

# **LCA-quickscan vergelijking onkruidbestrijdingsmethoden**

In opdracht van Plant Research International – Wageningen UR

**Eindrapport**

**Niels Jonkers**

Amsterdam, 31 juli 2012



IVAM

research and consultancy on sustainability

Plantage Muidersgracht 14 - 1018 TV Amsterdam - Postbus 18180 - 1001 ZB Amsterdam  
Tel. 020-525 5080, Fax 020-525 5850, internet: [www.ivam.uva.nl](http://www.ivam.uva.nl), e-mail: [office@ivam.uva.nl](mailto:office@ivam.uva.nl)



## Colofon

ISO Doc. nr.	1217v
Titel	LCA-quickscan vergelijking onkruidbestrijdingsmethoden
Auteur	N. Jonkers
Interne review door	H. van Ewijk (23 juli 2012)

Het project 'LCA-quickscan vergelijking onkruidbestrijdingsmethoden' is uitgevoerd door IVAM, in opdracht van:

PRI

Contactpersoon opdrachtgever:  
Chris van Dijk

Voor meer informatie over deze rapportage kunt u contact opnemen met:  
Niels Jonkers, [njonkers@ivam.uva.nl](mailto:njonkers@ivam.uva.nl) of 020-525 5080

Gegevens uit deze rapportage mogen worden overgenomen mits onder uitdrukkelijke bronvermelding. IVAM UvA B.V. aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

# Inhoud

1.	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel	5
2.	Methode	6
2.1	Uitgangspunten	6
2.2	Afbakening	6
2.3	Aanpak	7
2.4	De LCA-methode ReCiPe	8
2.5	Waterkwaliteitsnormen en LCA	9
2.6	Functionele eenheid	9
3.	Inventarisatie	10
3.1	Scenario's	10
3.2	Algemene data	11
3.3	Specifieke verbruiksgegevens	12
3.4	Milieuedrag en toxiciteit glyfosaat en AMPA	14
4.	Resultaten	16
4.1	Scores per impactcategorie	16
4.2	Totaalscores	18
5.	Discussie	20
5.1	Verschillen ten opzichte van 2005	20
5.2	Beperkingen van LCA	20
6.	Conclusies	21
	Referenties	22
	Bijlage 1 Gebruikte data voor het USES-LCA model	23
	Bijlage 2 Korte beschrijving van de milieu-impactcategorieën	24
	Bijlage 3 LCA-resultaten per impactcategorie	26

# 1. Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De milieupact van onkruidbestrijdingsmethoden is in Nederland al vele jaren een onderwerp van discussie. Recent is deze discussie weer opgelaaaid, mede door een aangenomen motie in de Tweede Kamer voor een verbod van het gebruik van glyfosaathoudende middelen voor niet commercieel gebruik (motie Grashoff).

Vanwege technische vooruitgang en de ontwikkeling van wetenschappelijke kennis omtrent onkruidbestrijdingstechnieken, is het belangrijk de onderlinge vergelijking van deze methodes met enige regelmaat te updaten.

IVAM heeft de afgelopen jaren meerdere LCA-studies uitgevoerd naar de milieuprestatie van verschillende onkruidbestrijdingsmethoden op verhardingen, met behulp van de LCA-methode <sup>1</sup>. Plant Research International (PRI) heeft IVAM gevraagd opnieuw een LCA-vergelijking uit te voeren op basis van de meest recente inzichten, zowel op het gebied van LCA berekeningen als input gegevens van de verschillende technieken. PRI zal de uitkomsten gebruiken bij het invullen van de criteria voor de inzet van niet-chemische en chemische onkruidbestrijdingsmethoden binnen het DOB systeem ([www.dob-verhardingen.nl](http://www.dob-verhardingen.nl)). De voorgenomen aanscherping van de DOB richtlijnen (DOB 2.0) zal gevalideerd worden op basis van de LCA uitkomsten.

## 1.2 Doel

De doelstelling van het project is om door middel van state-of-the-art LCA-berekeningen de milieupact te bepalen en te vergelijken van in Nederland meest gangbare onkruidbestrijdingstechnieken op verhardingen.

De meest recente beschikbare praktijkgegevens worden gebruikt om de actuele stand van zaken zo correct mogelijk weer te geven.

---

<sup>1</sup> onder andere: Saft, R.J.; Staats, N. “Beslisfactoren voor onkruidbestrijding op verhardingen (LCA, risico-analyse, kostenanalyse en hinderbeleving””, voor RIZA, 2002; en Saft, R.J. “Update milieuanalyse onkruidbestrijding op verhardingen”, voor RIZA en VEWIN, 2005.

## 2. Methode

Voor het vergelijken van de milieuprestatie van de verschillende bestrijdingstechnieken is gekozen voor de LCA-methode. Met deze methode worden alle fasen in de levenscyclus van het product in kaart gebracht, en worden alle inputs (materialen, energie) en outputs (producten, emissie, afval) in elke fase gekwantificeerd. Daarna worden deze inputs en outputs gekoppeld aan een serie milieueffecten. Deze milieueffecten kunnen vervolgens via normalisatie en weging worden opgeteld tot een totale milieuscore.

Op deze manier wordt inzicht verkregen in welke fase van de levenscyclus van het product de grootste milieudruk optreedt, wat de meest relevante milieueffecten zijn, en kunnen verschillende scenario's met elkaar vergeleken worden.

### 2.1 Uitgangspunten

Voor het inrichten van de LCA-quickscan dienen eerdere IVAM studies naar de milieuprestatie van onkruidbestrijding op verhardingen als uitgangspunt, waaronder de studie in opdracht van Rijkswaterstaat "Onkruidbestrijding op verhardingen" uit 2002 en de update hiervan uit 2005. In eerste instantie wordt uitgegaan van aannames uit het rapport van 2005, waarna een check wordt gedaan of er recentere data uit de praktijk of in actuelere databases voor handen zijn.

Wat betreft voorgronddata wordt hoofdzakelijk uitgegaan van het rapport "Kosten onkruidbeheer op verhardingen" (PRI, 2012). De gegevens die voor de verschillende onkruidbestrijdingstechnieken in dat rapport worden gepresenteerd waren aangeleverd door, en besproken met, diverse groenaanemers en producenten van machines. De benodigde data hebben betrekking op bestrijdingsfrequentie, energieverbruik van de opererende machines (LPG voor de brander en hete lucht, diesel voor heet water en borstelmachine), waterverbruik voor de heet watermethode, en de mogelijke slijtage van de stenen en borstels door borstelen. Voor de chemische bestrijding is het chemicaliënverbruik benodigd, alsmede gegevens omtrent afspoeling en 'environmental fate' (afbraak, verspreiding) van de chemicaliën.

Voor data aangaande de benodigde behandelingsfrequentie om te voldoen aan de gewenste beeldkwaliteit is uitgegaan van data van PRI in tabel 2 uit "Kosten onkruidbeheer op verhardingen". Het gaat hierbij om beeldkwaliteit B volgens de CROW-kwaliteitscatalogus openbare ruimte 2010. De door PRI opgegeven frequenties liggen 0,5 tot 2 beurten per jaar hoger dan de frequenties gehanteerd door CROW (2010).

### 2.2 Afbakening

De onkruidbestrijdingstechnieken die worden onderzocht zijn de volgende:

- borstelen
- branden
- hete lucht
- heet water (volvelds toepassing en sensorgestuurd)
- combinatie machine met heet water, hete lucht en infrarood
- chemische bestrijding (sensorgestuurd, schijfvernevelaar en onkruidstrijker)

Voor chemische onkruidbestrijding worden meerdere varianten opgenomen voor de mate van afspoeling (analoog aan de eerdere LCA-studie uit 2005).

Naast brandstof-, chemicaliënverbruik en emissies worden ook verbruiksmiddelen (bijvoorbeeld borstels) en eventuele slijtage van bestrating beschouwd.

In de berekeningen wordt de volledige levenscyclus van producten beschouwd: de volledige productieketen van materialen en brandstoffen alsmede de afvalverwerkingsfase wordt meegenomen.

De verwerking van het verwijderde onkruid / veegafval valt buiten de studie.

De berekeningen hebben betrekking op een specifieke onkruidbestrijdingsmethode. In de praktijk worden soms meerdere technieken ingezet binnen een gebied, dergelijke combinaties van technieken zijn niet doorgerekend.

## 2.3 Aanpak

De LCA-berekeningen hebben de vorm van een quickscan. Dat betekent dat de studie beperkt blijft tot de belangrijkste processen, beoordeeld op basis van de (bij PRI en IVAM) beschikbare data.

Voor achtergrondprocessen wordt uitgegaan van de procesbeschrijvingen uit de internationale LCA-databases.

Bij de uitvoering van de LCA-quickscan wordt in principe de ISO14040/14044 procedure (“Life Cycle Assessment – Principles and framework & Requirements and guidelines”) gevolgd. Er is vanwege de beperkte omvang van de studie echter geen externe review door een andere LCA-expert of door andere stakeholders uitgevoerd.

De vier standaard-fases van een LCA-studie worden doorlopen:

### 1. Doelbepaling en afbakening

In de eerste fase worden onder andere de systeemgrenzen bepaald: welke processen worden meegenomen in de berekeningen?

Aandachtspunten zijn de functionele eenheid (bijv. gewenste beeldkwaliteit), het al dan niet meenemen van de werktuigdrager, het al dan niet meenemen van de productie en afdanking van de onkruidbestrijdingsunit, en of kan worden uitgegaan van een gemiddelde dosering (en dus gemiddeld energieverbruik/emissies) per keer.

### 2. Inventarisatie

Belangrijke data die geïnventariseerd moeten worden zijn in ieder geval energie- en chemicaliënverbruik (LPG, diesel, etc.), waterverbruik, behandelingsfrequentie, slijtage van de bestrating.

Voor generieke data (‘achtergrondprocessen’ zoals de emissies door brandstofproductie en emissie door energieverbruik) beschikt IVAM daarnaast over uitgebreide databases, waaronder de internationaal veel gebruikte Ecoinvent 2.2.

### 3. Karakterisatie

De data uit de inventarisatie worden in de LCA-software (SimaPro 7.3) ingevoerd, waarna alle emissies en grondstoffenverbruik worden gekoppeld aan een serie milieueffectcategorieën. Deze categorieën bestaan uit onder meer klimaatverandering, aquatische ecotoxiciteit, humane toxiciteit, aantasting ozonlaag en uitputting van fossiele grondstoffen. De rekenmethode die gebruikt zal worden is recentelijk in opdracht van het Ministerie van VROM ontwikkeld en is genaamd ReCiPe. De ReCiPe methode is een opvolger van de CML methode, maar de methodes zijn niet direct met elkaar vergelijkbaar. ReCiPe wordt gebruikt omdat het de ‘state-of-the-art’ op LCA-gebied vertegenwoordigt.

Er wordt specifiek aandacht besteed aan de modellering van de effecten van glyfosaat-emissies in oppervlaktewater. De uitgangspunten, data en berekeningen worden in het licht van de recente methodische ontwikkelingen op LCA-gebied opnieuw onder de loep genomen.

#### 4. Interpretatie

De scores voor de verschillende milieueffectcategorieën kunnen binnen ReCiPe met gestandaardiseerde weegmethoden worden opgeteld tot één totale eindscore voor de milieuprestatie. De eindscores van de verschillende scenario's kunnen worden vergeleken om de onkruidbestrijdingstechniek met de beste milieuprestatie te bepalen.

Ook is het nuttig om scenario's per milieueffectcategorie met elkaar te vergelijken. Milieueffecten die extra aandacht verdienen (bijvoorbeeld vanwege beleidsdoelstellingen) kunnen op die manier specifiek vergeleken worden.

## 2.4 De LCA-methode ReCiPe

De ReCiPe methode is één van de bestaande rekenmethodes waarmee ingrepen in het milieu (zoals landgebruik of de emissie van schadelijke stoffen) worden omgerekend naar milieueffecten (VROM, 2009). Deze effecten kunnen vervolgens worden gewogen en opgeteld tot 1 totaalscore voor de milieuprestatie van een product over de gehele levenscyclus.

Op deze manier kan de lange lijst van emissies, verbruikte grondstoffen en andere data uit de inventarisatiefase worden vertaald in een beperkte serie van milieueffecten, die daardoor beter te interpreteren valt. De uitstoot van CO<sub>2</sub> en van methaan worden bijvoorbeeld beide omgerekend naar een score voor klimaatverandering, terwijl uitstoot van zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) wordt omgerekend naar een bijdrage aan verzuring. In tabel 1 staan alle milieueffecten die in de ReCiPe methode berekend worden. In bijlage 2 is voor elk milieueffect beschreven wat dit inhoudt.

De weging van de milieueffecten maakt het mogelijk om de relatieve ernst van verschillende milieueffecten (bijvoorbeeld klimaatverandering, ecotoxiciteit en het opraken van grondstoffen) met elkaar te vergelijken. Met de totaalscore kunnen uiteindelijk producten eenvoudig vergeleken worden.

De ReCiPe methode is in 2009 ontwikkeld in opdracht van het Ministerie van VROM, en is een gecombineerde opvolger van de internationaal veel gebruikte methodes CML2 en Ecoindicator99.

Tabel 1 Milieueffecten (impactcategorieën) die in de ReCiPe LCA-methode berekend worden.

Impactcategorie	Verkorte naam	Engelse naam
Klimaatverandering, humane gezondheid	Klimaat, gezond	Climate Change Human Health
Klimaatverandering, ecosystemen	Klimaat, eco	Climate Change Ecosystems
Ozonlaagaantasting	Ozonlaag	Ozone depletion
Verzuring, bodem	Verzuring	Terrestrial acidification
Vermesting, zoetwater	Vermesting	Freshwater eutrophication
Humane toxiciteit	Humane tox	Human toxicity
Smogvorming	Smog	Photochemical oxidant formation
Fijnstof vorming	Fijnstof	Particulate matter formation
Ecotoxiciteit, bodem	Ecotox, bodem	Terrestrial ecotoxicity
Ecotoxiciteit, zoetwater	Ecotox, zoetw	Freshwater ecotoxicity
Ecotoxiciteit, zoutwater	Ecotox, zoutw	Marine ecotoxicity
Ioniserende straling	Straling	Ionising radiation
Landgebruik, agrarisch	Land, agr	Agricultural land occupation
Landgebruik, urbaan	Land, urb	Urban land occupation
Landtransformatie	Landtrans	Natural land transformation
Uitputting, mineralen/metalen	Uitp. mineraal	Metal depletion
Uitputting, fossiel	Uitp. fossiel	Fossil depletion



## 2.5 Waterkwaliteitsnormen en LCA

Een belangrijk onderwerp in de discussie over onkruidbestrijdingsmethoden is het feit dat metingen bij drinkwaterinnamepunten aantonen dat voor glyfosaat regelmatig de drinkwaternorm (0,1 µg/l) wordt overschreden. Met de grootschalige invoering van glyfosaat voor onkruidbestrijding op verhardingen (na het verbod van diurongebruik op verhardingen in 1999) nam het aantal overschrijdingen toe in de jaren 2000-2005, en sindsdien zijn per locatie verschillende trends waarneembaar (afname, toename of gelijk blijven van het aantal overschrijdingen) (RIVM, 2010; LBOW, 2006). Glyfosaat wordt hierom beschouwd als probleemstof voor de drinkwaterbereiding.

Het overschrijden van drinkwaternormen wordt in een LCA-berekening niet expliciet meegenomen. Voor de LCA-berekening is het niet van belang of er voor een stof een drinkwaternorm bestaat of niet. De score voor het milieueffect ecotoxiciteit wordt bepaald door de stofeigenschappen (toxiciteit, persistentie, fysisch-chemische eigenschappen) en door de emissie-hoeveelheid. Deze milieupact verandert niet wanneer er een norm wordt geformuleerd.

Wel is het zo dat de stofeigenschappen waarop de hoogte van een norm gebaseerd zal zijn dezelfde zijn als de eigenschappen gebruikt in de LCA-berekening. Ook zorgt een hogere emissie voor een hogere LCA-score en voor een hogere kans op normoverschrijding.

Wanneer een stof vaak de norm overschrijdt, zal dit dus 'automatisch' leiden tot een hogere LCA-score op ecotoxiciteit. Het zou niet juist zijn om bij overschrijding van een norm een specifieke extra LCA-score voor ecotoxiciteit te berekenen; dit zou een dubbeltelling zijn.

Daarbij komt dat in een LCA geen concentraties van stoffen in water worden gebruikt of voorspeld. De emissie wordt uitgedrukt in kg (per functionele eenheid), waarna het LCA-model de ecosysteemschade berekent, uitgedrukt in biodiversiteitsverlies (potentially disappeared fraction of species \* year) (VROM, 2009). Uit het LCA-model volgt niet wat de verwachte concentratie in het water wordt.

Voor het voorspellen van een concentratie in oppervlaktewater zou ook niet uitgegaan moeten worden van de LCA-rekeneenheid (de functionele eenheid: 1000 m<sup>2</sup> verharding gedurende een jaar), maar van de totale hoeveelheid glyfosaat die wordt gebruikt in een gebied.

Andere rekeninstrumenten, zoals environmental risk assessment, kunnen voor specifieke chemicaliën in specifieke gebieden een afweging maken van het ecotoxiciteitsrisico.

## 2.6 Functionele eenheid

De functionele eenheid (vergelijkingseenheid) die wordt gehanteerd is: "onkruidbestrijding op 1000 m<sup>2</sup> verharding gedurende 1 jaar, met beeldkwaliteit B."

Dit is dezelfde functionele eenheid als in de LCA-studie uit 2005.

## 3. Inventarisatie

### 3.1 Scenario's

De onderzochte scenario's sluiten aan op die uit het rapport "Kosten onkruidbeheer op verhardingen" (PRI, 2012). In elk van deze scenario's wordt één techniek gebruikt, waardoor een zuivere vergelijking verkregen wordt.

De scenario's sluiten deels aan op die van de LCA-studie uit 2005. In 2005 zijn echter meerdere scenario's doorgerekend waarin combinaties van technieken werden toegepast. Zo werd bij de DOB-scenario gerekend met 90% chemische en 10% niet-chemische onkruidbestrijding. Daarnaast zijn t.o.v. 2005 ook de inventarisatiegegevens (verbruiksgegevens) ge-update.

Drie chemische methodes zijn doorgerekend, waarbij in alle gevallen gebruik wordt gemaakt van glyfosaat. Voor elk van deze drie methodes zijn scenario's doorgerekend met hoge en lage afspoeling van glyfosaat (zie ook paragraaf 3.4).

In de LCA-studie uit 2005 bleek dat bij de borstelmethode de productie van extra tegels vanwege slijtage door het borstelen een relevante bijdrage had aan de scores voor enkele impactcategorieën.

Over de mate van extra slijtage door borstelen zijn geen harde gegevens beschikbaar. Daarom is hier gekozen ook een scenario op te stellen waarbij geen extra slijtage optreedt.

Daarnaast is een scenario opgesteld waarin door slijtage de levensduur van de tegels 25% korter wordt (aanname overgenomen uit 2005 studie). Ook is een scenario doorgerekend waarin slijtage een 10% kortere levensduur van de tegels tot gevolg heeft.

In praktijksituaties wordt vaak gebruik gemaakt van meerdere technieken binnen één gebied. Ook wordt onkruidbestrijding soms gecombineerd met andere werkzaamheden, zoals reiniging. Bij een vertaling naar de praktijk moet hiermee rekening gehouden worden.

Tabel 2 geeft weer welke scenario's in deze studie zijn doorgerekend.

Tabel 2 Omschrijving van de doorgerkende scenario's.

nummer	naam	details
1	chemisch; standaard sensorgestuurde spuiten (30 cm sensoren) en schijfvernevelaars op spuitboom, verbruik ca 1 l/ha, 50% afspoeling	50% glyfosaat afspoeling, hiervan komt 83% in een rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) terecht, waarin het deels wordt omgezet in AMPA.
2	chemisch; standaard sensorgestuurde spuiten (30 cm sensoren) en schijfvernevelaars op spuitboom, verbruik ca 1 l/ha, 9% afspoeling	9% glyfosaat afspoeling, hiervan komt 83% in een rwzi terecht, waarin het deels wordt omgezet in AMPA.
3	chemisch; innovatieve sensorgestuurde spuiten (8 cm sensoren), verbruik ca 0,8 l/ha, 50% afspoeling	50% glyfosaat afspoeling, hiervan komt 83% in een rwzi terecht, waarin het deels wordt omgezet in AMPA.
4	chemisch; innovatieve sensorgestuurde spuiten (8 cm sensoren), verbruik ca 0,8 l/ha, 9% afspoeling	9% glyfosaat afspoeling, hiervan komt 83% in een rwzi terecht, waarin het deels wordt omgezet in AMPA.
5	chemisch; onkruidstrijkers, verbruik ca. 0,6 l/ha; 50% afspoeling	50% glyfosaat afspoeling, hiervan komt 83% in een rwzi terecht, waarin het deels wordt omgezet in AMPA.
6	chemisch; onkruidstrijkers, verbruik ca. 0,6 l/ha, 9% afspoeling	9% glyfosaat afspoeling, hiervan komt 83% in een rwzi terecht, waarin het deels wordt omgezet in AMPA.
7	borstelen, geen slijtage tegels	Eventuele slijtage van de tegels wordt hier niet meegenomen.
8	borstelen, tegels 10% kortere levensduur	Aanname: door slijtage wordt de levensduur van de tegels 10% korter. De productie van extra tegels wordt meegerekend.
9	borstelen, tegels 25% kortere levensduur	Aanname: door slijtage wordt de levensduur van de tegels 25% korter. De productie van extra tegels wordt meegerekend.
10	heet water, volvelds toepassing	
11	heet water, sensorgestuurd	
12	heet water / hete lucht / IR, volvelds toepassing	
13	branden, volvelds toepassing	
14	hete lucht, volvelds toepassing	

### 3.2 Algemene data

In deze quickscan studie is voor de meeste achtergrondprocessen gewerkt met bestaande literatuurgegevens over productieprocessen, materiaal- en energieverbruik en milieuemissies van stoffen. Hoewel hiermee niet alle specifieke details van de producten worden bestudeerd, wordt zo toch een betrouwbaar beeld verkregen van de milieuprestaties van de verschillende scenario's.

Voor achtergrondprocessen wordt uitgegaan van de procesbeschrijvingen uit de LCA-database Ecoinvent 2.2. Deze internationaal veel gebruikte database bevat beschrijvingen van een grote hoeveelheid industriële processen, materialen, transportvormen en afvalverwerkingsmethoden. Deze beschrijvingen zijn gebaseerd op gemiddelde West-Europese data.

De volgende procesbeschrijvingen uit de Ecoinvent database zijn gebruikt:

- productie van diesel
- verbranding van diesel
- productie van LPG
- verbranding van LPG
- productie van (onlegeerd) staal (voor borstels)

- productie van beton (voor tegels)
- productie van glyfosaat

Bij gebrek aan detailldata is de productie van elke voertuigdrager in de LCA gemodelleerd als de helft van de productie van een personenauto (op basis van Ecoinvent). De milieupact van de productie hiervan wordt verdeeld over de gemiddelde levensduur van 4550 uur (7 jaar maal 650 gebruiksuren per jaar (PRI, 2012)).

### **3.3 Specifieke verbruiksgegevens**

Tabel 3 geeft de specifieke verbruiksdata per onkruidbestrijdingstechniek weer.

Parameter	Eenheid	Chemisch 30 cm sensor/ schijf- vervelaar	Chemisch 8 cm sensor	Chemisch strijker	Borstelen	Heet water volvelds	Heet water sensor gestuurd	Heet water + hete lucht + infrarood	Branden	Hete lucht
scenario nummer		1, 2	3, 4	5, 6	7, 8, 9	10	11	12	13	14
voertuigdrager		Quad	Quad	Stiga ready		Egholm 2200		LM Trac	LM Trac	
vermogen	kW				37	35	264			35
toediening		selectief	selectief	selectief	selectief	volvelds	selectief	volvelds	volvelds	volvelds
werkbreedte	cm	100	100	100	-	-	-	120	120	100
capaciteit	ha/uur	0,50	0,50	0,50	0,20	0,13	0,25	0,30	0,40	0,35
frequentie range		2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	3-4	4-6	6-8	6-8
frequentie in model		2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	3,5	5	7	7
gebruiksuren range	uur	500/800	500/800	500/800	500/800	500/800	500/800	500/800	500/800	500/800
gebruiksuren in model	uur	650	650	650	650	650	650	650	650	650
brandstofverbruik	liter/ uur	2	2	1	3	7	15	2	3	3
gebruiksuren slijtdelen (bv borstel)	uur	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	14	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
waterverbruik	m <sup>3</sup> / uur	0,007	0,005	0	n.v.t.	0,7	0,8	0,1	n.v.t.	n.v.t.
verbruik LPG, propaan	kg/ uur	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	14	15	12
verbruik glyfosaat - verdund product	liter/ uur	0,45	0,42	0,33	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
verbruik glyfosaat - actief ingrediënt	kg/ uur	0,162	0,151	0,119	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

Tabel 3 Specifieke inputdata per scenario. Bron: "Kosten onkruidbeheer op verhardingen" (PRI, 2012).

### 3.4 Milieugedrag en toxiciteit glyfosaat en AMPA

De milieupact per kg emissie van glyfosaat naar oppervlaktewater of bodem is niet standaard opgenomen in de ReCiPe methode. Deze 'karakterisatiefactoren' zijn voor deze studie bepaald met het model USES-LCA2<sup>2</sup>. Dit model is gebaseerd op 'environmental fate' modellen zoals door de EU voor risk assessments van stoffen gebruikt worden (bijvoorbeeld EUSES). Het model voorspelt aan de hand van de fysisch-chemische stoffeigenschappen waar in het milieu de stof terecht komt (water, bodem, lucht), en in hoeverre organismen de stof binnen kunnen krijgen. Op basis van toxiciteitsgegevens wordt vervolgens het toxisch effect per kg emissie van de stof voorspeld.

Er worden karakterisatiefactoren berekend voor de ReCiPe-impactcategorieën 'zoet water ecotoxiciteit', 'mariene ecotoxiciteit', 'terrestrische ecotoxiciteit' en 'humane toxiciteit'. Emissie naar water of emissie naar bodem hebben verschillende karakterisatiefactoren voor de 4 toxiciteitscategorieën (doordat in eerste instantie verschillende organismen aan de stof worden blootgesteld).

De karakterisatiefactoren voor toxiciteit van stoffen die reeds in de ReCiPe methode aanwezig zijn, zijn op dezelfde manier bepaald.

In het milieu kan glyfosaat worden afgebroken tot AMPA (aminomethyl phosphonic acid). Ook dit afbraakproduct heeft een toxisch effect. Met het USES-LCA2 model zijn ook voor AMPA de karakterisatiefactoren bepaald.

De gebruikte data voor de berekening van karakterisatiefactoren is weergegeven in bijlage 1.

Bij de toepassing van glyfosaat op verhardingen is een belangrijke vraag welk deel er in de plant en in de bodem terecht komt, en welk deel afspoelt (emissie naar bodem en naar water hebben een verschillende milieupact). Literatuurwaarden betreffende afspoeling lopen sterk uiteen.

Er zijn twee mogelijkheden doorgerekend als worst en best case. De eerste is een totaal afspoelpercentage van 50%, gebaseerd op de Evaluatie Duurzame Gewasbescherming 2006 en vergelijkbaar met het 'klassiek chemisch' scenario uit de LCA studie van 2005. Er zijn echter voldoende aanwijzingen dat de fractie die afspoelt aanzienlijk lager is, met name als er conform de DOB richtlijnen wordt gewerkt. Voor de evaluatie van het gewasbeschermingsbeleid in 2011 is o.a. voor half-open verhardingen een inventarisatie gemaakt van emissiefactoren. Deze variëren van 1,75 tot 8,6% als som van de directe emissie naar oppervlaktewater en naar de rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi). Om hierbij aan te sluiten is als tweede mogelijkheid een totaal afspoelpercentage van 9% aangehouden.

In beide gevallen gaat van het afgespoelde deel 17% direct naar het oppervlaktewater, en komt 83% eerst in een rwzi terecht (analoog aan de 2005 studie). In de rwzi wordt 50% van de glyfosaat omgezet in AMPA. Het effluent wordt daarna geloosd op het oppervlaktewater.

In beide gevallen wordt aangenomen dat 5% van de glyfosaat op of in het onkruid achterblijft, en dus niet naar het milieu geëmitteerd wordt.

Het overige glyfosaat komt in de bodem terecht (respectievelijk 45% en 92%). In de bodem wordt glyfosaat voor 29% omgezet in AMPA.

In tabel 4 worden de afspoelscenario's samengevat.

<sup>2</sup> Ontwikkeld door de Radboud Universiteit Nijmegen, 2009. <http://cem-nl.eu/useslca.html>

	<i>scenario</i>	
	<i>50% afspoeling</i>	<i>9% afspoeling</i>
naar plant	0,05	0,05
naar bodem	0,45	0,86
totale afspoeling	0,50	0,09
afspoeling direct naar oppervlaktewater	0,085	0,015
afspoeling naar rwzi	0,415	0,075
emissie vanuit rwzi effluent naar oppervlaktewater	0,208	0,037
als AMPA in bodem	0,13	0,248
als AMPA direct in oppervlakte water	0,014	0,0025
als AMPA vanuit rwzi effluent naar oppervlaktewater	0,241	0,043

*Tabel 4 Fracties van toegepast glyfosaat die in verschillende milieucompartimenten terecht komen, en omzetting naar AMPA, gebaseerd op de 2005 studie en de evaluatie gewasbeschermingsbeleid 2011.*

## 4. Resultaten

### 4.1 Scores per impactcategorie

In figuur 1 zijn de LCA-scores voor de scenario's te zien, onderverdeeld per impactcategorie (voor elke impactcategorie afgezet tegen de hoogste score (=1)). De kleuren geven de verschillende scenario's aan. De bijbehorende getallen zijn te vinden in bijlage 3.

Voor de impactcategorieën klimaatverandering (human health en ecosystems) en uitputting fossiele grondstoffen (fossil depletion) is de impact van de chemische methodes laag en voor branden, heet water en hete lucht relatief hoog. Dit is logisch, omdat deze impactcategorieën direct evenredig zijn met het gebruik van (fossiele) brandstoffen. Voor de productie van glyfosaat is weliswaar ook energie nodig, maar dit is in verhouding weinig.

Fijnstof vorming is ook voor een belangrijk deel gerelateerd aan verbruik van brandstof, met name diesel. De heet water methode heeft het hoogste dieselverbruik, en heeft voor deze categorie de hoogste impact.

Humane toxiciteit wordt in de bestudeerde scenario's vooral veroorzaakt door emissies van zware metalen, wat in vele processen in kleine hoeveelheden gebeurt. De borstelmethode heeft hier de hoogste impact, door de metaalemissies in de staalproductie en de cementproductie (voor extra tegels).

Bij eutrofiëring zijn de belangrijkste emissies in deze scenario's fosfaathoudende verbindingen bij de productie van glyfosaat. De chemische methodes hebben hier dan ook de hoogste impact.

Bij bodemtoxiciteit (terrestrial ecotoxicity) zijn de hoogste scores te vinden bij branden, hete lucht en heet water. Meerdere stofemissies dragen significant bij aan de score: koper, kwik, zink, glyfosaat en fosfor.

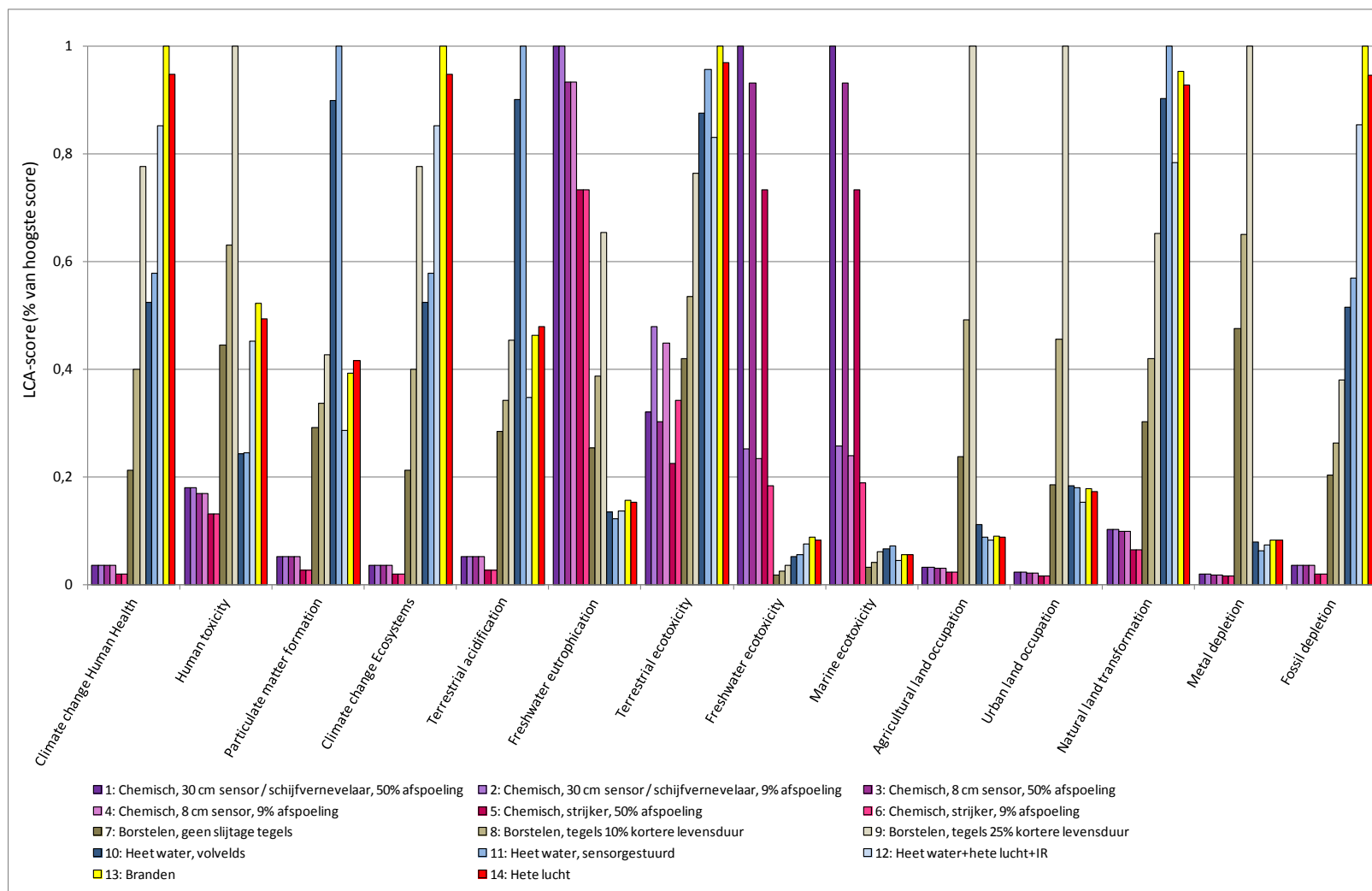
De glyfosaatemissies bij de chemische methode hebben een hoge impact op de ecotoxiciteit voor zoet en zout water. De chemische methodes scoren hier dan ook het hoogst. De chemische methode met 30 cm sensor heeft een hoger glyfosaat-verbruik dan de methode met strijker, en scoort hier dan ook het hoogst. Het verschil tussen 50% afspoeling (naar riool en oppervlaktewater) en 3% afspoeling is ook zeer relevant.

Landgebruik (agricultural en urban land occupation) hebben de hoogste score bij de borstelmethode door de productie van cement, en in mindere mate de productie van de borstels.

Bij de categorie uitputting minerale grondstoffen (metal depletion) heeft de borstelmethode de hoogste impact, door de productie van borstels en cement.

Uit de 3 verschillende scenario's voor de borstelmethode blijkt duidelijk dat de aanname voor extra slijtage van de tegels een grote invloed op het resultaat heeft. Voor enkele impactcategorieën heeft de extra tegelproductie (bij 25% kortere levensduur, 30 i.p.v. 40 jaar) zelfs een grotere bijdrage aan de score dan het borstelen zelf. Ter vergelijking is ook een scenario doorgererekend met de aanname van een 10% kortere levensduur van de tegels.





Figuur 1: LCA-scores (ReCiPe-midpoint) van de onderzochte onkruidbestrijdingsmethodes, onderverdeeld per impactcategorie<sup>3</sup>, voor elke impactcategorie afgezet tegen het scenario met de hoogste score. De kleuren geven de verschillende scenario's aan. De functionele eenheid is 'onkruidbestrijding op 1000 m<sup>2</sup> verharding voor het handhaven van beeldkwaliteit B gedurende 1 jaar'.

<sup>3</sup> Drie (minder relevante) impactcategorieën zijn niet weergegeven in deze figuur: ozonlaag aantasting, smogvorming en ioniserende straling. De getallen staan wel in bijlage 3.

## 4.2 Totaalscores

Om tot een totaalscore te komen rekent de ReCiPe methode de scores van elke impact categorie (zogenaamde Midpoints) eerst om naar de bijbehorende Endpoint categorie: 'Human Health Damage', 'Ecosystems Damage', of 'Resource Depletion'.

Deze worden vervolgens gewogen bij elkaar opgeteld tot een Single Score resultaat. De wegingsfactoren zijn weergegeven in tabel 5.

*Tabel 5 Wegingsfactoren voor de omrekening van Endpoint scores naar Single Score.*

<i>Endpoint categorie</i>	<i>eenheid</i>	<i>weegfactor voor Single Score</i>
Human Health Damage	disability-adjusted life years, DALY	40
Ecosystems Damage	potentially disappeared fraction of species * year	40
Resource Depletion	toename in kosten voor grondstofwinning	20

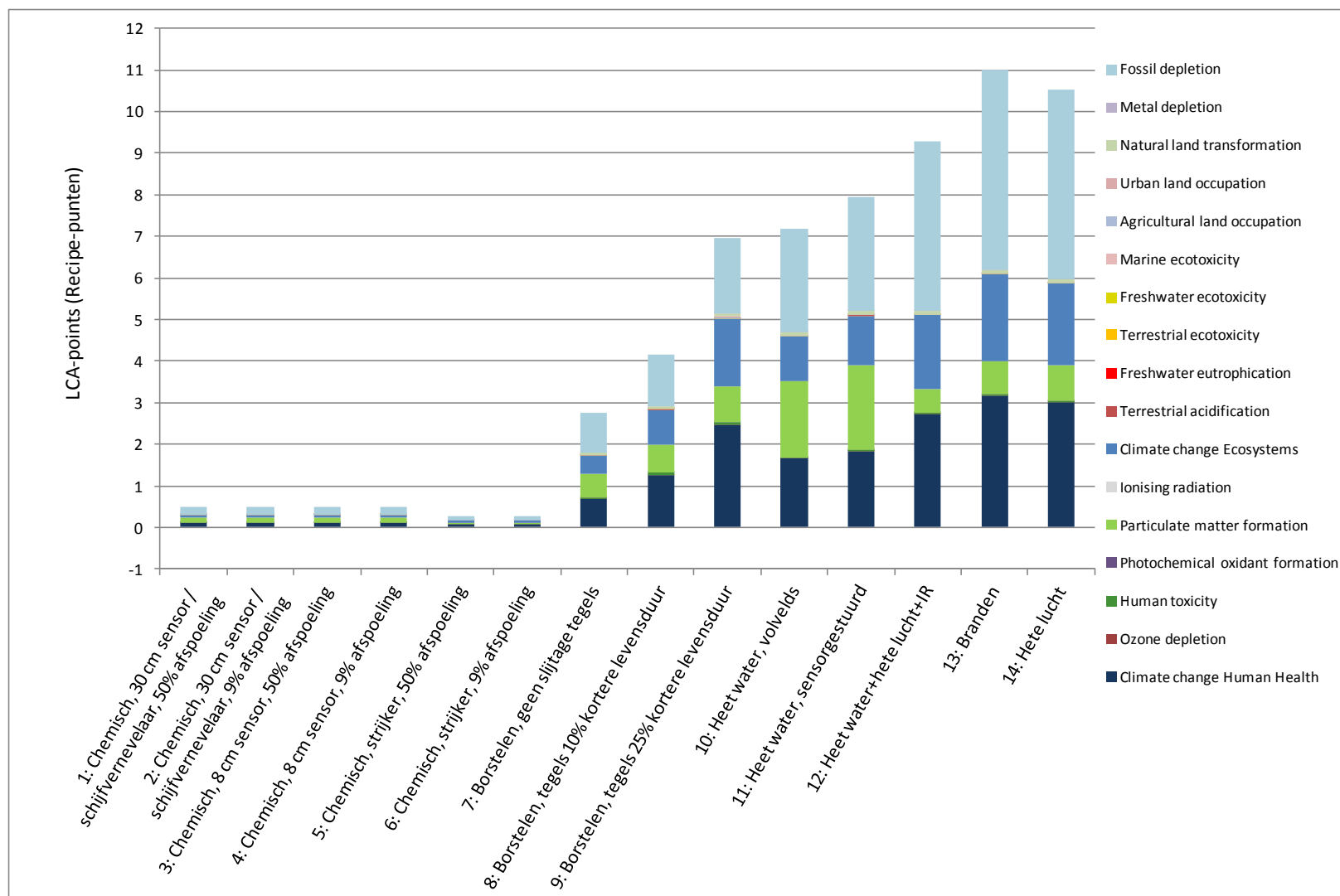
De totaalscores voor de milieupact die met de ReCiPe methode worden verkregen zijn voor elk scenario weergegeven in figuur 2.

Onzekerheden in de gebruikte gegevens en in het ReCiPe model zelf hebben beide invloed op de onzekerheid van het resultaat. Deze onzekerheden verschillen per studie. Over het algemeen wordt gesteld dat verschillen tussen scenario-scores kleiner dan 25% niet significant zijn.

De totale milieuscore wordt sterk overheerst door slechts een paar van de 17 milieueffecten die zijn berekend. De grootste bijdrage aan de totaalscore komt van de categorieën klimaatverandering (gezondheid en ecosystemen), de uitputting van fossiele grondstoffen en de emissie van fijnstof. Deze effecten komen alle hoofdzakelijk voort uit het gebruik van fossiele energie.

De chemische methodes hebben een lage score. De hete lucht methode scoort hoog, evenals de heet water methodes. De brandmethode heeft de hoogste score. De scores van de borstelscenario's zijn relatief laag, en hangen sterk af van de aanname voor extra slijtage van de tegels.

Opmerkelijk is dat bij de heet watermethodes de volvelds methode een iets lagere milieupact heeft dan de sensorgestuurde methode. Per uur verbruikt de sensorgestuurde methode weliswaar minder brandstof, maar door de lagere werksnelheid komt de totaalscore toch iets hoger uit.



Figuur 2: Totale milieupact van de gehele levenscyclus van de onderzochte onkruidbestrijdingsmethodes. De functionele eenheid is 'onkruidbestrijding op 1000 m<sup>2</sup> verharding voor het handhaven van beeldkwaliteit B gedurende 1 jaar'. Scores zijn uitgedrukt in LCA-punten volgens de ReCiPe-methode (single score). De kleuren geven de bijdragen van de verschillende milieueffectcategorieën aan de totale score weer.

## 5. Discussie

### 5.1 Verschillen ten opzichte van 2005

De belangrijkste oorzaak van de verschillen ten opzichte van de studie uit 2005 is dat de gebruikte LCA-methode ReCiPe een andere manier van weging gebruikt dan de methode van 2005.

Bij ReCiPe wordt alles uitgedrukt in ecosysteemschade (eenheid 'potentially disappeared fraction of species \* year'), human health (Disability-adjusted life years, DALY), en resources (toename in kosten voor grondstofwinning). Deze 3 scores worden gewogen bij elkaar opgeteld tot de eindscore. Uit de resultaten blijkt dat de bijdrage aan klimaatverandering in alle scenario's (zelfs de chemische) een grotere ecosysteemschade en human health impact veroorzaakt dan de emissie van glyfosaat.

In 2005 zijn de scores in elke impactcategorie weergegeven als 'relatieve bijdrage aan de totale impact in Nederland'. Deze dimensieloze scores zijn vervolgens 1 op 1 bij elkaar opgeteld. Met deze methode werden hoge scores voor ecotoxiciteit verkregen, omdat de bijdrage van onkruidbestrijding aan de totale emissie van giftige stoffen in Nederland relatief hoog is. De totale bijdrage van (niet-chemische) onkruidbestrijding aan de totale broeikasgasemissie in Nederland is daarentegen zeer laag (mede omdat de totale broeikasgasemissie in Nederland zo enorm is), en daarmee was de score voor klimaatverandering ook laag.

Het is binnen de LCA wetenschap niet gebruikelijk meer om de optelling van impactcategorie scores op deze manier te doen. De scores zijn weliswaar allemaal dimensieloos, maar toch niet allemaal van dezelfde orde <sup>4</sup>. In de huidige LCA-praktijk worden scores normaal gesproken eerst omgerekend naar effecten op ecosysteem-nivo, en pas daarna opgeteld.

Het is wel nog steeds gebruikelijk om de scores per impactcategorie met elkaar te vergelijken. De totaalscores zijn niet het enige relevante vergelijkingsniveau. Wanneer er een specifieke interesse is in een impactcategorie (bijvoorbeeld zoetwater ecotoxiciteit omdat er een specifiek beleid is om oppervlaktewaterkwaliteit te verbeteren, of fijnstofvorming als de luchtkwaliteit prioriteit heeft), dan is een vergelijking op dit nivo nuttiger dan de vergelijking van totaalscores.

### 5.2 Beperkingen van LCA

-LCA kijkt niet naar lokale effecten. Een hoge glyfosaatconcentratie in een sloot naast een verharding vlak na chemische onkruidbestrijding kan lokaal schade voor organismen veroorzaken.

-LCA kan niet voorspellen of ergens drinkwaternormen overschreden worden. Het toetsen van normen past niet in de algemene LCA aanpak. De hier toegepaste LCA methodiek is een gangbare wijze voor het vergelijken van milieuimpacts.

-een model vereenvoudigt de werkelijkheid: in de praktijk is er sprake van combinaties van meerdere onkruidbestrijdingsmethodes en andere werkzaamheden zoals reiniging.

-vanwege bovengenoemde beperkingen kan LCA nooit de enige methode zijn om de duurzaamheid van onkruidbestrijdingsmethodes te beoordelen. Naast LCA is voor onkruidbestrijding onder andere een (locatiespecifieke) risk assessment voor de emissie van chemicaliën relevant.

---

<sup>4</sup> Bij de 2005-methode zou de genormaliseerde score voor bijvoorbeeld klimaatverandering moeten worden uitgedrukt als 'kg CO<sub>2</sub>-eq./kg CO<sub>2</sub>-eq.' en de genormaliseerde score voor zoetwater ecotoxiciteit als 'kg dichloorbenzeen-equivalent/kg dichloorbenzeen equivalent'

## 6. Conclusies

In deze studie worden de milieuprestaties van verschillende onkruidbestrijdingsmethoden vergeleken.

In de LCA-quickscan is een kwantitatieve vergelijking gemaakt van meerdere scenario's waarin chemische bestrijding, brandmethodes, borstelmethodes, hete lucht en heet water methodes worden toegepast. De gehele levenscyclus is in beschouwing genomen, van productie van grondstoffen tot verwerking van afval. De LCA-score bestaat uit 17 milieueffecten die los van elkaar worden vergeleken, en vervolgens ook (genormaliseerd en gewogen) bij elkaar opgeteld worden, waarna de scenario's weer worden vergeleken.

De resultaten laten zien dat wat betreft zoet- en zoutwater ecotoxiciteit en eutrofiëring de chemische methodes de hoogste impact hebben. Op humane toxiciteit, landgebruik en minerale uitputting scoren de borstelmethodes het hoogst. Bij fijnstofvorming wordt de hoogste impact gevonden bij de heet water methode. In de impactcategorieën klimaatverandering en fossiele uitputting heeft branden de hoogste impact en scoren ook hete lucht en hete lucht/heet water/IR hoog.

Wanneer de impactcategorieën apart worden beschouwd is er dus niet één scenario dat altijd als beste of als slechtste scoort.

Wanneer de impactcategorieën volgens de ReCiPe methode worden opgeteld tot een totaalscore, is te zien dat klimaatverandering, fossiele uitputting en fijnstof vorming de grootste bijdrage leveren aan de totaalscore.

De scenario's met chemische bestrijding hebben een aanzienlijk lagere totale impact dan de andere scenario's. De borstelmethode scoort iets hoger, waarbij te zien is dat de mate van extra slijtage van de tegels een grote invloed op het resultaat heeft. Het branden, het hete lucht en het hete lucht/heet water/IR scenario scoren het hoogst in de totaalscores.

## Referenties

- CROW, 2010 Kwaliteitscatalogus openbare ruimte 2010 – Landelijke standaard voor onderhoudsniveaus, CROW, Ede, 2010.
- IVAM, 2002 Saft, R.J.; Staats, N. “Beslisfactoren voor onkruidbestrijding op verhardingen ‘LCA, risico-analyse, kostenanalyse en hinderbeleving’”, IVAM rapportnummer 0205o, 2002.
- IVAM, 2005 Saft, R.J. “Update milieuanalyse onkruidbestrijding op verhardingen”, IVAM rapportnummer 0537o, 2005.
- LBOW, 2006 Landelijk Bestuurlijk Overleg Water: “Naar een verantwoord onkruidbeheer op verhardingen – Beleidsadvies voor emissiebeperking in het onkruidbeheer op verhardingen”, 2006.
- PRI, 2012 Van Dijk, C.J.; Kempenaar, C.: “Kosten onkruidbeheer op verhardingen”, rapport 432, Plant Research International, Wageningen UR, 2012.
- RIVM, 2003 Traas, T.P., Smit, C.E.: “Environmental risk limits for aminomethylphosphonic acid (AMPA).” RIVM rapport nummer 601501018/2003, 2003.
- RIVM, 2010 Linders, J.B.H.J.; Van der Linden, A.M.A.; Stienstra, Y.J.: “Surface water intended for the abstraction of drinking water after use of plant protection products on hard surfaces – Evaluation of plant production products”, RIVM, 2010.
- VROM, 2009 Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., Van Zelm, R.: “ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level.”, Ministerie van VROM, 2009.

## Bijlage 1 Gebruikte data voor het USES-LCA model

Deze bijlage geeft een overzicht van de fysisch-chemische en toxiciteitsdata die gebruikt zijn om karakterisatiefactoren te bepalen voor de ecotoxiciteit en humane toxiciteit van glyfosaat en AMPA. Data zijn afkomstig uit (RIVM, 2003), (RIVM, 2010), (IVAM, 2002), (IVAM, 2005) en de USES-LCA database.

<i>Gebruikte data voor glyfosaat</i>		
formule	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> NO <sub>5</sub> P	
molecuulmassa	169,1	g/mol
CAS-nummer	1071-83-6	
wateroplosbaarheid	1,29E5	mg/L
octanol/water partiticoëfficiënt	2,51E-2	
dampdruk	4,00E-5	Pa
smeltpunt	200	°C
K <sub>oc</sub>	3,63E3	L/kg
pKa	5,70	
fotocemische afbraak in lucht, halfwaardetijd:	1,6	dagen
fotocemische afbraak in water, halfwaardetijd:	69	dagen
biodegradatie in water, halfwaardetijd:	23	dagen
biodegradatie in sediment	2,4E3	dagen
aquatische ecotoxiciteit: No-effect concentratie (NOEC)	9	mg/L
humane toxiciteit: No-effect level (NOEL), chronisch	3,10E-5	kg/kg/dag

<i>Gebruikte data voor AMPA</i>		
formule	CH <sub>6</sub> O <sub>3</sub> NP	
CAS-nummer	1066-51-9	
molecuulmassa	111,0	g/mol
wateroplosbaarheid	2,0E5	mg/L
octanol/water partiticoëfficiënt	5,4E-3	
dampdruk (schatting)	1,00E-5	Pa
smeltpunt	300	°C
K <sub>p</sub> (soil)	77	L/kg
pKa	0,9	
biodegradatie in water, halfwaardetijd:	32	dagen
biodegradatie in sediment	149	dagen
aquatische ecotoxiciteit: EC50	79,7	mg/L
humane toxiciteit: No-effect level (NOEL), chronisch	-	kg/kg/dag

## Bijlage 2 Korte beschrijving van de milieu-impactcategorieën

Met de gebruikte LCA-rekenmethode ReCiPe worden de scores bepaald voor de impactcategorieën in tabel 1. Een korte beschrijving van deze effecten wordt hieronder gegeven.

### Klimaatverandering

Klimaatverandering, het versterkt broeikas effect, veroorzaakt een aantal milieumechanismen die zowel de humane gezondheid als ecosystemen beïnvloeden. Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) is het bekendste broeikasgas, maar ook stoffen als methaan en lachgas (N<sub>2</sub>O) dragen bij aan dit effect.

### Aantasting ozonlaag

Tussen ongeveer 15 en 30 kilometer hoogte bevindt zich het meeste ozon en dat deel van de atmosfeer wordt daarom ook wel de ozonlaag genoemd. De ozonlaag neemt een belangrijk deel van de voor het leven schadelijke ultraviolette straling (UV) van de zon op. De dikte van de ozonlaag is vooral sinds de jaren tachtig afgenomen. Boven de zuidpool is steeds in het voorjaar enige tijd ruim de helft van het ozon verdwenen. Ook boven onze streken is de ozonlaag dunner geworden. Ook hier is deze ozonafname het grootst in het voorjaar, terwijl in de herfst nauwelijks minder is gemeten. De ozonlaag wordt aangetast door bepaalde gassen zoals chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's). Deze komen in de ozonlaag terecht, desintegreert daar en de chlooratomen breken de ozonmoleculen af tot chloormonoxide en gewone zuurstof ( $\text{Cl} + \text{O}_3 \rightarrow \text{ClO} + \text{O}_2$ ). Vervolgens doet de UV-straling het chloormonoxidemolecuul weer uiteenvallen in twee vrije atomen, waarna het chlooratoom weer een nieuw ozonmolecuul ontbindt.

### Verzuring, bodem

Verzuring van bodem (of water) is een gevolg van de emissie van vervuilende gassen door fabrieken, landbouwbedrijven, elektriciteitscentrales en voertuigen. De uitstoot bevat onder andere zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), ammoniak (NH<sub>3</sub>) en vluchtige organische stoffen (VOS). Deze verzurende stoffen komen via lucht of water in de grond terecht. Dat wordt zure depositie genoemd. De stoffen dringen via bladeren en wortels in planten en bomen, waardoor deze vatbaarder worden voor ziekten. Zure depositie tast ook rivieren en meren, en uiteindelijk de dieren die er in leven of uit drinken, aan door hogere zuur- en aluminiumconcentraties.

### Vermesting, zoetwater

Vermesting (ook: eutrofiëring) is de vergroting van de voedselrijkdom in met name water. In de biologie wordt hiermee het verschijnsel aangeduid dat door toevoer van een overmaat aan voedingsstoffen een sterke groei en vermeerdering van bepaalde soorten optreedt, waarbij meestal de soortenrijkheid of biodiversiteit sterk afneemt. Eutrofiëring treedt bijvoorbeeld op in zoet water waar door uitspoeling veel meststoffen in terecht komen, met name stikstof en fosfaat afkomstig van mest en kunstmest uit de agrarische industrie. Het resultaat is een sterke algenbloei. Eutrofiëring kan leiden tot hypoxie, een tekort aan zuurstof in water.

### Humane toxiciteit

Onder humane toxiciteit worden emissies naar lucht water of bodem beschouwd die (uiteindelijk) resulteren in schade voor de humane gezondheid.

### Smogvorming

Smog, een combinatie van de Engelse woorden smoke en fog, is luchtvervuiling door rook en uitlaatgassen vervuilde mist die in een bepaalde periode opeens sterk toeneemt, met mogelijk nadelige



gevolgen voor de gezondheid. De stoffen die invloed hebben op het ontstaan van smog zijn vooral ozon en fijnstof en in mindere mate stikstofdioxide en zwaveldioxide.

### **Fijnstof vorming**

Tot fijnstof worden in de lucht zwevende deeltjes kleiner dan 10 micrometer gerekend. Fijnstof bestaat uit deeltjes van verschillende grootte, herkomst en chemische samenstelling. Fijnstof is bij inademing schadelijk voor de gezondheid. Bij mensen met luchtwegaandoeningen en hart- en vaatziekten verergert chronische blootstelling aan fijnstof hun symptomen en het belemmert de ontwikkeling van de longen bij kinderen. De normen voor fijnstof worden in Europa op veel plaatsen overschreden, vooral langs drukke wegen.

### **Ecotoxiciteit, bodem, zoetwater, zoutwater**

Onder ecotoxiciteit worden emissies naar lucht, water of bodem beschouwd die (uiteindelijk) resulteren in schade voor het ecosysteem in respectievelijk bodem, zoetwater en zoutwater.

### **Ioniserende straling**

Ioniserende straling (ook wel radioactieve straling genoemd) is het gevolg van het uiteenvallen van radioactieve atomen zoals Uranium-235, Krypton-85 en Jodium-129. Er zijn twee typen ioniserende straling: deeltjesstraling (alfastraling, bètastraling, neutronen, protonen) en hoog-energetische elektromagnetische straling (röntgenstraling, gammastraling). Ioniserende straling kan DNA-schade veroorzaken en kankerverwekkend zijn.

### **Landgebruik, agrarisch en urbaan**

De landgebruik impact categorie geeft de schade weer aan ecosystemen door effecten van het bezet houden en het gebruik van land gedurende een bepaalde tijd.

### **Landtransformatie**

Deze impact categorie geeft de schade weer aan ecosystemen wanneer een gebied wordt getransformeerd van bijvoorbeeld bos naar landbouwgrond. Dit heeft gevolgen voor onder andere de biodiversiteit.

### **Uitputting, mineralen en fossiel**

Gebruik van minerale grondstoffen en fossiele brandstoffen wordt gewogen met een factor die hoger is naarmate het voorkomen op aarde beperkter en de concentratie lager zijn. De maat is marginale kostentoeename van de winning (in dollars per kg).

## Bijlage 3 LCA-resultaten per impactcategorie

Totale milieuscores van de gehele levenscyclus van de onderzochte onkruidbestrijdingsmethodes. De functionele eenheid is 'onkruidbestrijding op 1000 m<sup>2</sup> verharding voor het handhaven van beeldkwaliteit B gedurende 1 jaar'. Scores zijn uitgedrukt in LCA-punten volgens de ReCiPe-methode (single score). Deze getallen komen overeen met figuur 2.

	1: Chemisch, 30 cm sensor, 50% afspoeling	2: Chemisch, 30 cm sensor, 9% afspoeling	3: Chemisch, 8 cm sensor, 50% afspoeling	4: Chemisch, 8 cm sensor, 9% afspoeling	5: Chemisch, strijker, 50% afspoeling	6: Chemisch, strijker, 9% afspoeling	7: Borstelen, geen slijtage tegels	8: Borstelen, tegels 10% kortere levensduur	9: Borstelen, tegels 25% kortere levensduur	10: Heet water, volvelds	11: Heet water, sensor gestuurd	12: Heet water+hete lucht+IR	13: Branden	14: Hete lucht
Total score	0,488	0,488	0,482	0,481	0,273	0,273	2,76	4,16	6,97	7,18	7,94	9,28	11,00	10,51
Climate change Human Health	1,13E-01	1,13E-01	1,11E-01	1,11E-01	6,32E-02	6,32E-02	6,72E-01	1,27E+00	2,47E+00	1,66E+00	1,84E+00	2,71E+00	3,18E+00	3,01E+00
Ozone depletion	3,56E-05	3,56E-05	3,46E-05	3,46E-05	2,14E-05	2,14E-05	1,32E-04	1,72E-04	2,52E-04	3,87E-04	4,29E-04	9,19E-04	1,06E-03	9,98E-04
Human toxicity	1,24E-02	1,23E-02	1,16E-02	1,16E-02	8,99E-03	8,98E-03	3,06E-02	4,32E-02	6,86E-02	1,66E-02	1,68E-02	3,10E-02	3,58E-02	3,39E-02
Photochemical oxidant formation	4,64E-05	4,64E-05	4,62E-05	4,62E-05	2,38E-05	2,38E-05	2,49E-04	2,88E-04	3,66E-04	8,36E-04	9,30E-04	2,98E-04	4,01E-04	4,20E-04
Particulate matter formation	1,04E-01	1,04E-01	1,03E-01	1,03E-01	5,39E-02	5,39E-02	5,93E-01	6,84E-01	8,67E-01	1,83E+00	2,03E+00	5,80E-01	7,97E-01	8,45E-01
Ionising radiation	5,61E-05	5,61E-05	5,30E-05	5,30E-05	4,05E-05	4,05E-05	2,90E-04	5,78E-04	1,15E-03	1,85E-04	1,72E-04	2,30E-04	2,64E-04	2,52E-04
Climate change Ecosystems	7,38E-02	7,38E-02	7,28E-02	7,28E-02	4,13E-02	4,13E-02	4,40E-01	8,31E-01	1,61E+00	1,09E+00	1,20E+00	1,77E+00	2,08E+00	1,97E+00
Terrestrial acidification	5,04E-04	5,04E-04	5,01E-04	5,01E-04	2,64E-04	2,64E-04	2,74E-03	3,29E-03	4,38E-03	8,68E-03	9,64E-03	3,35E-03	4,45E-03	4,63E-03
Freshwater eutrophication	2,44E-04	2,44E-04	2,28E-04	2,28E-04	1,79E-04	1,79E-04	6,20E-05	9,45E-05	1,60E-04	3,27E-05	2,96E-05	3,32E-05	3,81E-05	3,72E-05
Terrestrial ecotoxicity	5,05E-04	7,56E-04	4,76E-04	7,10E-04	3,55E-04	5,39E-04	6,64E-04	8,45E-04	1,21E-03	1,38E-03	1,51E-03	1,31E-03	1,58E-03	1,53E-03
Freshwater ecotoxicity	3,37E-04	8,48E-05	3,14E-04	7,91E-05	2,47E-04	6,21E-05	6,20E-06	8,05E-06	1,18E-05	1,76E-05	1,84E-05	2,53E-05	2,94E-05	2,79E-05
Marine ecotoxicity	1,28E-06	3,30E-07	1,19E-06	3,08E-07	9,40E-07	2,41E-07	4,03E-08	5,25E-08	7,68E-08	8,41E-08	9,18E-08	5,76E-08	7,10E-08	7,03E-08
Agricultural land occupation	6,37E-04	6,37E-04	6,01E-04	6,01E-04	4,71E-04	4,71E-04	4,87E-03	1,01E-02	2,04E-02	2,28E-03	1,79E-03	1,68E-03	1,84E-03	1,79E-03
Urban land occupation	7,06E-04	7,06E-04	6,77E-04	6,77E-04	4,72E-04	4,72E-04	5,88E-03	1,45E-02	3,18E-02	5,85E-03	5,75E-03	4,86E-03	5,68E-03	5,51E-03
Natural land transformation	1,09E-02	1,09E-02	1,06E-02	1,06E-02	6,87E-03	6,87E-03	3,21E-02	4,45E-02	6,94E-02	9,59E-02	1,06E-01	8,34E-02	1,01E-01	9,86E-02
Metal depletion	5,95E-05	5,95E-05	5,74E-05	5,74E-05	4,79E-05	4,79E-05	1,50E-03	2,05E-03	3,15E-03	2,47E-04	1,97E-04	2,29E-04	2,60E-04	2,62E-04
Fossil depletion	1,72E-01	1,72E-01	1,69E-01	1,69E-01	9,68E-02	9,68E-02	9,76E-01	1,26E+00	1,82E+00	2,47E+00	2,73E+00	4,09E+00	4,79E+00	4,54E+00

LCA-scores van de onderzochte onkruidbestrijdingsmethodes, onderverdeeld per impactcategorie, voor elke impactcategorie genormaliseerd op het scenario met de hoogste score. De functionele eenheid is 'onkruidbestrijding op 1000 m<sup>2</sup> verharding voor het handhaven van beeldkwaliteit B gedurende 1 jaar'. Deze getallen komen overeen met figuur 1.

	1: Chemisch, 30 cm sensor, 50% afspoeling	2: Chemisch, 30 cm sensor, 9% afspoeling	3: Chemisch, 8 cm sensor, 50% afspoeling	4: Chemisch, 8 cm sensor, 9% afspoeling	5: Chemisch, strijker, 50% afspoeling	6: Chemisch, strijker, 9% afspoeling	7: Borstelen, geen slijtage tegels	8: Borstelen, tegels 10% kortere levensduur	9: Borstelen, tegels 25% kortere levensduur	10: Heet water, volvelds	11: Heet water, sensor gestuurd	12: Heet water+hete lucht+IR	13: Branden	14: Hete lucht
Climate change Human Health	0,036	0,036	0,035	0,035	0,020	0,020	0,212	0,400	0,777	0,524	0,578	0,853	1,000	0,948
Ozone depletion	0,033	0,033	0,032	0,032	0,020	0,020	0,124	0,162	0,237	0,363	0,403	0,864	1,000	0,937
Human toxicity	0,180	0,180	0,169	0,169	0,131	0,131	0,446	0,630	1,000	0,242	0,245	0,453	0,522	0,494
Photochemical oxidant formation	0,050	0,050	0,050	0,050	0,026	0,026	0,268	0,310	0,394	0,899	1,000	0,320	0,431	0,452
Particulate matter formation	0,051	0,051	0,051	0,051	0,027	0,027	0,292	0,337	0,427	0,900	1,000	0,286	0,393	0,416
Ionising radiation	0,049	0,049	0,046	0,046	0,035	0,035	0,251	0,500	1,000	0,160	0,149	0,200	0,229	0,218
Climate change Ecosystems	0,036	0,036	0,035	0,035	0,020	0,020	0,212	0,400	0,777	0,524	0,578	0,853	1,000	0,948
Terrestrial acidification	0,052	0,052	0,052	0,052	0,027	0,027	0,285	0,341	0,455	0,901	1,000	0,348	0,462	0,480
Freshwater eutrophication	1,000	1,000	0,934	0,934	0,734	0,734	0,254	0,388	0,654	0,134	0,121	0,136	0,156	0,152
Terrestrial ecotoxicity	0,320	0,479	0,302	0,449	0,225	0,341	0,421	0,535	0,765	0,875	0,958	0,832	1,000	0,970
Freshwater ecotoxicity	1,000	0,251	0,932	0,235	0,734	0,184	0,018	0,024	0,035	0,052	0,055	0,075	0,087	0,083
Marine ecotoxicity	1,000	0,257	0,932	0,240	0,734	0,188	0,031	0,041	0,060	0,066	0,072	0,045	0,055	0,055
Agricultural land occupation	0,031	0,031	0,029	0,029	0,023	0,023	0,238	0,492	1,000	0,111	0,088	0,082	0,090	0,087
Urban land occupation	0,022	0,022	0,021	0,021	0,015	0,015	0,185	0,456	1,000	0,184	0,181	0,153	0,179	0,173
Natural land transformation	0,103	0,103	0,099	0,099	0,065	0,065	0,302	0,419	0,653	0,903	1,000	0,785	0,953	0,929
Metal depletion	0,019	0,019	0,018	0,018	0,015	0,015	0,476	0,651	1,000	0,078	0,063	0,073	0,082	0,083
Fossil depletion	0,036	0,036	0,035	0,035	0,020	0,020	0,204	0,262	0,380	0,515	0,569	0,854	1,000	0,947