Met behulp van deze data werd per plot een allometrische vergelijking opgesteld worden, waarbij het drooggewicht wordt uitgedrukt in functie van de stamvolume-index aan de hand van volgende machtsvergelijking :

$$DM = \alpha \cdot VI^{\beta} \qquad \text{Verg 4.2}$$

Waarbij DM de bovengrondse droge massa is; VI de stamvolume-index ;en α en β regressieparameters zijn. Met deze relatie kan vervolgens de droge massa van alle scheuten berekend worden. Dit zal toelaten een inschatting te maken van de biomassaproductie van elke kloon op elke plantafstand en dat op de verschillende herhalingen. Al deze waarden worden opgeschaald naar hectareniveau zodat het effect van 1) de boomsoort, 2) de kloon, 3) de plantafstand en 4) de bodemconditie op de geproduceerde biomassa nagegaan kan worden.

Biomassabepaling van de tweejarige commerciële populierenklonen.

Aan ruim 2000 bomen werden de diameter en de hoogte gemeten. De resultaten zijn samengevat in tabel 4.1 en vormen de basis voor de verdere biomassabepaling (Tabel 4.2).

Na 2 groei-jaren kon er geen groot verschil opgemeten worden in deze 2 parameters. Voor wat betreft diameters waren voornamelijk deze van Grimminge en Muur het hoogst. (Tabel 4.1). Oudenberg vertoont hierbij een gemiddelde diameter in vergelijking met de overige klonen, maar heeft wel ten opzichte van die andere klonen de grootste hoogte. De stamvolume-index (VI) vertoont een gelijkaardig patroon als de diameter daar deze de belangrijkste rol speelt in het berekenen van de index. Wanneer deze metingen vergeleken worden met deze van wilg, blijkt dat populier zowel de gemiddelde hoogte als de gemiddelde diameter op 22 cm hoogte veel groter is.

Tabel 4. 1. Overzicht van het gemiddeld aantal gemeten bomen, het gemiddeld aantal scheuten per plant, de gemiddelde diameter (mm) op 22 cm hoogte en de totale gemiddelde hoogte van de verschillende onderzochte commerciële tweejarige populierenklonen, n=2000

	Aantal gemeten bomen	Gemiddeld aantal scheuten per plant	gemiddelde diameter (mm) op 22 cm	gemiddelde hoogte (cm)
Grimminge	343	1.05	20.9	253.2
Koster	329	1.07	18.6	213.8
Muur	429	1.01	22.1	245.1
Oudenberg	803	1.09	19.8	259.8
Vesten	347	1.02	19.2	229.5

Tabel 4. 2. Resultaten van de reële en de maximale biomassaproductie (ton DS/ha/jaar) na de eerste twee groei-jaren, per populierenkloon en plantafstand

<i>Plantafstand</i>	<i>Kloon</i>	<i>Blok</i>	<i>ton DS/ha/jaar</i>		<i>ton DS/ha/jaar</i>	
			<i>Reëel</i>		<i>Maximaal</i>	
			<i>60 cm</i>	<i>90 cm</i>	<i>60 cm</i>	<i>90 cm</i>
Grimminge	II		0,69		1,53	
Grimminge	III		1,39	0,98	1,89	1,30
Grimminge	IV		1,32	1,04	1,81	1,13
Koster	II		0,75		1,24	
Koster	III		0,75	0,56	1,42	0,89
Koster	IV		0,80	0,98	1,27	1,10
Muur	II		0,54		1,76	
Muur	III		0,95	0,79	2,18	1,78
Muur	IV		0,53	0,50	1,24	0,85
Oudenberg	I		1,41		1,82	
Oudenberg	II		0,95		1,41	
Oudenberg	III		1,16	1,12	1,64	1,49
Oudenberg	IV		0,86	0,62	1,29	0,74
Vesten	II		0,44		0,97	
Vesten	III		0,80	1,04	1,63	1,38
Vesten	IV		0,50	0,58	1,05	0,80

De **gemiddelde biomassaproductie** van de gecommmercialiseerde populierenklonen bedroeg 0.85 ton droge stof per jaar en per hectare, na twee jaar (opgeschaald naar oppervlakte) (Tabel 4.2). Dit is een lage productie, wat aan diverse factoren kan toegeschreven worden. Vooreerst betreft het hier de eerste twee productie jaren van een eerste cyclus. In de eerste jaren wordt een aanzienlijk deel van de geproduceerde biomassa door de plant aangewend voor de aanleg van het wortelstelsel. Een eerste cyclus is in ieder geval een opstart en de culminatie van de juveniele groei komt eerder tot stand in het derde groei-jaar, en op armere gronden misschien zelfs maar in het vierde groei-jaar. De beplante gronden zijn niet optimaal geschikt voor populierenteelt met de huidige gecommmercialiseerde klonen. Deze klonen zijn veredeld en geselecteerd voor reguliere populierenteelt op vruchtbare gronden met goede watervoorziening. Door de zandige textuur in de Kempen kan bij droge periodes de watertoevoer in gebreke komen. Bovendien betekent de verontreiniging met de zware metalen een reële groeibelemmering.

Indien een berekening wordt uitgevoerd met abstractie van de uitval, dus met **maximale bezetting** (opgeschaald naar boomniveau), bedroeg de biomassaproductie van 1.37 ton droge stof per jaar en per hectare, wat een stijging betekent van 61 %. Met een dergelijke maximale berekening moet men wel voorzichtigheid aan de dag leggen bij interpretatie. Er is immers geen rekening mee gehouden dat ten gevolge van de uitval, de resterende bomen meer ruimte ter beschikking hadden en eventueel zwaarder konden uitgroeien. Toch is dit cijfer niet onbelangrijk in vergelijking met de mogelijkheden van wilg. Populier heeft grote productiemogelijkheden die zich evenwel uit in een later culminatiepunt. Onderzoek heeft uitgewezen dat populier, gezien over een volledige rotatie, grotere productiepotenties heeft, indien cycli van 4 jaar in plaats van 3 jaar worden aangehouden. Het is dus belangrijk om grote zorg aan de dag te leggen bij de aanleg van een KOH-veld met populier.

Globaal genomen was de **afwezigheid van planten** groot op de gemeten plots van de populierenklonen. Deze is voor een deel te wijten aan uitval (9.7%), wat bij populier kan toegeschreven worden aan het trager uitlopen van de stekken (in vergelijking met wilg), waardoor de onkruiddruk soms te sterk kan zijn. Dit is een pleidooi voor een rigoureuze onkruidbestrijding bij de aanleg van een KOH-veld. Maar vooral konijnenschade (18.1%) en ten dele ook het wetenschappelijk onderzoek op plantafstand 60 cm (6.5%) is hiervoor verantwoordelijk. Zo is in de opgemeten plots 34 % van het plantenmateriaal verloren gegaan. Een deel van deze planten zijn echter nog terug uitgelopen in het komende groeiseizoenen.

Door de vrij hoge uitvalcijfers is het moeilijk om **het effect van de plantafstand** op de productiviteit te vergelijken. Hierdoor zijn dan ook slechts geringe afwijkingen terug te vinden. Wordt echter de potentieel maximale productiecapaciteit bestudeerd, dan blijkt dat de plantafstand van 60 cm een globale

productieverhoging van 31 % kan inhouden ten opzichte van 90 cm. Deze hogere productiecapaciteit kan pleiten voor een hogere plantdichtheid, maar dit moet afgewogen worden aan de hogere aanplantingskosten. Bovendien moet verder onderzoek uitwijzen of de toekomstige opbrengsten bij volgende rotatieoogsten dezelfde verhoogde producties in verhouding zullen leveren.

Algemeen kan verondersteld worden dat de klonen Muur en Grimminge de hoogste biomassa-productie vertonen. Oudenberg wordt dan gevolgd door Koster en Vesten.

Biomassabepaling van de tweejarige commerciële wilgenklonen

Aan ruim 3000 bomen werden de diameter en de hoogte gemeten. De resultaten zijn samengevat in Tabel 4.3 en vormen de basis voor de verdere biomassabepaling (Tabel 4.4). Net zoals bij populier zijn hier geen grote verschillen op te meten tussen de verschillende klonen. De gemiddelde hoogte van Tora was echter wel hoger dan de gemiddelde hoogte van de andere klonen. Dit is ook het geval voor de gemiddelde stamvolume-index. De metingen voor Belgisch Rood zijn echter steeds lager. Dit komt doordat Belgisch Rood in het eerste groei-jaar zeer zwaar aangevreten was door de konijnen. Algemeen lagen de opgemeten waarden ook lager in vergelijking met populier.

Tabel 4. 3. Overzicht van het gemiddeld aantal gemeten bomen, het gemiddeld aantal scheuten per plant, de gemiddelde diameter (mm) op 22 cm hoogte en de totale gemiddelde hoogte van de verschillende onderzochte commerciële tweejarige wilgenklonen, n=3000

	Aantal gemeten bomen	gemiddeld aantal scheuten per plant	gemiddelde diameter (mm) op 22 cm	gemiddelde hoogte (cm)
Inger	1235	1.4	14.9	209.1
Loden	1212	1.7	15.7	204.1
Tora	876	1.5	15.6	232.1
Belgisch Rood	67	2.6	12.2	181.2

Tabel 4. 4. Resultaten van de reële en de maximale biomassa-productie (ton DS/ha/jaar) na de eerste twee groei-jaren, per wilgenkloon en plantafstand

<i>Kloon</i>	<i>Blok</i>	<i>Biomassa-productie</i>		<i>Biomassa-productie</i>	
		<i>Reëel</i>		<i>Maximaal</i>	
<i>Plantafstand</i>		<i>30 cm</i>	<i>60 cm</i>	<i>30 cm</i>	<i>60 cm</i>
Inger	II	1,07		1,32	
Inger	III	1,53	0,78	1,79	0,91
Inger	IV	1,86	1,11	2,08	1,33
Loden	I		0,97		1,18
Loden	II	1,68	1,65	1,95	1,60
Loden	III	2,55	1,17	3,06	1,20
Loden	IV		1,61		1,55
Tora	II	2,34	0,90	2,77	1,03
Tora	III	1,85	0,95	2,20	0,98
Tora	IV		1,50		1,61
Belgisch Rood	IV	2,64		3,02	

De **gemiddelde biomassa-productie** van de gecommmercialiseerde wilgenklonen bedroeg 1.6 ton droge stof per jaar en per hectare, na twee jaar (Tabel 4.4). De algemeen bekomen productiviteitscijfers waren laag, wat aan diverse factoren toegeschreven kan worden. Vooreerst betreft het hier de eerste twee productie-jaren van een eerste cyclus. In de eerste jaren wordt een aanzienlijk deel van de door de plant geproduceerde biomassa aangewend voor de aanleg van het wortelstelsel. Een eerste cyclus is in ieder geval een opstart en de culminatie van de juveniele groei komt eerder tot stand in het derde groei-jaar, en op armere gronden zelfs maar in het vierde groei-jaar. De beplante gronden zijn niet optimaal geschikt voor wilgenteelt, doordat door de zandige textuur bij droge periodes de watertoevoer in gebreke kan komen. Bovendien betekent de verontreiniging met de zware metalen een reële groei-belemmering.

Indien een berekening wordt uitgevoerd met abstractie van de uitval, met **maximale bezetting** (dus opgeschaald naar boomniveau), werd een biomassa-productie van 1.8 ton droge stof per jaar en per hectare bekomen. Met een dergelijke maximale berekening moet men wel enige voorzichtigheid aan de dag gelegd worden bij interpretatie. Er is immers geen rekening mee gehouden dat ten gevolge van de uitval, de resterende bomen meer ruimte ter beschikking hadden en eventueel zwaarder konden uitgroeien.

Verschillende plots waren dusdanig aangevreten door konijnen dat een representatieve opmeting niet mogelijk was. In blok I was alleen de plot met Lodén op plantafstand 60 cm nog intact. In blok II was Inger op plantafstand 60 cm onbruikbaar, zo ook de klónen Lodén en Tora op plantafstand 30 cm in blok

IV. De kloon Belgisch Rood is zeer zwaar aangevreten door de konijnen. Daarom was het op 3 van de 4 blokken niet mogelijk om een representatieve opmeting te verrichten. Op blok IV was dat wel mogelijk (gespaard door de konijnen)

Globaal is er niet veel **uitval**: op de opgemeten plots is er gemiddeld 88 % biomassa aanwezig van het potentieel. Doordat er een aparte plot was voor een intensievere screening van commerciële wilgenklonen werd er hier geen uitval voor wetenschappelijk onderzoek gerapporteerd. Plots van de klonen Inger, Loden en Tora met **plantafstand** in de rij van 30 cm vertoonden veelal een hogere staande biomassa vergeleken met plantafstand van 60 cm. Gemiddeld ruim 50 % meer biomassa, bij de kloon Tora zelfs tot bijna 90 % meer. Deze hogere productiecapaciteit kan pleiten voor een hogere plantdichtheid, maar dit moet afgewogen worden aan de hogere aanplantingskosten. Bovendien moet verder onderzoek uitwijzen of de toekomstige opbrengsten bij volgende rotatieoogsten dezelfde verhoogde producties in verhouding zullen leveren.

Algemeen blijkt dat de kloon Belgisch Rood de hoogste biomassaproductie vertoont. Maar door de beperkte opnameoppervlakte is toch enig voorbehoud in acht te nemen, aangezien over deze kloon niets over enige bodemplasticiteit kan gezegd worden. De kloon Tora, gevolgd door Loden, vertoont hogere biomassaproductie dan Inger. Ondanks de lagere productiecijfers in 4.2. zijn deze conclusies echter gelijkaardig.

4.3.2 Bepaling van de staande biomassa op vierjarige commerciële klonen

Methodiek biomassabepaling bij vierjarige commerciële klonen

Gezien de grote oppervlakte (2 ha) is de oogst van de commerciële klonen uitgevoerd met een klassieke KOH-oogstmachine. Dergelijke machines zijn voorzien voor een grootschalige oogst, zodat het niet mogelijk is om de opbrengst van individuele perceeltjes te bepalen. Daarom is voorafgaand via steekproef een biomassabepaling uitgevoerd. Daartoe is voor elke populieren- en wilgenkloon één plot bemonsterd (een plot is een unieke combinatie van een kloon met een bepaalde plantdichtheid). Daartoe is in elk plot aan een lijn van twintig bomen de hoogte en de diameter gemeten. Vervolgens zijn deze bomen geoogst en vers gewogen. Aan een representatief staal is de droge biomassa bepaald. Hiermede is de staande biomassaproductie na een eerste vierjarige cyclus berekend. Deze biomassagegevens zijn vervolgens opgeschaald naar hectareniveau en dit kan op twee manieren gebeuren, namelijk op oppervlaktebasis of naar productiviteit per boom. Indien er weinig of geen uitval was, zullen beide berekeningen zeer dicht bij

elkaar liggen. Indien er veel uitval was (tengevolge van konijnenvraat of onkruidruk) liggen deze cijfers verder uit elkaar en geven geen van beide berekeningen een correcte interpretatie van de biomassa-productiviteit. Met het oog op volledigheid worden beide resultaten in onderstaande tabellen weergegeven. Een realistisch productieniveau zal ergens tussenin liggen.

Biomassabepaling van de vierjarige commerciële populierenklonen

In vergelijking met het productieniveau na twee groei-jaren, bereiken we na vier groei-jaren een gemiddelde jaarlijkse biomassa-productie die vijf maal hoger is (3.7 ton DS per jaar en per hectare) (Tabel 4.6). Indien abstractie wordt gemaakt van de uitval, dan wordt zelfs 4.7 ton gehaald. In tegenstelling tot het groeiniveau na twee jaar, behaalt de kloon Vesten hier een goede groei, ook op 90 cm. Grimminge blijft goed presteren. Muur, die na twee jaar de beste groei vertoonde, doet het nu minder goed. Gemiddeld wordt bij plantafstand 60 cm een geringere hoogte en diameter behaald. Maar door het hoger stamtal wordt hier wel een hogere biomassa-productie gerealiseerd.

Tabel 4. 5. Gemiddelde hoogte (cm) en diameter (mm) van de commerciële populierenklonen, na vier groei-jaren, per kloon en plantafstand

Boomsoort	Blok	Kloon	Plantafstand(cm)	Gemiddelde Hoogte (cm)	Gemiddelde Diameter (mm)
Populier	III	Muur	60	453	41
	III	Koster	60	546	46
	III	Oudenberg	60	405	30
	III	Grimminge	60	523	37
	III	Vesten	60	486	39
			GEM	60	483
Populier	IV	Muur	90	444	38
	III	Koster	90	477	42
	III	Oudenberg	90	548	43
	III	Grimminge	90	526	41
	III	Vesten	90	603	54
			GEM	90	520

Tabel 4. 6. Resultaten van biomassaproductie (ton DS ha⁻¹ jaar⁻¹) van de commerciële populierenklonen, na vier groei-jaren, per kloon

Boomsoort	Blok	Kloon	Plantafstand(cm)	% blad Aanwezig	naar boom ton DS ha⁻¹ jaar⁻¹	naar opp. ton DS ha⁻¹ jaar⁻¹
Populier	III	Muur	60	0.044	4.9	2.4
	III	Koster	60	0.050	6.3	4.4
	III	Oudenberg	60	0.043	2.8	2.0
	III	Grimminge	60	0.033	5.1	4.6
	III	Vesten	60	0.049	5.7	5.4
	III	GEM	60	0.044	5.0	3.8
Populier	IV	Muur	90	0.039	2.1	1.9
	III	Koster	90	0.033	4.2	3.3
	III	Oudenberg	90	0.018	3.9	3.7
	III	Grimminge	90	0.081	5.0	4.5
	III	Vesten	90	0.022	6.8	4.7
	III	GEM	90	0.039	4.4	3.6

Biomassabepaling van de vierjarige commerciële wilgenklonen

In vergelijking met het productieniveau na twee groei-jaren, bereiken we na vier groei-jaren een gemiddelde jaarlijkse biomassaproductie die bijna twee maal hoger is (2.8 ton DS per jaar en per hectare) (Tabel 4.8). Maken we abstractie van de uitval, dan wordt 2.9 ton gehaald. Dit cijfer wijst er op dat er binnen de wilgen weinig uitval was. Globaal ligt dit productieniveau toch lager dan bij populier. De volgorde in productieniveau Tora – Loden – Inger is hier nog steeds het geval. Gemiddeld wordt bij plantafstand 30 cm een geringere hoogte en diameter behaald (Tabel 4.7). Maar door het hoger stamtal wordt hier wel een hogere biomassaproductie gerealiseerd.

Tabel 4. 7. Gemiddelde hoogte (cm) en diameter (mm) van de commerciële wilgenklonen, na vier groei-jaren, per kloon en plantafstand

Boomsoort	Blok	Kloon	Plantafstand(cm)	Gemiddelde Hoogte (cm)	Gemiddelde Diameter (mm)
Wilg	IV	Belgisch Rood	60	316	26
	IV	Tora	60	405	27
	IV	Loden	60	356	25
	IV	Inger	60	314	26
		GEM	60	348	26
Wilg	III	Belgisch Rood	30	219	14
	III	Tora	30	381	23
	III	Loden	30	303	21
	III	Inger	30	315	23
		GEM	30	304	20

Tabel 4. 8. Resultaten van biomassaproductie (ton DS ha⁻¹ jaar⁻¹) van de commerciële wilgenklonen, na vier groei-jaren, per kloon

Boomsoort	Blok	Kloon	Plantafstand(cm)	naar boom ton DS ha ⁻¹ jaar ⁻¹	naar opp. ton DS ha ⁻¹ jaar ⁻¹
Wilg	IV	Belgisch Rood	60	3.9	3.7
	IV	Tora	60	3.0	2.8
	IV	Loden	60	2.6	2.6
	IV	Inger	60	1.8	1.8
		GEM	60	2.8	2.7
Wilg	III	Belgisch Rood	30	1.7	1.3
	III	Tora	30	3.6	3.6
	III	Loden	30	3.7	3.6
	III	Inger	30	3.1	3.1
		GEM	30	3.0	2.9

Staande biomassa van commerciële populieren en wilgenklonen

De gemiddelde staande biomassa van populier en wilg zijn gelijkaardig. Uit de tweejaarlijkse en vierjaarlijkse biomassabepaling blijkt dat wilg een snelle jeugdgroei heeft dan populier, toch vertonen ze na 4 jaar een gelijkaardige biomassaproductiviteit. Desalniettemin zijn de algemene waarden laag, ongeveer 3 ton droge stof ha⁻¹ jaar⁻¹ terwijl een algemene biomassaproductiviteit van 10 ton droge stof ha⁻¹ jaar⁻¹ verwacht wordt. De metaalverontreiniging en de arme zandige bodemkarakteristieken van de Kempische bodem kunnen ervoor gezorgd hebben dat deze opbrengsten lager liggen. Ook betreft het hier een eerste cyclus; na oogst van deze cyclus is het wortelstel beter ontwikkeld en kan de groei forser worden waardoor betere opbrengstcijfers gehaald kunnen worden. Het is dan ook aan te raden de groei van het kortoomloophout te blijven volgen. Mogelijke bodembeheersmaatregelen zoals compost of

bemesting kunnen deze opbrengsten beïnvloeden, alsook het selecteren van geschikte klonen aangepast aan de specifieke bodem- en klimaatcondities.

4.3.3 Opnamecapaciteit van metalen door commerciële populierenklonen

Methodiek van het onderzoek

Tijdens het tweede groei-jaar werd in de commerciële blok stalen genomen in de proefplots met de dichtste plantafstand waar tevens ook staalnames hebben plaatsgevonden voor de bepaling van de staande biomassa. De plantenstaalname voor metaalanalyse bestond uit het nemen van een mengstaal. Het mengstaal bestond uit het nemen van de 6 omringende planten rond ieder staalnamepunt (5 verspreid over iedere kloon). De planten werden vervolgens ontbladerd en de scheuten werden in schors en houtfractie onderverdeeld. Op iedere plantenfractie (blad, schors, hout en scheut) werd een destructie uitgevoerd zodat de concentraties aan Cd en Zn bepaald konden worden. Om eventuele verschillen in metaalconcentratie grondig te onderzoeken werden bij ieder staalnamepunt tevens een bodemstaal genomen. De bodemstaalname bestond uit het nemen van een mengstaal van 6 bodemstalen door middel van een grondboor (operationele lengte 25 cm). Ieder bodemstaal werd gedroogd en gezeefd (\varnothing 1mm) voor analyse. Hierbij werd de bodem-pH bepaald, alsook de concentratie aan Cd en Zn bepaald aan de hand van een *aqua regia* destructie (voor de bepaling van de pseudo-totaal fractie) en in een CaCl_2 -extract (voor een inschatting van de biobeschikbare fractie)

Tijdens de bepaling van de staande biomassa van populier in het vierde groei-jaar werden ook scheut- en bladstalen genomen uit blok III van de verschillende klonen over de verschillende plantafstanden. Ook hier werden op de verschillende fracties (blad en scheut) de concentraties aan Cd en Zn bepaald.

Opnamecapaciteit van Cd en Zn bij populier tijdens het tweede onderzoeksjaar onder verschillende bodemconcentraties

Voorafgaand aan de analyses van het plantenmateriaal werden de bodemstalen geanalyseerd (Tabel 4.9). Uit dit onderdeel bleek een grote variatie te bestaan in de totaalconcentratie aan Cd en Zn over de verschillende herhalingsblokken. Dit was ook terug te vinden in de concentraties bepaald adhv een CaCl_2 -extractie, die de plantenbeschikbaarheid aan Cd en Zn inschat. Toch zijn de verschillen hier minder duidelijk. Daarom werd besloten om voor het onderzoek naar de metaalconcentratie in de verschillende plantenfracties, de blokken I en II samen te nemen (plot a), alsook de blokken III en IV (plot b).

Tabel 4. 9. Overzicht pH, concentratie aan Cd en Zn (mg kg⁻¹) bepaald aan de hand van een *aqua regia* destructie en een CaCl₂-extractie voor de verschillende herhalingsblokken en voor plot a en plot b, stalen genomen op het einde van het tweede groei-jaar (gemiddelde ± standaardafwijking, n =5)

<i>Kloon</i>	<i>pH</i>	<i>aqua regia</i>		<i>CaCl₂</i>	
		<i>Cd</i> mg kg ⁻¹	<i>Zn</i> mg kg ⁻¹	<i>Cd</i> mg kg ⁻¹	<i>Zn</i> mg kg ⁻¹
Blok I	6.3 ± 0.4	5.4 ± 1.8	301 ± 84	0.43±0.22	6.3±4.8
Blok II	6.3 ± 0.3	6.1 ± 2.2	344 ± 128	0.46±0.18	3.9±5.6
Blok III	6.5 ± 0.2	8.0 ± 1.6	445 ± 93	0.50±0.12	2.2±1.3
Blok IV	6.4 ± 0.2	8.4 ± 1.9	488 ± 97	0.59±0.12	3.0±2.5
Plot a	6.3 ± 0.3	5.9 ± 2.1	331 ± 117	0.45±0.19	4.6±5.5
Plot b	6.5 ± 0.2	8.2 ± 1.8	466 ± 97	0.54±0.13	2.6±2.0

Net zoals bij de eenjarige gewassen was er een duidelijke compartimentalisatie aan Cd en Zn (Tabel 4.10). De concentratie in het blad was groter dan deze opgemeten in de scheuten. Voor de scheut zelf kon er geen significant verschil aangetoond worden tussen de verschillende plots en de mate van verontreiniging. Voor de concentratie aan Cd in het blad van Grimminge, Muur en Oudenberg waren er significante verschillen tussen de plots, voor Zn was dit enkel aanwezig voor Grimminge en Oudenberg. Hieruit blijkt de concentratie aan zware metalen in de bladeren gelinkt is aan de concentratie in de bodem. Voor de scheuten was dit minder het geval. Ook tussen de klonen in plot b konden significante verschillen aangetoond worden. De concentratie aan Zn in het blad van Oudenberg was significant lager dan voor Grimminge en Koster, terwijl voor het hout de concentratie aan Zn opgemeten in Oudenberg significant lager is in vergelijking met Grimminge, Koster en Muur. Voor Cd kon dit echter niet aangetoond worden. Analyse van het bladmateriaal kan dus duidelijke informatie leveren over de opnamecapaciteit van de verschillende klonen, en kan indien de resultaten zich blijven voortzetten, nuttige informatie aanleveren voor het selecteren van geschikte klonen op dergelijke landbouwgronden.

Tabel 4. 10. Concentratie aan Cd en Zn van de verschillende plantenonderdelen (blad, scheut, schors en hout) (mg kg⁻¹) voor de verschillende onderzochte klonen bij de dichtste plantafstand in plot a (Blok I en II) en plot b (Blok III en IV) (gemiddelde ± standaardafwijking, n= 10)

Plot	<i>Kloon</i>	<i>blad</i>	Cd mg kg ⁻¹			Zn mg kg ⁻¹			
			<i>Scheut</i>	<i>Schors</i>	<i>Hout</i>	<i>Blad</i>	<i>Scheut</i>	<i>Schors</i>	<i>Hout</i>
a									

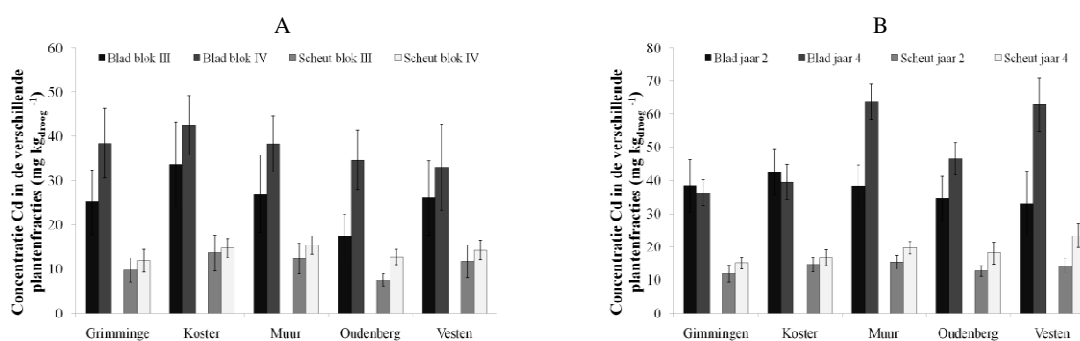
Grimminge	25±7	9.7±2.8	20±5	5.1±1.1	1551±359	221±88	463±140	112±45
Koster	34±10	14±4	25±8	7.0±2.3	1935±543	250±81	463±230	124±58
Muur	27±9	12±4	21±4	6.6±2.8	1656±556	229±101	412132±	110±75
Oudenberg	17±5	7.5±1.3	15±3	3.9±0.7	1152±366	153±32	32596±	70±13
Vesten	26±8	12±4	23±6	6.3±2.1	1384±450	197±68	454119±	124±63

b

Grimminge	38±8	12±3	24±5	6.4±1.4	2034±359	232±58	524±128	90±22
Koster	42±7	15±2	26±4	7.9±1.5	2134±357	248±68	490±154	97±17
Muur	38±6	15±2	27±4	7.8±1.3	1705±274	201±40	369±47	87±31
Oudenberg	35±7	13±2	24±3	6.4±0.7	1444±132	152±26	313±51	60±12
Vesten	33±10	14±2	26±5	7.3±1.2	1657±461	251±75	515±170	86±19

Opnamecapaciteit van Cd en Zn vierjarige commerciële populier klonen onder kortoomloophout

Voor enkele klonen waren er in het vierde groei-jaar (Figuur 4.7) significante verschillen in opname van de metalen in vergelijking met het tweede groei-jaar. Dit kan verklaard worden door de gewijzigde groeisnelheid van sommige klonen. Eens hun wortelstelsel goed gevestigd is, kunnen ze meer elementen opnemen, waaronder ook zware metalen. Tijdens het vierde groei-jaar vinden we ook dat de concentratie in het blad veel hoger is in vergelijking met het hout. Net zoals in het tweede onderzoeksjaar konden er voor zowel het blad als voor het hout significante verschillen aangetoond worden tussen de verschillende klonen. Over het algemeen kan na 4 jaar gesteld worden dat Grimminge lagere concentraties aan Cd en Zn in het hout en het blad vertoont in vergelijking met de andere klonen, terwijl de concentraties voor Vesten steeds het hoogst zijn.



Figuur 4.7 . Verloop van de concentratie aan Cd (A) en Zn (B) (mg kg⁻¹) voor blad en scheut opgemeten na het tweede groei-jaar (n=5) en het vierde groei-jaar (n=4) (gemiddelde ± standaardafwijking)

4.3.4 Opnamecapaciteit van metalen door commerciële wilgenklonen

Het grootste deel van het onderzoek rond de metaalconcentratie en -extractie door commerciële wilgenklonen onder korteomloophout werd uitgevoerd in de wilgenscreeningsplot (cfr 4.2), ipv in de commerciële aanplant zoals voor populier, zodat er meerdere klonen meegenomen konden worden in het onderzoek.

Methodiek van het onderzoek

Tijdens het tweede en het vierde jaar werden op de verschillende plots een gecombineerde planten- en bodemstaalname verricht. Voor de plantenstaalname werden in iedere plot 4 bomen geoogst. Na de staalname werd het plantenmateriaal onderverdeeld in de verschillende plantenfracties (blad, scheut, schors en hout), gedroogd. Op het gedroogde materiaal werd een substaal genomen zodat de concentratie aan Cd en Zn in iedere fractie bepaald kon worden.

Opnamecapaciteit van Cd en Zn bij wilg tijdens het tweede onderzoeksjaar.

Wanneer de concentraties van Cd en Zn bij wilg bestudeerd worden (Tabel 4.11.) zien we een gelijkaardige compartimentalisatie als voor populier. De hoogste concentraties zijn terug te vinden in het blad, gevolgd door de schors en tenslotte het hout zelf. Gelijkaardig als voor populier kan aangetoond worden dat de concentratie aan Cd in de verschillende fracties (blad, schors, hout en scheut) significante verschillend is naargelang de onderzochte kloon. Voor Zn was dit niet het geval, toch was er een gelijkaardige trend zichtbaar. Loden vertoont, samen met Tora, de hoogste concentratie, terwijl de concentratie in Belders en Jorr steeds het laagste zijn. Wanneer de genetische achtergrond van deze klonen bestudeerd wordt, kan er een vermoeden zijn dat de metaalopname ook gekoppeld kan worden aan de achtergrond van de kloon, wat natuurlijk perspectieven biedt naar de veredeling toe.

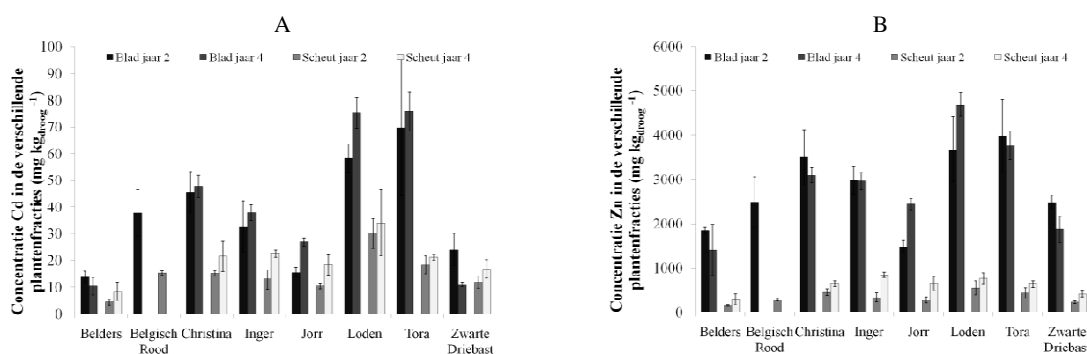
Tabel 4. 11. Concentratie aan Cd en Zn van de verschillende plantenonderdelen (blad, scheut, schors en hout) (mg kg^{-1}) voor de verschillende onderzochte klonen bij de dichtste plantafstand in de wilgenscreeningsplot (gemiddelde \pm standaardafwijking, $n=4$)

Kloon	Cd mg kg^{-1}				Zn mg kg^{-1}			
	blad	Scheut	Schors	Hout	Blad	Scheut	Schors	Hout
Belders	14 \pm 2	4.3 \pm 1.1	6.1 \pm 2.5	3.2 \pm 0.3	1845 \pm 82	148 \pm 22	278 \pm 48	74 \pm 1
Belg. Rood	38 \pm 9	15 \pm 1	28 \pm 1	8.3 \pm 0.6	2490 \pm 572	275 \pm 28	565 \pm 66	115 \pm 15

Christiaene	45±8	15±1	24±2	8.4±0.9	3499±617	452±75	791±144	197±32
Inger	33±10	13±4	20±5	8.4±3.0	2974±313	333±105	479±173	169±35
Jorr	15±2	10±1	18±2	5.4±0.5	1482±132	277±75	537±167	125±22
Loden	58±5	30±6	47±7	15±3	3674±736	548±152	861±243	261±79
Tora	70±25	18±3	32±5	10±2	3979±838	435±114	853±177	195±71
Zwarte Driebast	24±6	12±2	23±5	6.5±0.7	2486±156	222±28	486±41	92±10

Opnamecapaciteit van Cd en Zn vierjarige commerciële populier klonen onder korteomloophout

Ook na het vierde groei-jaar konden significante verschillen aangetoond worden tussen de verschillende klonen. Hierbij vertonen ook hier Lodén en Tora de hoogste en Jorr en Belders de laagste concentraties aan Cd en Zn in het blad. Ook zijn de verschillen voor de concentraties opgemeten in het hout minder groot in vergelijking met de klonale verschillen in Cd en Zn concentratie (Figuur 4.8). Gelijkaardig als voor de populieren blijken de concentraties bij de wilgen toe te nemen in functie van de tijd (Figuur 4.8). Naarmate enkele planten een betere groei vertonen, zal naast de opname van hoofdelementen ook de opname van metalen toenemen, waardoor er hogere concentraties opgemeten kon worden.



Figuur 4. 8. Verloop van de concentratie aan Cd (A) en Zn (B) (mg kg⁻¹) voor blad en scheut opgemeten na het tweede groei-jaar en het vierde groei-jaar (gemiddelde ±standaardafwijking, n=4)

4.4 Metaextractie door korteomloophout

Methodiek van het onderzoek

De metaextractiecapaciteit van korteomloophout wordt vertaald door de combinatie van de gerealiseerde biomassaproductie met de concentratie aan Cd en Zn in het desbetreffend plantenmateriaal. Hiervoor wordt beroep gedaan op de metingen van de tabellen 4.2 en 4.4. Voor de biomassa werd gebruik gemaakt van de opschaling naar boomniveau van de populieren en wilgen in de grote commerciële aanplant. Tevens wordt rekening gehouden met de bladbiomassa en de metaalconcentratie in de bladeren, om te berekenen wat het surplus is aan extractie indien korteomloophout geoogst wordt met blad. Hierbij is echter enkel rekening gehouden met de bladbiomassa die op moment van de oogst op het plantenmateriaal aanwezig was. Doordat er bij de wilgen in de commerciële aanplant geen bladeren aanwezig waren bij de staalname, zijn de berekeningen ook uitgevoerd voor de experimentele wilgenscreeningsplot.

Wanneer deze biomassagegevens van de staande biomassa vermenigvuldigd worden met de respectievelijke concentratie kan de extractie aan metalen door de verschillende plantenonderdelen bepaald worden. Deze geeft een indicatie weer van de extractiecapaciteit alsook laat dit toe om een ruwe inschatting te kunnen maken van de remediatieperiode om t.van een verontreinigingsgraad van 5 ppm Cd te zakken naar de norm van 2 ppm. Hiervoor werden dezelfde veronderstellingen als voor de éénjarige planten aangenomen, namelijk: 1) een constant extractiecapaciteit wordt aangehouden; 2) enkele de bovenste 25 cm onder beschouwing genomen wordt 3) een bodemdichtheid van 1400 g dm^{-1} .

Metaextractie van Cd en Zn door de commercieel verkrijgbare populierenklonen

Het hout van populier vertoont een jaarlijkse extractiecapaciteit van 89 g Cd en 1480 g Zn ha jaar⁻¹ (Tabel 4.14). Hierbij is de extractiecapaciteit van Vesten het hoogst, gevolgd door Muur en Koster. Dit is terug te vinden in beide plantafstanden. De goede prestatie van Vesten kan verklaard worden door zijn hoge biomassa en opnamecapaciteit, terwijl Muur en Koster hogere concentraties vertonen en daardoor hoge extractiepotentiëlen. Door de hogere biomassa in plantafstand 60 cm is daar het extractiepotentieel hoger..Dit betekent dat gegeven de condities zoals beschreven in de methodiek de extractietermijn voor Cd van 120 jaar bereikt kan worden. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld maïs waar termijnen van meer dan 500 jaar vooropgesteld werden. De bladbiomassa in de plantafstand 60 cm zorgde voor een

bijkomende extractiecapaciteit van ongeveer 30% voor Cd en het dubbele voor Zn. Bij oogst om de vier jaar met blad, gegeven de voorgestelde bodemcondities en de aanwezigheid van het blad zoals tijdens staalname, betekent dat in de plantafstand 60 cm de remediatieperiode met 10% verminderd wordt.

Tabel 4. 12. Extractiepotentieel aan Cd en Zn van commerciële populierenklonen (g ha⁻¹ jaar⁻¹) alsook het extractiepotentieel van het blad indien er met blad geoogst wordt

Blok	Kloon	Plant-	Extractie Cd g ha ⁻¹ jaar ⁻¹		Extractie Zn g ha ⁻¹ jaar ⁻¹	
			Hout	Blad	Hout	Blad
III	Muur	60	102	35	1385	1731
III	Koster	60	119	38	2079	2457
III	Oudenberg	60	69	18	1364	1110
III	Grimminge	60	72	20	1269	1111
III	Vesten	60	150	49	2228	2382
	GEM	60	102	32	1665	1758
IV	Muur	90	39	12	748	768
III	Koster	90	61	12	1073	872
III	Oudenberg	90	60	7	1063	476
III	Grimminge	90	82	58	1395	2850
III	Vesten	90	137	20	2198	1166
	GEM	90	76	22	1295	1226

Metaalextractie van Cd en Zn door commercieel verkrijgbare wilgenklonen

Het hout van wilg vertoont een jaarlijkse extractiecapaciteit van 77 g Cd en 1770 g Zn ha jaar⁻¹ (Tabel 4.13). Hierbij is de extractiecapaciteit van Loden en Tora het hoogst voor beide plantafstanden. Dit betekent dat gegeven de condities zoals beschreven in de methodiek de extractietermijn voor Cd er een periode van 140 jaar bereikt kan worden, gelijkaardig als voor de commerciële populieren.

Tabel 4. 13. Extractiepotentieel aan Cd en Zn van de houtige biomassa van de commerciële wilgenklonen (g ha⁻¹ jaar⁻¹)

Blok	Kloon	Plantafstand(cm)	Extractiecapaciteit	
			Cd	Zn
Wilg	IV	Belgisch Rood	115	1789

	IV	Tora	61	1452
	IV	Loden	106	2132
	IV	Inger	32	1274
		GEM	78	1662
Wilg	III	Belgisch Rood	47	885
	III	Tora	82	2044
	III	Loden	132	2547
	III	Inger	44	1614
		GEM	76	1773

Tabel 4. 14. Extractiepotentieel aan Cd en Zn van commerciële wilgenklonen ($\text{g ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$) alsook het extrapotentieel van het blad indien er met blad geoogst wordt

	Extractiecapaciteit Cd $\text{g ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$		Extractiecapaciteit Zn $\text{g ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$	
	Hout	Blad	Hout	Blad
Kloon				
Belg. Rood	10	29	347	3805
Christiaene	33	39	1064	2531
Inger	30	14	1127	1064
Jorr	35	90	1213	8094
Loden	143	82	3189	5079
Tora	55	198	1627	9700
Zwarte Driebast	203	80	5138	12537

Wanneer de resultaten van de wilgenscreeningsplot bestudeerd worden (Tabel 4.13), dan waren er gelijkaardige extractiepotentiëlen terug te vinden, zijnde voor Cd van 72 mg en 1958 mg voor Zn per ha en per jaar en worden gelijkaardige remediatieperiodes vooropgesteld. Zoals ook in de opnamecapaciteit en de biomassa-productiviteit naar voren kwam is ook hier het extractiepotentieel van zware Driebast het hoogst, gevolg door Lodén. Wanneer de remediatieperiode door gebruik te maken van Zwarte Driebast bestudeerd wordt, dan bekomt men een tijdspanne van iets meer dan 50 jaar en dit t.o.v. het algemeen gemiddelde van 145 jaar. Dit sluit aan bij de overige conclusies dat er bij de juiste klonale keuze niet alleen hoopvolle biomassa-productiecijfers bekomen kan worden, maar ook hoopvolle remediatieperiodes.

Doordat in deze plot wel blad aanwezig was op moment van oogst kon de impact van het blad bij wilg hier wel bestudeerd worden. Hierbij is echter op te merken dat er een veel hoger % blad (uigedrukt in droge stof) aanwezig was in vergelijking met de populieren in de grote aanplant. Daardoor zijn de extractiepotentiëlen veel hoger in vergelijking met populier. Ook de remediatiecijfers zijn hierdoor veel

korter. Over het algemeen was er verkorting van de remediatieperiode van 70%. Dit bevestigt de doelstellingen om een oogst van KOH met blad uit te voeren ten einde de extractietermijn te verkorten.

4.5 Selectie van populieren- en wilgenklonen voor korteomloophout gekoppeld aan fytoremediatie

Zoals reeds werd aangegeven kan een optimalisatie van het gebruik van korteomloophout ook gebeuren aan de hand van klonale selectie. Hiervoor heeft het INBO onderzoek uitgevoerd om populieren en wilgenklonen te selecteren die speciaal aangepast zijn aan de condities in de Kempen en de metaalverontreiniging, teneinde de opname- en extractiecapaciteit te optimaliseren.

Inleiding

Om een optimale synergie van biomassa productie en fytoremediatie met korteomloophout te realiseren, is aan het INBO een gericht veredelingsprogramma voor KOH opgestart, gefundeerd op het reeds jarenlang lopend veredelingsprogramma voor boomvormende populieren en wilgen. Een ruime collectie wilgen- en populierenklonen zijn in dit screeningsonderzoek betrokken.

Populier: 100 INBO-klonen, 42 families in 3 groepen: selectie gericht op bodemplasticiteit, snelle groei en roesttolerantie

- *Populus trichocarpa* (T)
- *P. trichocarpa x trichocarpa* (TXT): intraspecifieke kruisingen
- *P. trichocarpa x maximowiczii* (TXM), waaronder 2 terugkruisingen naar *P. deltoides* (D(TxM))

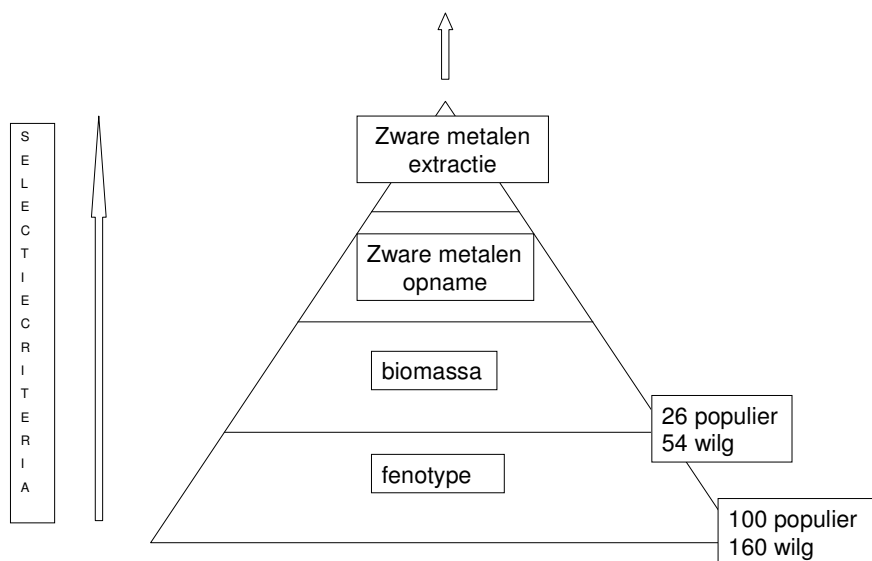
Wilg: 160 INBO-klonen, 11 families in 3 groepen: selectie gericht op bodemplasticiteit, snelle groei en metaaltolerantie

- *Salix alba* (A): een groep gevormd door zuivere *S. alba*, intraspecifieke kruisingen *S. alba x S. alba*, *S. rubens x S. alba* en *S. alba x S. fragilis*, afkomstig uit het veredelingsonderzoek van boomvormende wilgen
- *S. viminalis* (V): uit een selectie van klonen met specifieke hoge en lage metaalaccumulatie

- *S. viminalis x viminalis* (VxV): kruising tussen bovenstaande klonen met diverse gradaties van metaalaccumulatie

Algemene methodiek voor de uitvoering van de selectie

De selectie is er op gericht om, naast de klassieke veredelingscriteria zoals ziekteresistentie, goed bewortelingsvermogen en snelle groei, bodemplasticiteit en metaaltolerantie met elkaar te koppelen. Voor het uitvoeren van deze selectie wordt een piramidale opbouw van de methodiek voorgesteld (Figuur 4.9).



Figuur 4. 9. Piramidale opbouw voor de selectie van nieuwe INBO-klonen, gericht op biomassa en fyto-remediatie

De screening en selectie gebeurt op basis van verschillende stappen:

1) Fenotypische selectie:

In eerste instantie wordt een selectie uitgevoerd op basis van het fenotype. De gebruikte selectiecriteria zijn slaging, uniformiteit, globale hoogtegroe, vergeling en roestziekte. Dit zijn basiseigenschappen. In het voorjaar en in het najaar van 2007 is deze eerste screening uitgevoerd.

Aangezien één groeiseizoen ontoereikend is om een goed gefundeerde selectie uit te voeren, is deze screening herhaald in de komende groei-jaren en ook bijgesteld.

2) Biomassaproductiviteit

Van de klonen die door deze eerste selectie zijn geraakt, zijn de productiemogelijkheden bepaald.

- Na twee groei-jaren zijn de diameter op 22 cm (d) en de hoogte (h) gemeten, waarmee de volume-index (Verg. 4.1) is opgesteld, die een goede inschatting van de potentiële groei geeft. De resultaten van deze meting zijn gebruikt om een verdere selectie door te voeren. Ook werden sommige aanvankelijk verworpen klonen opnieuw bij de selectie gevoegd. Dit blijken klonen te zijn die een langzamere jeugdgroei vertonen, maar na enkele jaren een hoge productiviteit vertonen.
- Na vier groeiseizoenen zijn de blokjes met de meest beloftevolle klonen in hun geheel manueel geoogst en vers gewogen. Aan een representatief staal is de droge biomassa bepaald. Hierdoor kon een vrij betrouwbare schatting gemaakt worden van de productiecapaciteit van de respectievelijke klonen. Deze biomassagegevens zijn vervolgens opgeschaald naar hectareniveau en dit kan op twee manieren gebeuren, namelijk op oppervlaktebasis of naar productiviteit per boom. Indien er weinig of geen uitval was, zullen beide berekeningen zeer dicht bij elkaar liggen. Indien er veel uitval was (tengevolge van konijnenvraat of onkruiddruk) liggen deze cijfers verder uit elkaar en geven geen van beide berekeningen een correcte interpretatie van de biomassaproductiviteit. Met het oog op volledigheid worden beide resultaten in onderstaande tabellen weergegeven. Een realistisch productieniveau zal ergens tussenin liggen.

3) Opnamecapaciteit zware metalen

In parallel met de biomassa-inschattingen, zoals besproken in punt 2, is het metaalaccumulerende vermogen van de geselecteerde klonen gemeten.

- Hiertoe zijn op het einde van het tweede groeiseizoen (september 2007), voor elke geselecteerde kloon, gekoppelde bodem- en bladstalen genomen. De concentratie van zware metalen in het blad blijkt een goede afspiegeling te geven van de concentratie in het hout. Aldus kan op niet-destructieve wijze een idee bekomen worden van de opname- en extractiecapaciteiten van de klonen. Bladeren uit het bovenste derde van de bomen zijn

verzameld bij 6 random geselecteerde individuen van elke kloon en vervolgens gepoold per kloon (mengstaal; in totaal $\pm 200\text{g}$ vers gewicht/kloon). Het gekoppelde bodemstaal (mengstaal) is samengesteld door met een grondboor bij elk van de 6 individuele bomen een bouwvoorstaal (0-25 cm) te nemen op 10 cm afstand van de stammen. Van deze bodemstalen en de bladstalen zijn de metaalconcentraties gemeten, om zo een eerste zicht te krijgen op het gedrag van de verschillende klonen onder condities van hoge metaalbeschikbaarheid. Om statistisch te onderzoeken wat de extractiemogelijkheden kan bepalen, werd een lineair regressie model opgebouwd. Als afhankelijk veranderlijke werd een waarde gekozen die een extractiehoeveelheid uitdrukt, namelijk de vermenigvuldiging van de volume-index ($VI = h \times d^2$) met de Cd-concentratie in het blad (Cd_{blad}). Deze waarde vertoonde een niet-normale verdeling, wat bij omzetten naar log-waarde verbeterde. Voor de onafhankelijk veranderlijken werd het effect van de blok, het type kruising (kruisingstype) en de Cd-concentratie in de bodem (Cd_{bodem}) nagegaan. De range van de Cd-bodemconcentraties werd genormeerd door er telkens de saneringnorm (0.2 mg per kg) van af te trekken.

$$\text{Model: } \log(VI \cdot Cd_{\text{blad}}) = \text{blok} + \text{kruisingstype} + Cd_{\text{bodem}} \quad \text{Verg 4.3}$$

- Na vier groeiseizoenen is per kloon een mengstaal van de houtige biomassa gemaakt en geanalyseerd naar zware metalen.

4) Selectie op basis van maximale extractiecapaciteit:

De optimale combinatie van de eigenschappen op het vlak van opnamemogelijkheden en productiemogelijkheden leiden tot een reeks klonen die hoge potenties vertonen qua extractiepotenties van zware metalen. Deze zullen in verder onderzoek worden meegenomen en kunnen mettertijd ingeschakeld worden in klassieke productierotaties.

4.5.1 Fenotypische selectie

De INBO-klonen vertegenwoordigen een grote verzameling aan klonen die in beperkt stamtal aanwezig zijn. Omwille van de grote bodemheterogeniteit, zijn ze in duplex op twee blokken aangeplant die een

verschillende graad van bodemvervuiling vertonen. Telkens werden blokjes van 25 stekken aangelegd. Dit liet toe om de impact van bodemkwaliteit los te koppelen van een beoordeling van de groei, de productiemogelijkheden en de reactie op eventuele ziektes. In eerste instantie is in elke blok een preliminaire selectie uitgevoerd, gebaseerd op de selectiecriteria slaging, uniformiteit, hoogtegroeï, vergeling en roestziekte. Gezien de beperkte aantallen per kloon en de heterogeniteit van het terrein was het niet mogelijk om een selectie uit te voeren volgens een op statistische methodes gebaseerde wijze. Om de impact van de bodemkwaliteit beter te kunnen inschatten, zijn alle beloftevolle klonen verder in het onderzoek betrokken, ook deze die niet noodzakelijk in beide blokken goed scoren.

Fenotypische selectie bij populier

De *Populus trichocarpa* klonen (T) vertonen de laagste score in de selectie (9%) (Tabel 4.15). Vooral de heterogeniteit was opvallend, wat kan wijzen op een hoge gevoeligheid voor bodemvariatie. De intraspecifieke kruisingen (TxT) geven meer interessante klonen (35%), en dat beeld is ook terug te vinden in de herhaling. De kruisingen van *P. trichocarpa* met *P. maximowiczii* (TxM) zijn over het algemeen goed geslaagd, maar vertonen een verschillend beeld in de twee blokken. Van de 100 INBO-populierenklonen worden er 26 (26%) onmiddellijk betrokken in het verdere productiviteitsonderzoek en de eerste ecochemische testen.

Tabel 4. 15. INBO-populierenklonen gegroepeerd volgens herkomst: resultaten van preliminaire testen

Type	Getest #	Geselecteerd		
		Blok I #	Blok II #	Blok I + II #
T	34	1	3	3 (9%)
T X T	48	9	12	17 (35%)
T X M	18	6	2	6 (33%)
Totaal	100	16	17	26 (26%)

Fenotypische selectie bij wilg

Klonen uit het *Salix alba* complex (A) deden het in het eerste groei-jaar gemiddeld minder goed dan de *S. viminalis*. Er zitten nochtans wel wat interessante klonen in deze groep (11%) (Tabel 4.16). De ouderklonen van *Salix viminalis* (V) vertonen diverse interessante klonen (60%), waarbij vooral de goede hoogtegroeï opvalt. De onderlinge kruisingen tussen deze klonen vertonen niet het verwachte resultaat: de

hoogtegroei is lager en er wordt iets meer vergeling en heterogeniteit geobserveerd. Toch kan 58 % van de klonen geselecteerd worden voor verdere analyse, omdat net deze klonen wel in herhaling konden geobserveerd worden, zodat de stabiliteit van hun (gunstige) eigenschappen kan vermoed worden. In blok II zijn voorlopig nog geen selecties kunnen uitgevoerd worden van de klonen uit het *Salix alba* complex (A) en de *S. viminalis*, wegens de konijnenschade. Van de 160 INBO-wilgenklonen worden er 56 (35%) onmiddellijk betrokken in het verder productiviteitsonderzoek en de eerste ecochemische testen.

Diverse wilgenklonen voornamelijk uit het *Salix alba* complex hebben in latere jaren evenwel een verbeterde groei vertoont of hebben zich erg goed hersteld van de konijnenschade. Verschillende klonen uit deze groep zijn dan ook later in het selectieproces weer meegenomen. Sommige klonen van de *Salix viminalis* x *S. viminalis* kruising vertoonden in de loop van het selectieproces eerder tegenvallende resultaten en verdwenen uit de selectie.

Tabel 4. 16. INBO-wilgenklonen gegroepeerd volgens herkomst: resultaten van preliminaire fenotypische testen

Type	Getest		Geselecteerd	
	#	Blok I #	Blok II #	Blok I + II #
A	90	9	-	10 (11%)
VxV	50	22	12	29 (58%)
V	20	12	-	12 (60%)
Totaal	160	43	12	51 (32%)

Er werd een grote ruimtelijke heterogeniteit geobserveerd, zowel qua groei als qua vergeling, wat waarschijnlijk wijst op een grote bodemheterogeniteit. De impact van de vergeling is verschillend voor populier en wilg: populieren die vergelen vertonen over het algemeen ook een verzwakte groei. Wilgen kunnen echter ondanks een niet geringe vergeling een zeer vitale hoogtegroei vertonen.

4.5.2 Biomassaproductiviteit

Resultaten biomassaschatting van de tweejarige INBO-populierenklonen

Aan alle 25 boompjes per geselecteerde kloon werden de diameter en de hoogte gemeten. De resultaten zijn samengevat in tabel X en vormen de basis voor de verdere volume-indexbepaling (tabel 4.17).

Tabel 4. 17. Gemiddelde diameter (mm) en gemiddelde hoogte van de INBO-populierenklonen op twee jaar

Kruisingstype	Diameter (mm) op 22 cm	Hoogte (cm)
T	21.0	220.2
TxT	22.6	228.9
TxM	20.7	231.1

Tabel 4. 18. Overzicht volume-index (met s: standaard deviatie) van de geselecteerde INBO-populierenklonen na de eerste twee groei-jaren per blok en per type kruising en vergelijking met de commerciële klonen

Blok	Type kruising	Aantal klonen	Gemiddelde volume-index (m ³ / ha)
I	T	1	15.63
	T x M	6	21.46 (s=11.16)
	T x T	9	32.00 (s=16.99)
	Alle samen	16	27.02 (s=15.21)
II	T	3	20.19 (s=5.29)
	T x M	2	14.84 (s=0.65)
	T x T	12	16.87 (s=5.29)
	Alle samen	17	17.22 (s=5.02)
Groot blok	D x N	5 klonen,	18.13 (s=4.98)

T: *Populus trichocarpa*; T x M: *P. trichocarpa x maximowiczii*; T x T: *P. trichocarpa x trichocarpa*

In blok I is de gemiddelde volume-index van de kruising *P. trichocarpa x trichocarpa* (TXT) de hoogste, en dit nogal afgetekend; in blok II is dat niet zo, daar is *Populus trichocarpa* (T) beter, maar dat is niet zo afgetekend. Een voorzichtige conclusie zou kunnen zijn dat de kruising T x T hogere productiepotenties

heeft, indien de bodemomstandigheden niet te slecht zijn en dat T beter bestand is tegen slechte bodemomstandigheden. Anderzijds behoren de 2 best presterende klonen van blok II toch ook tot de kruising T x T.

Indien we de volume-index van de INBO-populieren vergelijken met die van de commerciële populierenklonen (op plantafstand 60 cm), dan zien we dat deze laatste presteren op het niveau van blok II. Deze commerciële klonen zijn aangeplant op een groot blok, dat gelegen is tussen blok I en II van de INBO-populieren. Dat blok is 2 ha groot en de populieren zijn er ad random in 4 herhalingen aangeplant, dus verspreid over verschillende bodemkwaliteiten. Dit laat veronderstellen dat er bij de INBO-populieren klonen aanwezig zijn die onder vergelijkbare bodemomstandigheden beter zullen produceren.

Slechts 6 geselecteerde INBO-populierenklonen bevinden zich op beide blokken. De rangorde van productieprestatie is niet steeds consequent, d.w.z. dat niet steeds dezelfde klonen in beide blokken beter of zwakker presteren.

Resultaten biomassaschatting van de tweejarige INBO-wilgenklonen

Aan alle 25 boompjes per geselecteerde kloon werden de diameter en de hoogte gemeten. De resultaten zijn samengevat in tabel 4.19 en vormen de basis voor de verdere volume-indexbepaling (tabel 4.20). In tabel 4.19 is reeds de opvallende inhaalbeweging van de S. alba-groep merkbaar, qua diameter en hoogte.

Tabel 4. 19. Gemiddelde diameter (mm) en gemiddelde hoogte van de INBO-wilgenklonen op twee jaar

Kruisingstype	Diameter (mm) op 22 cm	Hoogte (cm)
A	23.6	301.8
VxV	14.2	219.1
V	16.8	244.4

Tabel 4. 20. Overzicht volume-index (met s: standaard deviatie) van de geselecteerde INBO-wilgenklonen na de eerste twee groei-jaren per blok en per type kruising en vergelijking met commerciële klonen

<i>Blok</i>	<i>Type kruising</i>	<i>Aantal klonen</i>	<i>Gemiddelde volume-index (m³ / ha)</i>
I	A	12	38.82 (s=13.66)
	V x V	21	11.44 (s=3.52)
	V	14	28.13 (s=9.82)
	Alle samen	47	23.40 (s=14.54)
II	A	5	31.86 (s=9.44)

	V x V	12	17.22 (s=6.70)
	Alle samen	17	21.53 (s=10.02)
Groot blok	F, T x V, V x S, D	4	16.1 (s=3.7)

De INBO-populieren op blok I vertonen gemiddeld een betere groei dan op blok II, we vermoeden daar ook een lagere Cd-besmetting. Opvallend is dat de standaarddeviatie op blok I groter is.

In beide blokken valt het op dat de *S. alba* kruisingen een hoge volume-index hebben, die gemiddeld tot 2 à 3 maal de volume-index van de hybriden *S. viminalis x viminalis* kan bedragen. De ouderklonen van *S. viminalis*, die alleen in blok I bewaard zijn gebleven, presteren intermediair.

Indien we de volume-index van de INBO-wilgen vergelijken met die van de commerciële wilgenklonen (op plantafstand 60 cm), dan zien we dat deze laatste presteren op het niveau van de *S. viminalis x viminalis*-selecties. Nochtans zijn de commerciële klonen het resultaat van een selectie specifiek voor korteomloophout. Zij zijn het resultaat van diverse genetische combinaties. Maar geen enkele maakt gebruik van de genetische inbreng van *S. alba*.

Resultaten biomassaschatting van de vierjarige INBO-populierenklonen

In Tabel 4.21 zijn de productieresultaten na vier jaar van de INBO-populierenklonen samengevat. Hier is duidelijk dat de meest beloftevolle klonen op het vlak van biomassa-productie te vinden zijn bij de kruisingen *Populus trichocarpa x trichocarpa*. Daar haalden verschillende klonen in blok I een productiviteit van meer dan 10 ton DS per jaar en per hectare. Ook de kruising van (*P. trichocarpa x maximowiczii*) met *P. deltoides* is succesvol, maar daar was slechts één kloon geselecteerd, wat geen representatief beeld biedt.

Tabel 4. 21. Biomassaproductiviteit (DS per jaar en per ha, gemiddeld, maximum en minimum) van de INBO-populierenklonen na een vierjarige rotatie, gerangschikt per blok en per kruisingstype

Blok	Kruisingstype	Aantal klonen	DS / jr. ha Naar opp. basis Gemidd (min – max)	DS / jr. ha Naar prod./boom Gemidd (min – max)
Blok I	T	2	4.7 (4.3 – 5.2)	6.3 (6.2 – 6.4)
	T x T	8	7.1 (4.6 – 13.1)	8.5 (6.1 – 14.7)
	T x M	4	4.7 (3.5 – 5.8)	4.9 (3.8 – 6.2)
	Dx(TxM)	1	10.1	9.9

	Gemiddelde		6.3	7.3
Blok II	T	3	5.9 (4.5 – 7.9)	6.5 (4.5 - 9.2)
	T x T	15	4.4 (2.5 – 7.3)	4.6 (2.7 – 7.5)
	T x M	1	4.8	5.1
	Gemiddelde		4.6	5.0

Resultaten biomassaschatting van de vierjarige INBO-wilgenklonen

In Tabel 4.22 zijn de productieresultaten van de INBO-wilgenklonen samengevat. Hier is duidelijk dat de meest beloftevolle klonen op het vlak van biomassa-productie te vinden zijn bij de kruisingen op basis van *Salix alba*, waar een productieniveau van meer dan 10 ton droge stof per jaar en per hectare wordt gehaald door sommige klonen. Ook bij *Salix viminalis* werden behoorlijke productieniveaus behaald. De hybriden *S. viminalis x viminalis* presteren eerder zwak. Globaal blijkt dat de wilgen een iets lagere productiviteit vertonen dan de populieren.

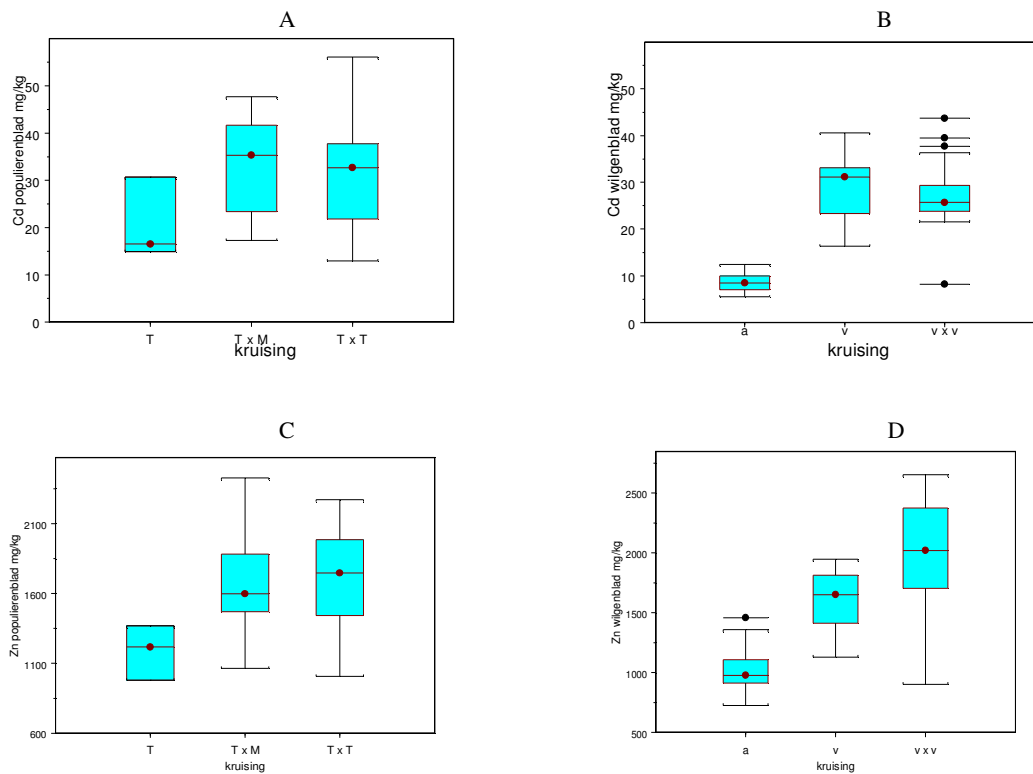
Tabel 4. 22. Biomassaproductiviteit (DS per jaar en per ha, gemiddeld, maximum en minimum) van de INBO-wilgenklonen na een vierjarige rotatie, gerangschikt per blok en per kruisingstype

Blok	Kruisingstype	Aantal klonen	DS / jr. ha Naar opp. basis Gemidd (min – max)	DS / jr. ha Naar prod./boom Gemidd (min – max)
Blok I	A	14	5.8 (3.5 – 10.0)	7.1 (3.6 – 15.6)
	V	9	5.3 (3.6 – 7.5)	5.7 (3.6 – 7.8)
	V x V	1	2.8	3.0
	Gemiddelde		5.5	6.4
Blok II	A	7	4.1 (2.9 – 6.7)	4.5 (3.2 – 7.0)
	V x V	5	3.9 (2.3 – 4.7)	4.2 (2.7 – 5.0)
	Gemiddelde		4.0	4.4

4.5.3 Opnamecapaciteit zware metalen

Opnamecapaciteit van Cd en Zn in de bladeren opgemeten na tweejarige groei

Wanneer de concentraties aan Cd in de bladeren bestudeerd wordt, blijkt de concentratie opgemeten in de populierenbladeren hoger te zijn dan deze van de wilgenbladeren (Figuur 4.10 A en B). *Populus trichocarpa*-herkomsten nemen het minst Cd op hun blad. Bij de wilgen nemen de *Salix alba* beduidend minder Cd op in het blad. Het extractiepotentieel zal dus verder bepaald worden door de biomassa productie. Beschouwen we de Zn-concentraties (Figuur 4.10 C en D), dan zien we bij de populieren globaal een zelfde concentratiepatroon als voor Cd. Bij de wilgen blijken de *S. viminalis x viminalis* hogere bladconcentraties zink te hebben

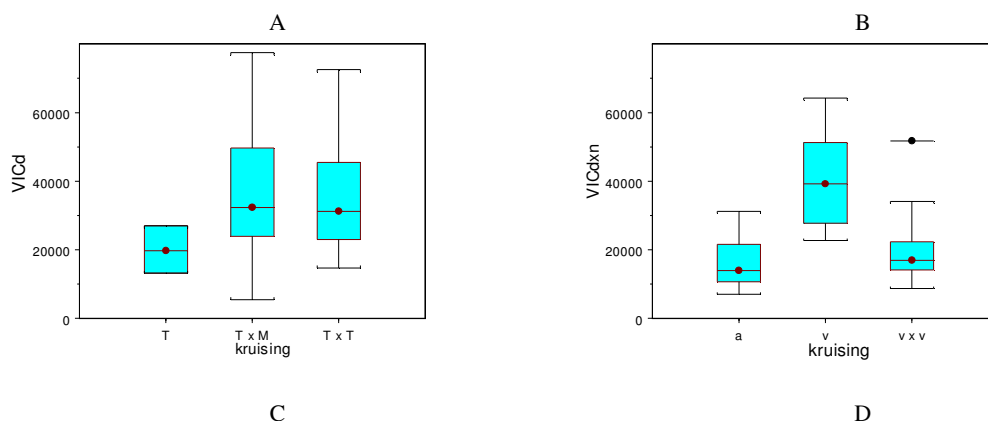


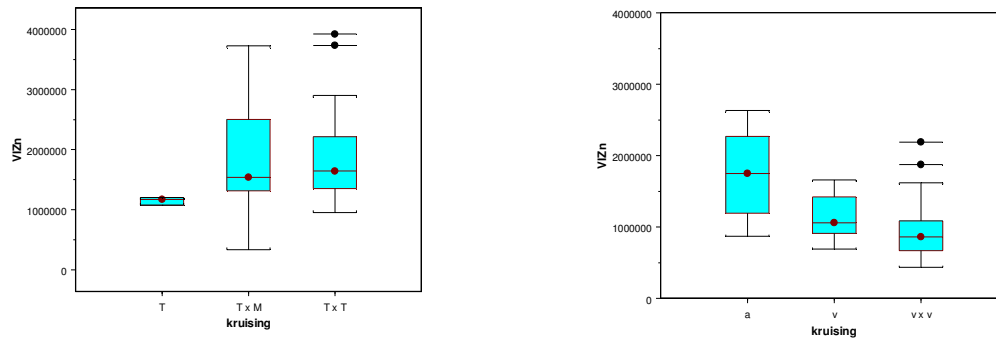
Figuur 4. 10. Boxplots van de concentratie aan Cd opgemeten in de bladeren van de INBO-populierenklonen (A) en de INBO-wilgenklonen (B), alsook deze van Zn in de bladeren van de INBO-populierenklonen (C) en de INBO-wilgenklonen (D), resultaten telkens gegroepeerd per kruisingstype

Uit de modelanalyse blijkt dat bij populier de blok niet significant is (P-waarde > 0.05), doch ook niet het type kruising, hoewel duidelijk te zien is dat de kruising TxM voor een betere extractie van Cd instaat en vervolgens de kruising TxT. Bovendien blijken binnen deze kruisingen enkele specifieke klonen heel hoog te scoren. De groep T (herkomsten) scoort duidelijk lager. (Figuur 4.11.A.). De concentratie in de bodem is eveneens van significante invloed op het extractiepotentieel.

Bij wilg blijkt het effect van de blok wel significant. Ook het effect van de groep *Salix viminalis* is significant ten opzichte van *Salix viminalis* x *S. viminalis* en *Salix alba*, maar deze twee laatste niet ten opzichte van elkaar (Figuur 4.11.B). De concentratie in de bodem is dan weer niet significant.

Uit Figuur 4.11. blijkt dat het extractiepotentieel voor Cd en Zn van de populieren en de wilgen globaal te vergelijken zijn. Bij de populieren is duidelijk dat de kruisingen TxM en TxT hogere extractiepotenties vertonen voor Cd en Zn. Bij de wilgen zitten de beste mogelijkheden voor Cd-extractie bij de *S. viminalis*. Merkwaardig is evenwel het inhaalmanoeuvre van de groep *Salix alba*. Dit wijst op de hoge biomassa-productie van deze kruising, wat hun extractiepotentieel voor Cd op dezelfde hoogte brengt van VxV - kruisingen. Voor Zn komt de extractiepotentie zelfs boven die van de *S. viminalis* (V) uit.





Figuur 4. 11. Boxplot van het Cd-extractiepotentieel (VI x Cd_{blad}) van de INBO-klonen, per kruisingstype. INBO-populieren (A), INBO-wilgen (B), en van het Zn-extractiepotentieel (VI x Zn_{blad}) van de INBO-klonen, per kruisingstype. INBO-populieren (A), INBO-wilgen (B)

Opnamecapaciteit van Cd en Zn in het hout opgemeten na een vierjarige cyclus

Een overzicht van de concentraties aan Cd en Zn in het vierjarig hout wordt weergegeven in Tabel 4.23. Door de ongelijke verdeling van het aantal klonen per kruisingstype is het niet mogelijk eenduidige en statistisch onderbouwde conclusies te trekken uit onderstaande cijfers. Vooral bij de populieren blijken er in alle kruisingstypes beloftevolle klonen te zitten. Bij de wilgen blijken de A x A-kruisingen minder hoge concentraties Cd en Zn in het hout op te slaan. Deze waarden vormen de basis voor de berekening van het reëel extractiepotentieel van de verschillende klonen.

Tabel 4. 23. Gemiddelde (Minimum-maximum) concentratie (mg kg⁻¹) aan Cd en Zn in het vierjarig hout van de INBO-populieren- en wilgenklonen na een vierjarige rotatie, gerangschikt per blok en per kruisingstype

	Kruisingstype	Blok	Aantal klonen	Concentratie Cd hout mg/kg	Concentratie Zn hout mg/kg
Populier	T	I	2	13.2 (9.9 – 16.4)	420 (409 – 431)
	T X T	I	8	7.8 (5.8 – 10.3)	293 (220 – 382)
	T X M	I	4	12.0 (6.6 – 19.7)	330 (227 – 501)
	D(T x M)	I	1	8.8	271
	T	II	3	14.4 (13.3 – 15.4)	422 (365 – 507)
	T X T	II	15	15.2 (10.5 – 20.4)	393 (221 – 627)

	T X M	II	1	19.3	403
		I + II		12.7	396
Wilg	A	I	14	7.1 (2.8 – 12.4)	283 (138 – 391)
	V	I	9	20.6 (14.3 – 25.9)	549 (380 – 769)
	V X V	I	1	18.9	597
	A	II	7	7.1 (3.0 – 10.9)	250 (164 – 329)
	V x V	II	5	22.5 (17.6 – 28.7)	632 (501 – 724)
		I + II		13.1	403

-

4.5.4 Selectie op basis van maximale extractiecapaciteit

Het echte extractiepotentieel wordt vertaald door de combinatie van de gerealiseerde biomassa-productie met de concentratie aan Cd en Zn in het hout. De voorkeur wordt hierbij gegeven aan klonen die een hoge biomassa-productiviteit koppelen aan een matige concentratie van zware metalen in hun hout. Immers deze klonen verzekeren een vrij hoge extractie aan metalen, gekoppeld aan een hoge houtopbrengst en leveren een biomassa-product dat globaal niet te zwaar verontreinigd is en dus minder problemen zal geven bij verdere naverwerking tot energie via verbranding, vergassing of pyrolyse.

In dit luikje worden de jaarlijkse extractiehoeveelheden van Cd en Zn bestudeerd via de houtoogst (zonder bladoogst), van het gemiddelde per kruisingstype en van de best presterende kloon per kruisingstype. De berekening is gebaseerd op de berekening van de gemiddelde biomassaopbrengst naar boomproductie.

Extractiecapaciteiten van INBO-populierklonen

Doordat de verontreinigingsgraad in beide blokken niet gelijk is en doordat niet alle klonen in beide blokken hebben kunnen doorgroeien, zijn eenduidige conclusies vooralsnog niet te trekken. Toch liet het ons toe om enkele zeer beloftevolle klonen kunnen geselecteerd worden. Vooral in de TxT groep bevinden

zich klonen die een hoge biomassaproductie koppelen aan een vrij hoge concentratie aan Cd en Zn (Tabel 4.24). Deze klonen zullen zeker in verder onderzoek betrokken kunnen worden.

Tabel 4. 24. Extractiepotentieel aan Cd en Zn in het vierjarig hout (g / jr . ha, gemiddeld, maximum) van de INBO-populieren na een vierjarige rotatie, gerangschikt per blok en per kruisingstype

Kruisingstype	Blok	Aantal klonen	Extractie Cd via houtoogst g / jr . ha (gemidd / max)	Extractie Zn via houtoogst g / jr . ha (gemidd / max)
T	I	2	83 / 105	2649 / 2761
T X T	I	8	67 / 126	2552 / 4446
T X M	I	4	57 / 75	1573 / 1902
D(T x M)	I	1	87	2693
T	II	3	95 / 142	2707 / 3370
T X T	II	15	69 / 101	1736 / 2951
T X M	II	1	99	2063

Deze extractiepotenties maken het mogelijk om een berekening te maken die een idee geven van de tijd nodig om via fyto-remediatie met KOH de bodem te saneren van de huidige verontreinigingsgraad van 5 ppm Cd naar de norm van 2 ppm Cd. We gaan hier bij uit van een verontreinigde bouwvoor van 25 cm en een bulkdensiteit van 1400 kg per m³. Bovendien gaan we uit van een lineaire afname van de verontreiniging in de tijd, wat niet noodzakelijk zo hoeft te zijn. Indien hiervoor de best presterende populier uit de TxT-kruisingsgroep wordt ingezet, zou hiervoor 83 jaar teelt nodig zijn. Hierbij werd de mogelijkheid van oogsten met blad buiten beschouwing gelaten.

Extractiecapaciteiten van INBO-wilgenklonen

Gelijkaardig als voor de INBO-populierenklonen is ook hier de verontreinigingsgraad in beide blokken niet gelijk en hebben niet alle klonen in beide blokken kunnen doorgroeien, waardoor eenduidige conclusies vooralsnog niet te trekken zijn. (Tabel 4.25). Toch is duidelijk dat enkele zeer beloftevolle klonen kunnen geselecteerd worden. Vooral in de *Salix alba* (A) groep bevinden zich klonen die een hoge biomassaproductie koppelen aan een vrij hoge concentratie aan Cd en Zn koppelen. Deze klonen zullen zeker in verder onderzoek betrokken kunnen worden.

Tabel 4. 25. Extractiepotentieel aan Cd en Zn in het vierjarig hout (mg/kg, gemiddeld, maximum) van de INBO-wilgenklonen na een vierjarige rotatie, gerangschikt per blok en per kruisingstype

Kruisingstype	Blok	Aantal klonen	Extractie Cd via houtoogst g / jr . ha (gemidd / max)	Extractie Zn via houtoogst g / jr . ha (gemidd / max)
A	I	14	53 / 193	2051 / 5370
V	I	9	116 / 152	3116 / 4183
V X V	I	1	57	1785
A	II	7	30 / 57	1109 / 1760
V x V	II	5	92 / 110	2602 / 3226

Deze extractiepotenties maken het mogelijk om een berekening te maken die een idee geven van de tijd nodig om via fyto-remediatie met KOH de bodem te saneren van de huidige verontreinigingsgraad van 5 ppm Cd naar de norm van 2 ppm Cd. We gaan hier bij uit van een verontreinigde bouwvoor van 25 cm en een bulkdensiteit van 1400 kg per m³. Bovendien gaan we uit van een lineaire afname van de verontreiniging in de tijd, wat niet noodzakelijk zo hoeft te zijn. Indien hiervoor de best presterende populier uit de *S. alba* - kruisingsgroep wordt ingezet, zou hiervoor 54 jaar teelt nodig zijn. Hierbij werd de mogelijkheid van oogsten met blad buiten beschouwing gelaten.

4.6 Impact van bodembeheersmaatregelen

4.6.1 Compost

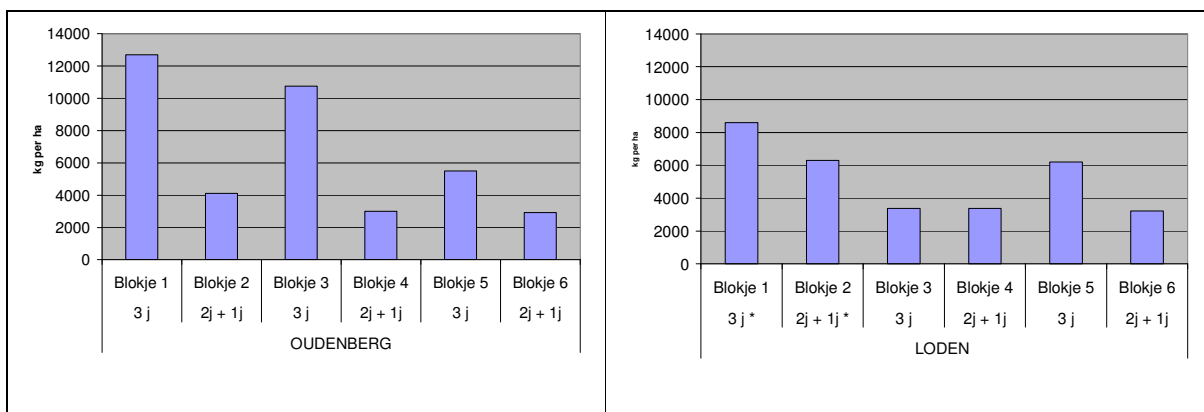
4.6.2 Bemesting

4.7 Onderzoek naar impact oogsttijdstip op productie en terugschieten van kortoomloophout

Naast biomassa-productie, is extractie van de zware metalen uit de vervuilde bodem een doelstelling van de aanleg van kortoomloophout in deze regio. Aangezien de grootste opslag van de zware metalen gebeurt in de bladeren, zijn we in een oriënterende proef nagegaan wat het effect is van oogsten met blad en wat het effect is van herhaaldelijk (jaarlijks) oogsten.

De proef werd uitgevoerd aan een blok populier kloon Oudenberg en een blok wilg kloon Loden in blok I. Elke blok werd in 6 gelijke subblokken verdeeld. Bij de kloon Loden waren de subblokken 1 en 2 in 2007 bemest. In maart 2008, op tweejarige leeftijd, werden de subblokken 2, 4 en 6 van elke kloon geoogst

(zonder blad). Na de hergroei gedurende het seizoen van 2008, werden begin oktober alle subblokken geoogst, met blad. Alle subblokken hadden dan een wortelstelsel van drie jaar oud. Subblokken 1, 3 en 5 waren bovengronds dan drie jaar oud, subblokken 2, 4 en 6 waren bovengronds dan één jaar oud. Bij elke oogst werd de biomassa (kg droge stof per ha) bepaald. In figuur 4.12 zijn de resultaten verzameld van beide oogstbeurten. Bij de populier Oudenberg is duidelijk te zien dat de groei in het derde jaar zeer belangrijk is en dat frequent oogsten nefast is voor de productie. Populier vertoont dan ook een latere groeiculminatie. Bij de wilg Loden is dit veel minder uitgesproken. Door de snellere jeugdgroei van wilg is frequent oogsten beter realiseerbaar. Er is een gunstig effect te zien van de bemesting op wilg. Toch blijkt de productie van populier (na 3 jaar) veelal hoger dan de wilg.



Figuur 4. 12. Biomassaproductie (kg DS per ha) na 3 jaar groei: met terugsnijden en na 2 jaar en met ononderbroken groei. *: bemeste percelen

Om een beeld te krijgen van het heruitschieten na oogst, werd begin juli van het eerste groei-jaar na oogsten het aantal scheuten en de hoogte van de hoogste scheut gemeten. Dit werd uitgevoerd in 2008 aan de planten die geoogst werden in maart 2008, dus zonder blad en in 2009 aan de planten die geoogst werden in oktober 2008, dus met blad. Uit deze resultaten (Tabel 4.26) blijkt dat zowel bij de populier als de wilg dat oogsten begin (7) oktober (met blad) een negatieve invloed heeft op de hergroei, op het vlak van de hoogte. Het aantal gevormde scheuten werd er blijkbaar niet door beïnvloed.

Tabel 4. 26. Hergroei (hoogte en aantal scheuten) van Oudenberg en Loden in het eerste groei-jaar na oogst zonder (2008) en met (2009) blad. *: bemest perceel

Kloon	Subblok	2008		2009	
		hoogte	n	hoogte	n

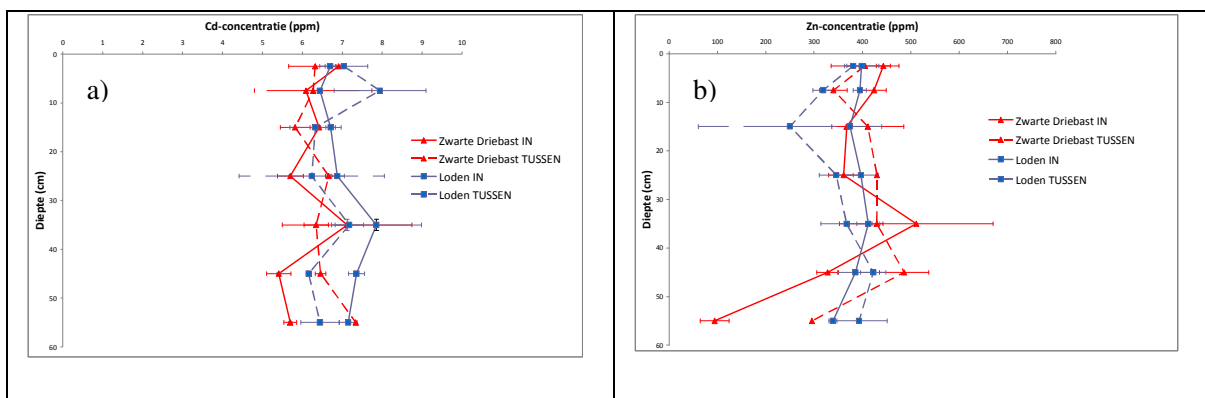
Oudenberg	1	101	4	56	6
	2			49	5
	3	95	3	51	4
	4			49	4
	5	82	3	50	3
	6			44	3
Loden	1 *	178	8	90	8
	2 *			66	12
	3	124	7	35	9
	4			79	9
	5	154	8	51	8
	6			81	11

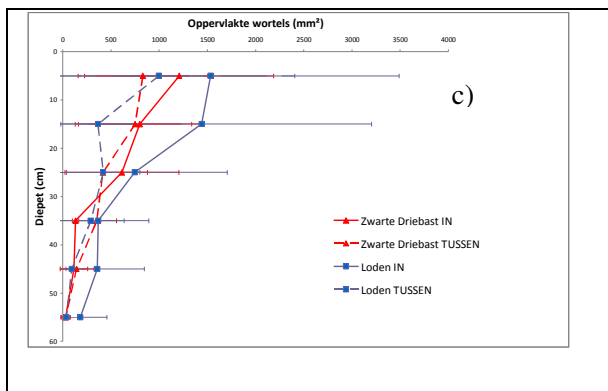
4.8 Bewortelingsonderzoek van korteomloophout

Doelstelling van dit onderzoek was om een antwoord te vinden op volgende onderzoeksvragen:

- Op welke diepte wortelen de bomen? Zitten hun wortels preferentieel niet of wel in lagen met zware metalen?
- We zien een divers patroon in opnamegedrag tussen de klonen. Heeft de mate van opname te maken met de diepte waarop zich de wortels bevinden?

Hiertoe voerden we een heel gericht onderzoek aan wilg in de wilgenscreeningplot: namelijk aan de klonen Zwarte Driebast en Loden, die beiden een hoge biomassaproductie vertonen, maar waarbij de eerste een lage metalenconcentratie in zijn biomassa heeft en de tweede juist een hoge metalenconcentratie.





Figuur 4.13. Cd (a)-, Zn (b)-concentratie en worteloppervlakte (c) per bodemlaag van de klonen Zwarte Driebast en Loden in de wilgenscreeningplot.

Voor het wortelonderzoek werden grondstalen genomen op 3 plaatsen in de rij en op 3 plaatsen tussen de rij. Geschrankt hiermee werden op 2 plaatsen in de rij en op 2 plaatsen tussen de rij stalen genomen voor de bodemanalyse. De stalen werden genomen met een wortelboor die cilindrische stalen van 30 cm lengte en 5 cm diameter in een plasticen omhulsel oplevert. De stalen zijn aldus gemakkelijk in te vriezen voor bewaring en in schijven te verdelen voor verdere verwerking. Er werden op elke monsterplaats telkens 2 stalen onder elkaar genomen (0 – 30 cm, 30 – 60 cm) die later in schijven van 10 cm zijn verdeeld en geanalyseerd. De wortels zijn voorzichtig uitgewassen op een fijne zeef en gesorteerd volgens dikte. Voor de verdere verwerking is gebruikgemaakt van beeldanalyse. De beelden worden vastgelegd met een Leica DFC 295 en vervolgens verwerkt met het programma QWIN, waarbij een aangepaste macro is ontworpen. Aldus is de oppervlakte van de wortels gemeten.

De wortelstalen zijn genomen in september 2008.

Figuur 4.13 verzamelt de resultaten van de bodem- en wortelanalyses. De Cd-concentratie in de bodem schommelt tussen 5 en 8 ppm en vertoont geen opvallende daling met diepte. Onder de kloon Loden zien we een licht verhoogde concentratie in vergelijking met de bodem onder Zwarte Driebast. De Zn-concentratie schommelt tussen 250 en 500 ppm, met een licht verhoogde concentratie onder de kloon Zwarte Driebast, behalve op een diepte van 50 à 60 cm, waar de concentratie opvallend daalt. De worteloppervlakte is het hoogste bovenaan en daalt geleidelijk met de diepte, een patroon dat in de lijn van de algemene verwachtingen ligt. Tussen de rijen vertonen beide klonen een gelijkwaardige

oppervlakte. Maar in de rij vormt de kloon Loden een beduidende hogere oppervlakte wortels tot een diepte van 20 cm. Dit kan een verklaring zijn waarom de kloon Loden een hogere concentratie aan zware metalen in zijn biomassa opstapelt.

Referentie

Armstrong, A., Johns, C., Tubby, I., 1999. Effects of spacing and cutting cycle on the yield of poplar grown as an energy crop. *Biomass and Bioenergy*, 17, 305-314.

Pontailier, J.Y., Ceulemans, R., Guittet, J., Mau, M., 1997. Linear and non-linear functions of volume-index to estimate woody biomass in high density young poplar stands. *Ann Sci For* 54, 335-345.