

Earth, Life & Social Sciences

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

TNO-rapport**TNO 2016 R10104 (vs3)****Verdiepend onderzoek ballonnen in het
mariene milieu**

Datum	4 mei 2016
Auteur(s)	TNO E.D. Boukris MSc, Dr. H.R. Fischer, Dr. ir. J.W. van Groenestijn, Dr. J.S. Henzing , Ir A. van Horssen, R. Kranenburg MSc LEI Wageningen UR Dr. ir. S. Reinhard, Ir. P. Rijk
Aantal pagina's	58 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Leefomgeving
Projectnaam	Verdiepend onderzoek ballonnen in het mariene milieu
Projectnummer	060.20280

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2016 TNO

Samenvatting

In opdracht van Rijkswaterstaat en het ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft TNO een verdiepend onderzoek uitgevoerd om de impact van ballonnen in het mariene milieu te analyseren.

De focus van dit onderzoek is latex ballonnen gevuld met helium die worden opgelaten in Nederland. Deze ballonnen worden soms voorzien van een touwtje, kaartje, ventiel of Hifloat (een middel dat zorgt voor een langere zweeftijd). Deze materialen zijn ook meegenomen.

In de studie worden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

- Hoeveel ballonnen worden in Nederland jaarlijks opgelaten?
- Waar in het milieu belanden deze in Nederland opgelaten ballonnen?
- Wat is de afbreekbaarheid van latex en Hifloat?
Wat is de milieu-impact van ballonnen in het milieu?

Deze studie is uitgevoerd op basis van bestaande literatuur, interviews, een quickscan Levenscyclusanalyse van ballonnen en een berekening van de verspreiding van ballonnen, die worden opgelaten in Nederland in het luchtverspreidingsmodel LOTOS EUROS.

In Nederland zijn naar schatting 1 miljoen ballonnen opgelaten in 2014. Er zijn aanwijzingen dat het aantal opgelaten ballonnen is afgenomen in de afgelopen jaren.

Modelberekeningen laten zien dat de meeste ballonnen die in Nederland worden opgelaten neerdalen in Duitsland (ongeveer 37%), gevolgd door de Noordzee (ongeveer 23%) en daarna in Nederland (22%). Als we kijken naar het type land waar de ballonnen neerdalen is dit het meest op landbouwgrond (ongeveer 32%) gevolgd door zeewater (26%) en grasland (16%).

De plek waar een ballon neerdaalt, bepaalt hoe snel het latex van de ballon wordt afgebroken. Afbraak van latex hangt onder andere samen met zuurstof, zonlicht, temperatuur en aanwezige micro organismen. Latex is afbreekbaar onder de juiste omstandigheden. In laboratoria in condities waar zuurstof aanwezig is, kan dit binnen 2 maanden, als geen zuurstof aanwezig is kan afbraak in laboratoria een jaar duren. In zoetwater in de natuur neemt de volledige afbraak ongeveer 2 jaar in beslag als zuurstof aanwezig is. Voor zeewater geldt bij aanwezigheid van zuurstof een afbraaktijd van 2-5 jaar. Als er geen zuurstof bij het latex komt zal de afbraak naar waarschijnlijkheid langer duren, al is hier weinig onderzoek naar gedaan in de natuur. Hifloat, het middel dat wordt gebruikt om ballonnen langer te laten zweven, heeft een kortere afbreektijd dan latex en zal daarom de afbraaktijd van ballonnen niet vergroten.

Ballonnen kunnen dus een aantal jaren in het milieu aanwezig zijn. Allereerst is in deze studie gekeken hoe groot de impact van het neerdalen van ballonnen is vergeleken met de rest van de levenscyclus (grondstoffenwinning en productie van de materialen). Hierbij is uitgegaan van een latex ballon met touwtje (polypropyleen, PP), kaartje, ventiel (PP) en helium.

Hieruit blijkt dat de kosten van het opruimen van het zwerfafval meer dan de helft zijn van de maatschappelijke kosten van de hele levenscyclus .

De belangrijkste risico's van ballonnen in het milieu zijn accumulatie van latex en PP in organismen, verstrikking en verstikking. Naar verstikking en verstrikking is slechts beperkt onderzoek gedaan. Verstikking en verstrikking door ballonnen wordt door experts genoemd als een risico op schade in het milieu. Huidige studies naar de impact van plastics in het milieu laten zien dat dit incidenteel voorkomt en het risico relatief klein is. Deze studies zijn vaak gedaan op toegankelijke plaatsen in het milieu, het is moeilijk om deze studie uit te voeren op minder toegankelijke plaatsen in bijvoorbeeld de diepzee. Meer onderzoek is nodig om het risico beter in kaart te brengen.

Accumulatie van latex en PP in organismen komt regelmatig voor, in hoeverre dit te relateren valt aan ziekte of sterfte is nog niet voldoende onderzocht.

Op basis van onderzoek naar de toxiciteit van latex condoms kan worden verwacht dat latex ballonnen niet toxisch zijn. Wel kunnen bepaalde additieven die worden toegevoegd aan ballonnen toxisch zijn, in dit onderzoek is geen informatie gevonden over additieven in ballonnen (producenten hebben dit ook niet aangeleverd). Ook zijn geen specifieke studies gevonden naar de toxiciteit van ballonnen. Op basis van onderzoek naar toxiciteit van PP materialen (o.a. plastic clipjes, emmers en een gereedschapskist van PP) kan verwacht worden dat ventielen en lintjes niet toxisch zijn. Er zijn geen specifieke studies gevonden naar de toxiciteit van ventielen en lintjes.

Mogelijk kunnen persistente organische stoffen zich binden aan latex ballonnen, PP ventielen en PP lintjes in het milieu, hiernaar is onvoldoende onderzoek gedaan om conclusies aan te kunnen verbinden. Vervolgonderzoek kan hier meer inzicht ingeven.

Voor latex ballonnen zijn op dit moment geen alternatieve materialen beschikbaar met vergelijkbare eigenschappen die een lagere milieu impact hebben en sneller afbreken. Voor lintjes en ventielen van polypropyleen zijn wel alternatieven beschikbaar die sneller afbreekbaar zijn. Dit kunnen materialen zijn op basis van fossiele grondstoffen of biomassa.

Bijzonder geschikt zijn de polymeren op basis van petroleum; polycaprolactone, alifatische polyesters zoals polybutylenen succinate, polyvinylalcohol en (deel-gehydrolyseerd) polyvinyl acetaat (petroleum gebaseerde grondstoffen). Daarnaast zijn ook polymeren direct gevormd vanuit biomassa zeer geschikt zoals polyhydroxybutyrate, polylactide en op zetmeel gebaseerde materialen.

Summary

TNO was commissioned by 'Rijkswaterstaat' and the 'Ministry of Infrastructure and the Environment' to study the environmental impact of balloons in the marine environment. The results of this work are summarized here.

The study focuses on helium balloons made of latex, which are launched in the Netherlands. Sometimes the balloons are equipped with valves, ribbons/ strings, cards and/ or Hifloat (substances which makes helium filled latex balloons float longer). These materials are also taken into account in this study.

The study answers the following research questions:

- How many balloons are launched in the Netherlands each year?
- Where do these launched balloons end up?
- What is the biodegradability of latex and Hifloat in the environment?
- What is the environmental impact of balloons in the environment?

The study is based on literature, surveys, and a quick scan Life Cycle Analysis. To calculate the distribution of balloons in the environment the regional chemistry transport model LOTOS-EUROS is used.

It is estimated that approximately one million balloons were launched in 2014. There are indications that the number of balloon launches has declined in recent years.

Model calculations show that most balloons launched in the Netherlands come down in Germany (approximately 37%), followed by the North Sea (23%) and the Netherlands (22%). If we focus on the types of land in which balloons end up, most balloons will fall on agricultural land (approximately 32%), followed by seawater (26%) and grassland (16%).

How the latex material of a balloon biodegrades depends on the environment in which a balloon ends up. Biodegradation of latex depends, among other things, on oxygen levels, sunlight, temperature, and the presence of microorganisms. In the right circumstances latex is biodegradable. In laboratory settings with oxygen present, latex biodegrades within two months. In laboratory settings without oxygen present, biodegradation of latex will take one year. Under natural conditions with oxygen available, complete biodegradation in freshwater and sea water takes approximately two and two to five years, respectively. If no oxygen is present the biodegradation of latex probably will take longer, however little research has been done on biodegradation of latex in nature without oxygen present. Hifloat biodegradation will take a shorter period of time (based on studies in laboratories and freshwater). It is therefore unlikely that Hifloat will increase the biodegradation period of balloons.

Since it takes time to biodegrade latex balloons, they will be present in the environment for several years. In this study the impact of the end of life of the balloons (assuming a complete cleanup of all balloons) has been compared to the impact of the rest of the life cycle of a balloon (raw material mining and production process of the balloons).

In this analysis we considered a latex balloon together with a card, valve, and helium. From the quick scan analysis it becomes apparent that over 50% of the societal costs related to balloons originate from the cleaning costs in the end of life phase.

Risks associated with latex balloons in the environment are accumulation of latex in organisms, and entanglement and suffocation of animals. Limited research has been conducted on entanglement and suffocation caused by balloons in the environment. Based on expert judgement, entanglement and suffocation are mentioned as a risk to environmental damage. The few existing studies into this effect show incidental entanglement and suffocation due to plastics, but according to these studies the risks are relatively low. These studies have been conducted in relatively easily accessible environments. It is very difficult to conduct these studies in environments which are less accessible, for example the deep-sea. Additional research is necessary to better map the risk of entanglement and suffocation related to balloons.

Accumulation of latex and PP in organisms is frequently found. Limited research has been done on how this relates to morbidity or mortality of these animals. Therefore no conclusion on the effect of accumulation of latex and PP in organisms can be drawn.

Based on toxicity research of latex condoms it can be expected that latex balloons are not toxic. However additives added to the balloons could be toxic. In this study no information was found on additives in latex balloons (producers of latex balloons also did not provide this information). No specific studies on the toxicity of balloons were found.

Based on the toxicity of PP materials (e.g. plastic clips, baskets and toolboxes) it can be expected that valves and ribbons are not toxic. However no specific studies on the toxicity of valves and ribbons were found.

Potentially persistent organic pollutants (POPs) could bind to latex balloons, PP valves, and PP ribbons. Too limited research has been done to draw conclusions upon. Future research should provide more insight on this topic.

For latex balloons at this moment no alternative materials are available with comparable characteristics, lower environmental impacts and/or a higher biodegradability.

For ribbons and valves alternative materials with a higher biodegradability than PP are available. These could be either biobased or fossil based materials.

Particularly suitable petroleum based polymers are; polycaprolactone, aliphatic polyesters (e.g. polybutylene succinate, polyvinyl alcohol and (partly hydrolyzed) polyvinyl acetate. The following biobased polymers are also particularly suitable to replace the PP in ribbons and valves; polyhydroxybutyrate, polylactide and starch based materials.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
	Summary	4
1	Inleiding	8
2	Afbakening van de studie: type ballonnen	9
3	Methode	10
4	Het oplaten van ballonnen in Nederland	11
4.1	Grote oplatingen	12
4.2	Koninginnedag/Koningsdag.....	13
4.3	Bruiloften.....	14
4.4	Scholen.....	15
4.5	Openingen	15
4.6	Andere gebeurtenissen	15
4.7	Totaal aantal ballonnen in Nederland.....	16
4.8	Onzekerheidsanalyse	16
4.9	Verdeling aantal opgelaten ballonnen per provincie	17
5	Verspreiding van de opgelaten ballonnen in Nederland	19
5.1	Aannames in het model.....	19
5.2	Resultaten: neergekomen ballonnen in Nederland	22
6	Afbreekbaarheid van latex en Hifloat	25
6.1	Wat is biodegradatie	25
6.2	Ballonnen: de afbraak van latex in het algemeen	25
6.3	Afbreekbaarheid van ballonnen op land, onder de grond, in zoetwater, diep water en zeewater	28
6.4	Nadere uitleg van de afbraak van latex in de natuur: literatuurstudie	29
6.5	Nadere uitleg van de afbraak van latex: literatuurstudie van experimenten in laboratoria.....	32
6.6	Hifloat: biologische afbraak	33
6.7	Samenvattend: biodegradatie.....	34
7	De ecologische schade van het oplaten van ballonnen in Nederland	35
7.1	Quickscan LCA	35
7.2	Polymeren in het milieu; Latex en PP.....	37
7.3	Literatuurstudie: de ecologische impact van ballonnen, ventielen en lintjes in het mariene milieu	38
8	Alternatieve materialen	41
9	Conclusie.....	42
10	Referenties	47
11	Ondertekening	51

Bijlage(n)

- A Resultaten van Kaarsemaker met betrekking tot het aantal opgelaten ballonnen in Nederland
- B Achtergrond informatie LCA

1 Inleiding

Ballonnen die worden opgelaten tijdens bijvoorbeeld evenementen belanden uiteindelijk in het milieu (in het water of op het land). In 2014 heeft adviesbureau Lichte Bries een verkenning uitgevoerd naar het aantal ballonoplatingen en de effecten van de ballonnen die in het mariene milieu terecht komen. In 2015 is het rapport van Lichte Bries afgerond. Daarin zijn onderstaande aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek. TNO is gevraagd een studie te doen naar deze vervolgvragen.

In een aantal gesprekken met Rijkswaterstaat en het ministerie van Infrastructuur en Milieu is de scope van de vervolgvragen verduidelijkt en zijn de volgende hoofdvragen aan TNO voorgelegd:

- Hoeveel ballonnen worden jaarlijks opgelaten in Nederland? Welk percentage belandt op land en welk in zee?
- De afbreekbaarheid van latex: hierbij is behoefte aan een onderschrijving van de conclusies over afbreekbaarheid van latex in het rapport van Lichte Bries door een derde partij. Daarnaast wordt gevraagd om een aanvulling van informatie voor wat betreft de volledige afbraak van latex tot het punt dat de reststoffen weer worden opgenomen in de voedselkringloop. Hoe verhoudt dit zich tot het onderzoek van Burchette uit 1989?
- De schade van ballonoplatingen: hierbij is behoefte aan een verificatie van en aanvulling op de ecologische schade van ballonoplatingen.
- Is het mogelijk om uitspraken te doen over mogelijke milieu afbreekbare alternatieven voor de ballonnen, ventielen en touwtjes (mocht blijken dat de op dit moment gebruikte materialen niet afbreekbaar zijn)?

Deze studie is uitgevoerd door een multidisciplinair team van onderzoeksinstituut TNO en LEI Wageningen UR bestaande uit experts op het gebied van onder andere microbiologie, chemie, meteorologie en milieukunde.

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

In hoofdstuk 2 zal de afbakening van de studie worden besproken. In hoofdstuk 3 zal per onderdeel kort de methode van het onderzoek worden besproken, deze methode zal verder per hoofdstuk worden toegelicht. In hoofdstuk 4 zal voor de Nederlandse situatie worden besproken hoeveel ballonnen jaarlijks worden opgelaten en hoe deze ballonnen zich verspreiden. Hoofdstuk 5 zal de afbreekbaarheid van latex en Hifloat bespreken. In hoofdstuk 6 zal voor het oplaten van ballonnen besproken worden wat de ecologische schade is voor zover bekend. Tot slot zal besproken worden in hoeverre alternatieve materialen beschikbaar zijn die zouden kunnen worden gebruikt voor ballonnen en touwtjes.

2 Afbakening van de studie: type ballonnen

Deze studie richt zich op met helium gevulde latex ballonnen die worden gebruikt bij oplatingen in Nederland. De samenstelling van latex ballonnen is opgevraagd bij een aantal producenten maar deze gegevens zijn niet beschikbaar gesteld. Wel is bekend dat een ballon voor het grootste gedeelte (> 95%) uit latex bestaat. Om ballonnen langer in de lucht te houden wordt soms een laagje van Hifloat in de ballon gespoten. Ballonnen die worden opgelaten, worden regelmatig voorzien van een lint en kaartje. Bij het bespreken van de ecologische schade en de alternatieve materialen wordt dit ook meegenomen.

Latex ballonnen zijn slechts een type ballon. Andere veel voorkomende ballonnen zijn bijvoorbeeld folieballonnen. Ook Thaise wensballonnen komen steeds vaker voor. Deze wensballonnen bestaan meestal uit papier rondom een metalen of bamboe frame. Ze worden door middel van een vlammetje opgelaten. Het papier van deze wensballonnen zal over het algemeen verbranden. Bij verbranding komen emissies vrij. Het frame (zeker wanneer dit van metaal is) zal in het milieu belanden als zwerfafval. Metalen in het milieu kunnen schade veroorzaken. Deze typen ballonnen zijn in voorliggende studie verder buiten beschouwing gelaten. De impact van deze wensballonnen is niet nader onderzocht. Vervolgonderzoek zou hier meer inzicht in kunnen geven.

Voor de afbreekbaarheid richt deze studie zich op latex en Hifloat, andere materialen, zoals de kaartjes of de plastic lintjes, blijven buiten beschouwing.

In deze studie is alleen gekeken naar ballonnen die in Nederland worden opgelaten, ballonnen die in andere landen worden opgelaten en in Nederland neerdalen zijn niet meegenomen in de berekeningen.

3 Methode

Zoals eerder beschreven, bestaat deze studie uit de volgende onderdelen:

- Inschatting van het aantal opgelaten ballonnen;
- Inschatting van de verspreiding van in Nederland opgelaten ballonnen;
- Afbreekbaarheid van latex en Hifloat;
- De ecologische schade van ballonnen;
- Alternatieve materialen voor ballonnen.

Per onderdeel wordt in dit hoofdstuk kort de methode van het onderzoek beschreven. Verdere details zijn per hoofdstuk beschreven.

Voor de inschatting van het aantal opgelaten ballonnen heeft onderzoeksinstituut LEI Wageningen UR gebruik gemaakt van bestaande literatuur, telefonische interviews en analyse van informatie op websites. Telefonische interviews zijn onder andere gehouden met de Operationele Helpdesk Luchtverkeersleiding (OHL), de Koninklijke Bond van Oranjeverenigingen en Monuta Den Haag.

Voor de verspreiding van opgelaten ballonnen in Nederland is gebruik gemaakt van bestaande literatuur (voor zover beschikbaar) en uitslagen van ballonnenwedstrijden om te bepalen hoe ballonnen zich gedragen wanneer ze worden losgelaten (stijghoogte, zweefduur, vorm waarin de ballonnen neerdalen).

Deze gegevens zijn gebruikt als input in het LOTOS-EUROS model (Schaap et al., 2008). Dit model wordt gebruikt door TNO, KNMI en RIVM om een dagelijkse verwachting van de luchtkwaliteit te geven. Doorgaans wordt dit model gebruikt om het transport van luchtverontreinigende stoffen te bepalen. Nu is het gebruikt om het transport van ballonnen te modelleren.

De afbreekbaarheid van latex en Hifloat en mogelijke alternatieve materialen zijn onderzocht aan de hand van bestaande literatuur.

Om de ecologische schade van het loslaten van ballonnen te bepalen is gebruik gemaakt van een quickscan Levenscyclusanalyse (LCA). Om de precieze samenstelling van ballonnen te bepalen is contact gezocht met diverse producenten en branchevereniging de Groene Ballon. Vanwege vertrouwelijkheid van gegevens is de precieze samenstelling van ballonnen niet vastgesteld. Op basis van de bekende materialensamenstelling is een analyse gemaakt. Hiervoor is gebruik gemaakt van de Ecoinvent database. De milieu impact is uitgerekend in schaduwkosten (zie bijlage). Omdat de impact van zwerfafval (zoals van ballonnen) in de LCA methodiek nog niet kunnen worden meegenomen, zijn hiervoor de kosten gebruikt voor het opruimen van zwerfafval. Hierbij is op basis van algemene kosten voor zwerfafval een ruwe inschatting gebruikt voor het opruimen van afval afkomstig van ballonnen.

Deze quickscan LCA is aangevuld met literatuurstudie van onderzoeken gerelateerd aan de ecologische schade van latex en polymeren.

4 Het oplaten van ballonnen in Nederland

Het LEI heeft in dit hoofdstuk een inschatting gemaakt van het aantal ballonnen dat jaarlijks wordt opgelaten in ons land, waarbij ook een verdeling over provincies wordt gegeven. Dit omdat de locatie waar een ballon wordt opgelaten mede bepalend is voor de locatie waar een ballon uiteindelijk neerkomt. De inschatting van het aantal ballonnen wordt gebaseerd op het rapport van Kaarsemaker (2015). De onderliggende data en redeneringen worden gereviewed in dit hoofdstuk. Uit Kaarsemaker (2015) komt naar voren dat er mogelijk ruim 2 miljoen ballonnen per jaar worden opgelaten (zie bijlage A voor een overzicht van zijn resultaten). Deze deskstudie is gebaseerd op bestaande literatuur (onder andere Kaarsemaker, 2015 en Reinhard et.al, 2012), telefonische interviews en analyse van websites. Kaarsemaker onderscheidt de volgende categorieën ballonoplatingen:

- Grote opelingen op basis van de Operationele Helpdesk Luchtverkeersleiding;
- Oplatingen op Koninginnedag/ Koningsdag;
- Oplatingen tijdens bruiloften;
- Oplatingen bij festiviteiten van scholen;
- Oplatingen bij bedrijfsopeningen;
- Oplatingen bij begrafenissen;
- Overige opelingen.

De door Kaarsemaker onderscheiden categorieën ballonoplatingen worden besproken en waar nodig van kanttekeningen voorzien. Daarnaast zal in worden gegaan op de onzekerheid van de gemaakte inschatting en wordt een inschatting per provincie besproken.

De inschatting van de hoeveelheden ballonnen door LEI zijn in het verdere rapport gebruikt als basis om de verspreiding van ballonnen in het milieu en de ecologische schade in Nederland te bepalen.

In Tabel 1 is een samenvatting van het geschatte aantal ballonnen gegeven, deze getallen worden hierna toegelicht.

Tabel 1 Geschatte aantal opgelaten ballonnen in Nederland in 2015. De verschillen met Kaarsemaker zijn vet weergegeven.

	Toelichting in paragraaf	Rekeneenheid	% dat ballonnen oplaat	Geschat aantal ballonnen per oplating	Totaal
Grote oplatingen	2	9 gemelde oplatingen 2/3 wordt gemeld		1300	262.000
Koningsdag	3	1100 Oranjevereniging en	19% van de Oranjeverenigingen	100	20.000
Bruiloften	4	65.000 per jaar	3-5 %	40	117.000
Scholen	5	7500	5%	100	37.500
Openingen	6	5 per werkdag		150	195.000
Begrafenissen	7.1	139.223 per jaar	2%	25	69.600
Andere gebeurtenissen	7.2	7 per dag		100	292.000
Totaal					993.100

4.1 Grote oplatingen

Bij de berekening van het aantal ballonnen opgelaten bij "grote oplatingen" is uitgegaan van gegevens van de Operationele Helpdesk Luchtverkeersleiding (OHL, 2016). Het officiële beleid is dat rondom 8 km van vliegvelden grote ballonoplatingen moeten worden gemeld bij deze dienst. Dit geldt voor alle gecontroleerde luchtvaartterreinen. Dus naast Schiphol ook die van onder andere Rotterdam-Den Haag, Eindhoven, Maastricht, Leeuwarden. Boven de 1000 ballonnen wordt het als "grote oplating" beschouwd. Ballonnen mogen i.v.m. de vliegveiligheid niet groter zijn dan 75 cm doorsnee, niet meer dan 30 gram wegen, niet samengebonden worden en geen metaal bevatten.

Kaarsemaker (2015) vermeldt 15 grote oplatingen in de buurt van vliegvelden in 2011. Toen ging het om gemiddeld ruim 3.000 ballonnen per gemelde ballonoplatings. Vervolgens is dit gegeven geëxtrapoleerd naar het hele land (hij gebruikt een factor 10). De factor 1,33 is gebruikt vanwege het feit dat ca. een derde van de grote oplatingen naar alle waarschijnlijkheid niet wordt gemeld. Als een derde van de "grote oplatingen" niet zou worden gemeld, is een factor 1,5 nodig.

Over 2012 zijn geen data beschikbaar bij deze Helpdesk. In 2013 zijn er 22 geregistreerde oplatingen geweest met in totaal 20.800 ballonnen. Aangezien dit gemiddeld 945 ballonnen per oplating zijn, is een deel van de gemelde oplatingen geen "grote oplating".

In 2014 waren er 9 geregistreerde oplatingen (11.800 ballonnen; gemiddeld 1311 ballonnen per oplating). Hiervan waren 5 oplatingen met meer dan 1.000 ballonnen.

Bij telefonische navraag (14 juli 2015) bij deze Helpdesk bleek dat er in 2015 tot 1 juli nog maar voor één grote oplating voor 2.500 ballonnen toestemming was gevraagd. Er waren wel verschillende minder grote oplatingen gemeld (hoeveel precies kon men niet zeggen).

Er komen dus ook meldingen bij deze Helpdesk voor kleinere oplatingen die men wil gaan doen. Volgens informatie van deze dienst betreft dit ongeveer 5 vragen/meldingen per week. Voor het merendeel betreft dit oplatingen van enige tientallen ballonnen per keer. Soms betreft dit 100-200 ballonnen.

Het aantal grote oplatingen is de afgelopen jaren (sterk) teruggelopen. Het in door Kaarsemaker (2015) vermelde aantal van 15 met gemiddeld 3.000 ballonnen (situatie 2011) lijkt te hoog. Het lijkt beter om uit te gaan van de situatie in 2014; 9 oplatingen met totaal 11.800 ballonnen.

Om het aantal gemelde oplatingen naar het gehele land door te trekken, nemen we aan dat het aantal opgelaten ballonnen per gebied evenredig is aan het aantal inwoners. Daarom is een inschatting gemaakt van het aantal inwoners binnen 8 km van een gecontroleerd luchtvaartterrein (OHL, 2016). Nabij deze vliegvelden bevinden zich steden als Amsterdam, Haarlem, Amstelveen, Hoofddorp, Rotterdam, Schiedam, Eindhoven, Veldhoven, Maastricht, Leeuwarden. Op basis van de kaart waarin deze 8km zones zijn ingetekend (OHL, 2016) is het percentage van de inwoners per gemeente ingeschat dat in deze zone woont. Gekoppeld aan het aantal inwoners van deze gemeenten (Bron: CBS-bevolkingsstatistiek), blijkt dat 6,76 procent van de bevolking van Nederland in deze zone ligt. Een ophoogfactor van 14,8 is gebruikt om de gemelde "grote oplatingen" bij de Operationale Helpdesk Luchtverkeersleiding op te schalen naar heel Nederland.

Op basis van bovengenoemde redenering en ervan uitgaand dat ongeveer een derde van de grote oplatingen niet wordt gemeld, zijn er in Nederland in 2014 **262.000 ballonnen** die bij "grote oplatingen" opgelaten worden ($11.800 \times 1,5 \times 14,8$). Dat is minder dan de helft van de het aantal in Kaarsemaker (2015).

4.2 Koninginnedag/Koningsdag

Er zijn in totaal 1100 Oranjeverenigingen/oranjecomités. Zij proberen op dit moment in hun nieuwsbrief op te roepen om minder ballonoplatingen te organiseren op Koningsdag en op 5 mei vieringen. Men heeft niet onderzocht of dat ook daadwerkelijk minder gebeurt. In 2011 schatte men het aantal ballonoplatingen bij de aangesloten verenigingen op 25 à 30%. De indruk bestaat dat het bij de troonwisseling in 2013 veel meer waren. Voor 2014 en 2015 schat de Koninklijke Bond van Oranjeverenigingen in dat er veel minder oplatingen waren dan in 2013.

Er is contact opgenomen met de Koninklijke Bond van Oranjeverenigingen en van 26 Oranjeverenigingen zijn websites bezocht en/of telefonische interviews geweest: het betrof de volgende plaatsen: Alphen-Aarlanderveen, Amerongen, Apeldoorn, Besoyen, Burgh-Haamstede, Dordrecht, Drachten, Driebergen, Geldermalsen, Genderen, Gouda, Groningen, Haarlem, Harderwijk, Heinkenszand, Kampen, Leiden, Lelystad, Pijnacker, Rotterdam, Rouveen, Rijswijk, Tiel, Tilburg, Schoonhoven en Veere.

Bij 5 van 26 Oranjeverenigingen was er bij de recente in 2015 Koningsdag-/Bevrijdingsdagviering sprake van aan ballonoplating.

Dit percentage (19%) is een lager dan eerder verondersteld. Er was op Koningsdag sprake van ballonwedstrijden in Gouda, Heinkenszand, Veere, Dordrecht en Driebergen.

In Gouda was 2015 de laatste keer dat de Oranjevereniging een ballonnenwedstrijd hield. Dit was vooraf aangekondigd, waardoor er ongeveer een derde meer ballonnen werd opgelaten in vergelijking met eerdere jaren (in 2015 700 ballonnen). Uit Gouda zijn 32 ballonnen (4,6%) teruggemeld. De verste afstand was 204 km (Emmer Compascium). De gemiddelde afstand was 81 km. Uit Heinkenszand (350 ballonnen) zijn 12 ballonnen terug gemeld (3,4%). De verste afstand was ook hier 200 km (Zuid-Limburg). In de dorpen doet gemiddeld 7,5% van de bevolking mee met de ballonnenwedstrijd als deze georganiseerd wordt. In de steden is dit veel lager (0,7% doet mee).

Op basis van de bovenstaande gegevens en m.b.v. een bewerking van de CBS-statistiek "aantal inwoners per gemeente per 1 januari 2014", waarbij de steden met meer dan 25.000 inwoners en de meer landelijke gemeenten afzonderlijk beschouwd zijn, is een overzicht gemaakt van het aantal ballonoplatingen op Koningsdag 2015.

Uitgangspunten bij deze berekening:

- Er zijn 6500 dorpen en steden in Nederland;
- Er zijn 1100 Oranjeverenigingen/comités; 16,9 % (1100/6500) van de dorpen of steden heeft een Oranjevereniging/comité;
- In dorpen of steden met een Oranjevereniging heeft in 2015 19% een ballonwedstrijd georganiseerd.

Uit de berekening kwam naar voren dat er op Koningsdag 2015 ongeveer **20.000 ballonnen** zijn opgelaten. Dit is een vijfde minder dan verondersteld door Kaarsemaker (2015).

4.3 Bruiloften

Er is een verschil van inzicht rondom het aantal opgelaten ballonnen bij bruiloften in de eerdere rapportage van het LEI (86.000 ballonnen; Reinhard et al., 2012) en Kaarsemaker, (2015) met 162.500 ballonnen. In het LEI rapport is ervan uitgegaan dat vooral in de 5 zomermaanden (mei t/m sep) ballonnen worden opgelaten. Kaarsemaker veronderstelt dat er bij bruiloften het hele jaar ballonnen worden opgelaten. Dit is verondersteld op basis van bekeken "youtube"- filmpjes. Bij de "youtube"- filmpjes dient wel bedacht worden dat waarschijnlijk de wat spectaculairdere oplatingen met veel ballonnen opgenomen zijn en op internet zijn gezet.

Waar wel overeenstemming over was is het gemiddelde aantal ballonnen per oplosing (50). Dit lijkt aan de hoge kant. Niet elke gast laat een ballon op. Ook een gemiddelde van 50 aanwezige gasten lijkt aan de hoge kant. Bij de nieuwe berekening wordt van gemiddeld 40 opgelaten ballonnen per bruiloft uitgegaan. In de niet-zomermaanden wordt bij een kleiner percentage van de bruiloften ballonnen opgelaten.

Onze berekening gaat uit van de volgende veronderstellingen:

- 65.000 bruiloften in 2014, waarvan $\frac{3}{4}$ in de zomermaanden met 5% oplosingen met 40 ballonnen: $65.000 \times \frac{3}{4} \times 0.05 \times 40 = 97.500$

- 65.000 bruiloften in 2014, waarvan $\frac{1}{4}$ in de niet-zomermaanden met 3% oplatingen met 40 ballonnen: $65.000 \times \frac{1}{4} \times 0.03 \times 40 = 19.500$

Hiermee komt het totaal aantal opgelaten ballonnen op **117.000**. Dit is meer dan in Reinhard et al. (2012) maar minder dan in het rapport van Kaarsemaker (2015).

4.4 Scholen

Bij festiviteiten op scholen nemen we hetzelfde aantal ballonoplatingen aan Kaarsemaker (2015). Bij één op de 20 scholen worden jaarlijks 100 ballonnen opgelaten. Bij 7500 scholen betekent dit $7500 \times 0,05 \times 100 = \mathbf{37.500}$ ballonnen.

4.5 Openingen

In Kaarsemaker (2015) wordt uitgegaan van 5 bedrijfsopeningen per dag met een ballonoplatings. Er zouden dan 500 ballonnen worden opgelaten. Dit is veel meer ballonnen per oplating dan in het eerdere LEI rapport (100 per oplating). Dit wordt gemotiveerd omdat op "youtube"- filmpjes sprake is van veel grotere aantallen. Hierbij past de kanttekening dat waarschijnlijk vooral de grote wat spectaculaire oplatingen op internet zijn gezet. Bij de kleinere oplatingen zal dit veel minder het geval zijn. Daarnaast zijn de oplatingen met meer dan 1000 ballonnen al meegerekend bij de categorie "grote oplatingen". We hanteren 150 ballonnen per oplating, mede op basis van de informatie van de Operationale Helpdesk Luchtverkeersleiding die ook informatie krijgt over kleinere oplatingen, (zie paragraaf 2). Dit aantal is iets meer dan Reinhard et al. (2012) rapporteerden.

Verder komt de vraag aan de orde of de aanname van 5 bedrijfsopeningen per dag met een ballonoplatings realistisch is. Om dit enigszins in perspectief te zien: in Nederland zijn er 422.268 midden- en kleinbedrijven (exclusief ZZP-ers, Bron: Kamer van Koophandel, 2014). Verder waren er in 2014, 21.100 startende bedrijven; exclusief ZZP-ers. Een aantal van 5 bedrijfsopeningen met een ballonoplatings per werkdag betekent 1300 ($5 \times 5 \times 52$) ballonoplatings per jaar. Dat is bij 2,7 % van de openingen. Dit lijkt een redelijk uitgangspunt.

Bedrijven zullen mogelijk bij een opening van een nieuw pand of verbouwing ballonnen oplaten. Bij de veronderstelling dat dit gemiddeld eens in de 15 jaar zal gebeuren betekent dit ruim 28.000 verbouwingen/openingen per jaar. Als we de jaarlijkse startende bedrijven (ruim 21.000) hierbij optellen dan komen we op het potentiële aantal openingen van 49.000.

Uitgegaan wordt van hetzelfde aantal oplatingen als in Kaarsemaker (2015). Bij 5 oplatingen per werkdag (1300 per jaar) en gemiddeld 150 ballonnen komen we op **195.000 ballonnen**.

4.6 Andere gebeurtenissen

Onder andere gebeurtenissen worden gelegenheden verstaan zoals jubilea van bedrijven, verenigingen, musea, verjaardagen, herdenkingen van trouwdata, carnaval, dorpsfeesten, openlucht feesten/concerten en begrafenissen. Het voert te ver in het kader van dit onderzoek om op elk van de hiervoor vermelde gebeurtenissen in te gaan. Alleen voor begrafenissen is het aantal ballonnen uitgewerkt.

Begrafenissen

Eén van de momenten, waarop meer dan voorheen ballonnen worden opgelaten, is bij begrafenis. Ballonnen worden vaker opgelaten bij iemand die jong is overleden.

Om hier meer zicht op te krijgen is er telefonisch contact geweest met Monuta Den Haag (het hoofdkantoor heeft deze informatie niet).

Daar vertelde men dat ballonoplatingen bij 5 à 6 begrafenis per jaar bij hen voor komen. Dit op een totaal aantal begrafenis van 250 à 300 (2%) van Monuta Den Haag. Dit ging dan gemiddeld om ongeveer 25 ballonnen per keer. Per 100 begrafenis gaat het omgerekend dus om 50 ballonnen.

In 2014 zijn er in 139.223 mensen overleden (Bron: CBS). Dit zou dus betekenen dat er bij begrafenis ongeveer $50 \times 1.392,23 = 69.600$ **ballonnen** (afgerond) worden opgelaten (landelijk komt dit overeen met gemiddeld 10 opelingen per werkdag ofwel gemiddeld 7 per dag).

Berekening andere gebeurtenissen

In het rapport van Kaarsemaker (2015) wordt uitgegaan van 15 opelingen per dag voor de andere gebeurtenissen (inclusief die bij begrafenis). Als de opelingen voor de begrafenis (gemiddeld 7 per dag) hier van aftrekken komen we op 8 opelingen gemiddeld per dag. We gaan uit van hetzelfde aantal ballonnen per opeling als Kaarsemaker. Dit spoort ook met de informatie van de Operationale Helpdesk Luchtverkeersleiding (zie paragraaf 2). Het aantal **ballonnen** dat jaarlijks wordt opgelaten komt hierbij op **292.000** ($8 \times 100 \times 365$).

4.7 Totaal aantal ballonnen in Nederland

In de hoofdstukken 4.1 t/m 4.6 zijn per categorie ballonopeling de totaal opgelaten ballonnen vermeld. Dit is in tabel 1 samengevat weergegeven. In totaal zijn er in 2014 naar schatting afgerond 1 miljoen ballonnen opgelaten.

Dit is de helft van de schatting uit het rapport van Lichte Bries (2 miljoen). Dit wordt voor een belangrijk deel verklaard door het geringere aantal grote opelingen. Dit heeft te maken met het veel geringere aantal meldingen bij de Operationele Helpdesk Luchtverkeersleiding en de doorwerking daarvan naar het landelijke beeld. Ook bij de andere categorieën opelingen is sprake van een vermindering van de aantallen in vergelijking met de aantallen uit het rapport van Lichte Bries. Dit heeft vooral te maken met nauwkeuriger aannames en berekeningen en een trend naar minder ballonopelingen.

4.8 Onzekerheidsanalyse

Het bepalen van het aantal opgelaten ballonnen per jaar is met onzekerheden omgeven, omdat er aannames nodig zijn ten aanzien van aantal gebeurtenissen waarbij ballonnen wordt opgelaten en het gemiddeld aantal ballonnen dat per gebeurtenis wordt opgelaten. De belangrijkste aannames, en het gevolg voor de schatting van het aantal opgelaten ballonnen, worden hieronder toegelicht:

- Het aantal "grote opelingen" dat wordt gemeld bij de Operationale Helpdesk Luchtverkeersleiding wisselt sterk tussen de jaren. Onzekerheid schuilt hier in het percentage van alle grote ballonopelingen in het gebied binnen 8 km van een vliegveld dat wordt aangemeld en de ophogingsfactor om tot een landelijk beeld te komen.

- Er is aangenomen dat het aantal opgelaten ballonnen per inwoner in Nederland gelijk verdeeld is. Onze inschatting is dat verdere analyse niet tot grote aanpassingen zal leiden.
- Voor het aantal opgelaten ballonnen bij Koningsdag, bruiloften, begrafenissen en scholen is het percentage van Koningsdag/bruiloften/begrafenissen/scholen met ballonoplaten geschat en het gemiddeld aantal ballonnen dat per keer wordt opgelaten.
Het effect van deze onzekerheid is relatief klein omdat het totaal aantal gebeurtenissen bekend is, het percentage van deze gebeurtenissen waarbij ballonnen worden opgelaten reëel lijkt en het aandeel van deze ballonoplaten in het totaal aantal oplaten relatief beperkt is. De inschatting is dat verdere analyse niet tot grote aanpassingen zal leiden.
 - Voor het aantal ballonnen bij openingen en "andere gebeurtenissen" is het aantal openingen/"andere gebeurtenissen" geschat, evenals het percentage met ballonoplaten en het gemiddeld aantal ballonnen. De onzekerheid is groot in zowel het aantal gebeurtenissen met ballonoplaten als het aantal ballonnen dat gemiddeld wordt opgelaten. Aangezien dit twee van de drie grootste categorieën zijn, is het belang van een goede inschatting groot. Het verkleinen van de onzekerheid gaat gepaard met hoge kosten omdat er zal moeten worden gemonitord. Dit zou kunnen met een (jaarlijkse) enquête bij bedrijven en verenigingen.

Een andere manier om het aantal opgelaten ballonnen te schatten is via een enquête bij leveranciers van ballonnen en/of helium. Het voordeel van deze aanpak is dat er minder bedrijven benaderd hoeven te worden en daarmee de kosten beperkt zullen zijn. Als deze bedrijven de door hen geleverde ballonnen zouden kunnen indelen in de in dit rapport onderscheiden categorieën, wordt de betrouwbaarheid van de resultaten vergroot. Een nadeel is dat deze bedrijven een (groot) belang hebben bij het op het onderzoek gebaseerde beleid, dit kan van invloed zijn op hun bereidheid om mee te doen of op de betrouwbaarheid van hun informatie.

4.9 Verdeling aantal opgelaten ballonnen per provincie

Voor de berekening van de verdeling van het aantal opgelaten ballonnen per provincie wordt er van uitgegaan dat het totale aantal ballonnen dat opgelaten wordt recht evenredig is met het aantal inwoners per provincie.

Tabel 2 Verdeling van het aantal opgelaten ballonnen in 2014 per provincie

Provincie	Percentage inwoners van Nederland	Aantal opgelaten ballonnen
Groningen	3,5	34.759
Friesland	3,8	37.738
Drenthe	2,9	28.800
Overijssel	6,8	67.531
Flevoland	2,4	23.834
Gelderland	12,0	119.172
Utrecht	7,4	73.489
Noord-Holland	16,3	161.875
Zuid-Holland	21,3	211.530
Zeeland	2,2	21.848
Noord-Brabant	14,7	145.986
Limburg	6,7	66.538
Totaal	100	993.100

5 Verspreiding van de opgelaten ballonnen in Nederland

Voor het berekenen van de verspreiding van opgelaten ballonnen in Nederland hebben we gebruik gemaakt van het chemisch transport model LOTOS-EUROS (Schaap et al., 2008). LOTOS-EUROS wordt gebruikt door TNO, KNMI en RIVM om een dagelijkse verwachting van de luchtkwaliteit te geven. Om de berekeningen te kunnen doen, maakt het model gebruik van emissies, meteorologische gegevens en informatie over landgebruik. In deze studie worden ballonnen in het model getransporteerd in plaats van de gebruikelijke luchtverontreinigende stoffen. In onderstaande paragrafen zullen eerst de aannames en onzekerheden in het model worden besproken om vervolgens op basis van deze aannames te laten zien hoe de Nederlandse ballonnen neerdalen.

5.1 Aannames in het model

Voor deze studie hebben we het model aangepast om de verspreiding van ballonnen te berekenen.

Gekozen jaar en weersomstandigheden

De berekeningen zijn gedaan voor het jaar 2014. De jaar-tot-jaar variaties in windkracht en windrichting zijn over het algemeen klein zodat de keuze voor dit specifieke jaar niet tot belangrijke onzekerheden leidt; d.w.z. in de berekening waar ballonnen uiteindelijk weer op de grond komen.

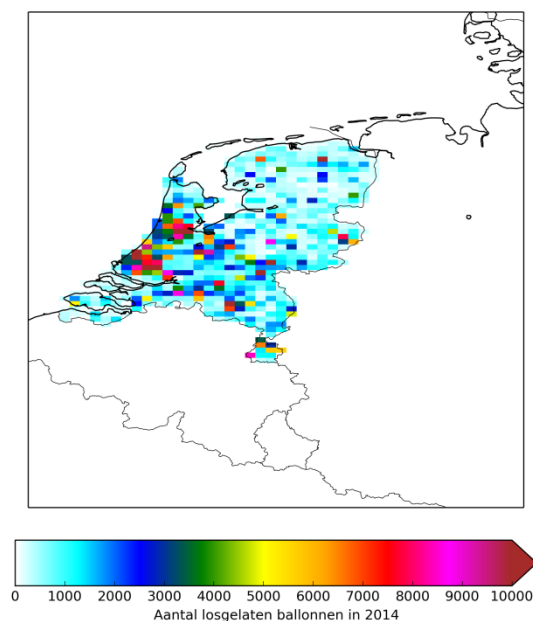
Verdeling van oplaten van ballonnen in de tijd

In het model worden alle ballonnen opgelaten tijdens de daglicht periode en wel gelijkmatig over de uren tussen 11 en 19 uur. Het oplaten van ballonnen wordt in het model gelijkmatig over het jaar gedaan. Dit leidt mogelijk tot onzekerheden in de berekende uitkomsten. Bijvoorbeeld wanneer er in de zomer en lente vaker wordt gekozen voor het opluisteren van een feest met het oplaten van ballonnen, terwijl dan de verticale menging groter en gemiddelde windsnelheid in die periode lager is dan de rest van het jaar. We verwachten echter dat onzekerheden als gevolg van deze keuze klein is t.o.v. bijvoorbeeld de aangenomen zweeftijd.

Aantal ballonnen en verspreiding over Nederland

In het model zijn oneindig veel ballonnen los gelaten, in de figuren of plaatjes waarin absolute getallen staan, is het totaal aantal deeltjes geschaald naar een totaal van 993.100 ballonnen zoals door LEI berekend voor het jaar 2014 (zie hoofdstuk 4).

De opgelaten ballonnen zijn verdeeld volgens de bevolkingsdichtheid kaart van Nederland (Figuur 1).



Figuur 1 Verdeling van de losgelaten ballonnen in 2014 (993.100 ballonnen)

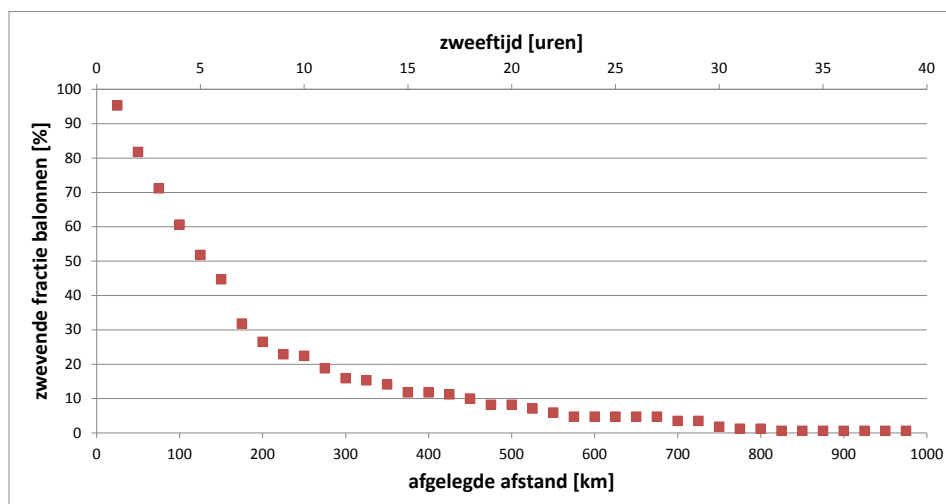
Zweefafstand

De grootste onzekerheid in de berekende zweefafstand van ballonnen betreft de levensduur. Hier is daarom extra aandacht aan geschonken. Leveranciers van helium ballonnen rapporteren veelal een levensduur tussen 8-12 uur. Deze waarden gelden voor de meest verhandelde ballonnen met een diameter van 11 inch (ongeveer 28 cm). Deze getallen voor levensduur worden niet ondersteund met referenties naar onderzoek. Een enkele leverancier heeft zelf proefondervindelijk de levensduur vastgesteld maar dan op zijn best buitenshuis op leefniveau. Wanneer de ballonnen echter hoger komen dan zwelt de ballon omdat de omgevingsdruk afneemt. De poriën in de latex ballon worden daardoor groter en helium ontsnapt sneller. Bovendien heeft UV licht grote invloed op de duurzaamheid van latex. De zweeftijd van ballonnen is daarom waarschijnlijk korter dan de gerapporteerde 8-12 uur. In een veel aangehaalde studie van Burchette (1989) naar het effect van ballonoplatingen voor het milieu (in opdracht van 'National Association of Balloon Artists') wordt gesteld dat slechts een klein percentage (5-10%) leegloopt. Het merendeel stijgt snel naar een hoogte van 8,5 kilometer waar de temperatuur zo laag is dat de latex hard of stug wordt en waar de luchtdruk zo laag is dat de ballon zwelt, totdat deze in kleine stukjes barst. Volgens Burchette (1989) 'leven' ballonnen in de atmosfeer daarom slechts ongeveer 1 uur en reizen ze niet ver. De korte levensduur en diensgevolge korte zweefafstand rijmt niet met de uitslagen van ballonwedstrijden. Farris (2009) onderzocht het effect van een zeer lage temperatuur op latex ballonnen. Zelfs bij een temperatuur van -50 °C verhardden de ballonnen niet en ze braken ook niet in kleine stukjes. Ook Irwin (2012) stelde vraagtekens het onderzoek van Burchette (1989). Met een experiment met 5400 ballonnen in vier verschillende oplatingen, om de seizoenen te representeren, concludeerde Irwin op basis van de teruggevonden ballonnen dat de ballonnen waren leeggelopen en niet geklapt op grote hoogte. De gemiddeld afgelegde afstand was iets meer dan 70 km (met een standaard deviatie van 92 km).

Irwin schatte de maximale stijghoogte op 4 tot 5 kilometer en met gemiddelde windsnelheid van 16 km/uur op die hoogte, komt dat overeen met een gemiddelde levensduur van 4,4 uur. Voor de gemiddelde afstand plus standaard deviatie vinden we 10,1 uur levensduur. Het experiment van Irwin vond plaats in een dunbevolkt deel van South Caroline en is niet direct te vertalen naar de situatie in Nederland. Slechts 40 ballonnen waren teruggevonden en de meteorologische situatie is wellicht anders.

In de literatuur wordt geen bevestiging gevonden voor een groot aantal snel stijgende en klappende ballonnen, zoals in de studie van Burchette (1989). We nemen in deze studie daarom aan dat alle ballonnen leeglopen of scheuren door bijvoorbeeld aantasting van UV licht. Anderzijds lijkt de levensduur van 8-12 uur die leveranciers communiceren te lang. Om de levensduur te schatten zijn de uitslagen van 11 willekeurige ballonwedstrijden verzameld; in totaal zijn 180 zweefafstanden gevonden. De ballonnen worden in het model op verschillende hoogten getransporteerd: 25% van de ballonnen bevindt zich tussen 2500-3000 meter, 50% tussen 3000 en 3500 meter en 25% tussen 3500-4000 meter. De keuze voor deze hoogte is arbitrair. De gemiddelde windsnelheid over het hoogte bereik, d.w.z. de grond tot 4000 meter, is ongeveer 25 km/uur. De uitslagen in kilometers-vanaf-start zijn daarom gegroepeerd in intervallen van 25 kilometer; dus 0-25km, 25-50km, etc. Van de 180 ballonnen landden er 8 in de eerste 25 kilometer. Dat is nog geen 5% en dus blijft ruim 95% nog zweven na dit eerste uur. Het percentage ballonnen dat blijft zweven, voor afstanden tot 1000 kilometer, staat in Figuur 2. Op de tweede horizontale as staat de bijbehorende zweeftijd. Na 18 uur zweeft nog maar 10% van de ballonnen. In de modelberekening wordt dit resterende deel in het volgende uur verwijderd.

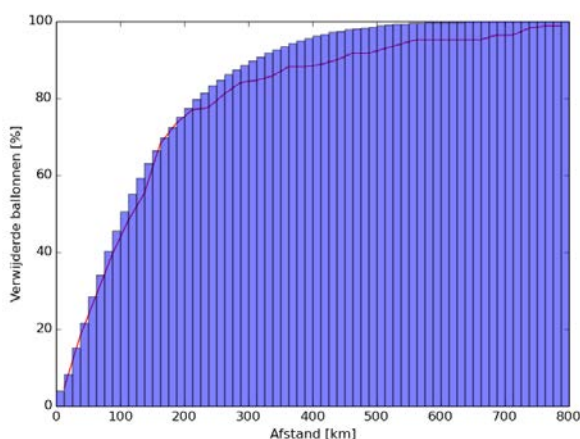
Indien ballonnen hoger komen dan de door ons aangenomen hoogten dan is de transport snelheid hoger omdat de windsnelheid toeneemt met de hoogte. De uitslagen van ballonwedstrijden staan echter model voor de transportafstand. Bij een hoger bereik zouden we tot een schatting van kortere zweeftijd zijn gekomen.



Figuur 2 Percentage ballonnen dat nog zweeft als functie van de zweeftijd in uren of als functie van de afgelegde afstand na loslating

In deze studie staan de uitslagen van een beperkt aantal ballonwedstrijden model voor de schatting van de zweefduur.

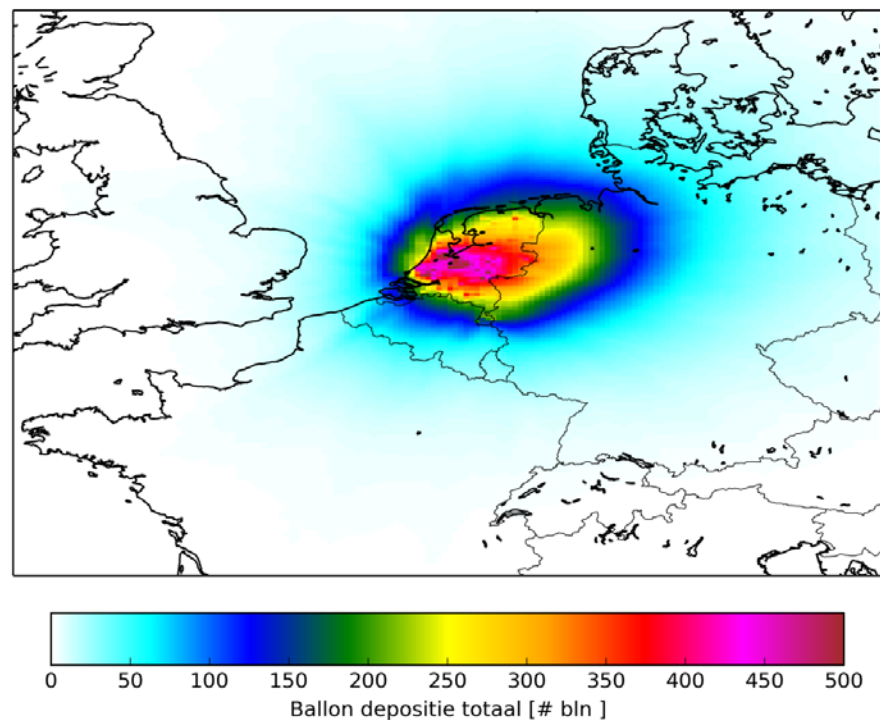
Ongeveer de helft van de ballonnen zweeft nog na 5 uur (zie Figuur 2). Om te controleren of de zweefduur en afstanden bij elkaar passen, is in het model in Utrecht theoretisch een groot aantal ballonnen opgelaten in de zomer van 2014. Met de aangenomen zweeftijden is berekend op welke afstand de ballonnen terecht kwamen onder de toen geldende meteorologische omstandigheden. In Figuur 3 staan de resultaten. De rode lijn representeert de uitslagen van de ballonwedstrijden die in Figuur 2 als rode vierkantjes staan, maar nu als percentage verwijderde ballonnen d.w.z. 100 minus zwevende fractie. De blauwe balken zijn de zweefafstanden zoals berekend met LOTOS EUROS. Tot 200 kilometer komen de berekende en gemeten afstanden overeen daarna neemt het verschil toe. Het aantal terugmeldingen voor ballonnen die een grote afstand aflegden is echter beperkt. Het wiebelige karakter van de rode lijn is hier getuige van. Voor grotere afstanden is de onzekerheid daarom groter, maar over het algemeen bevestigt de berekening dat de aanname voor een zweeftijd van 5 uur voor de gemiddelde ballon juist is.



Figuur 3 Percentage verwijderde ballonnen als functie van de zweefafstand voor de uitslagen van ballonwedstrijden (rode lijn) en voor berekeningen met LOTOS EUROS in de zomer van 2014 (blauwe histogram)

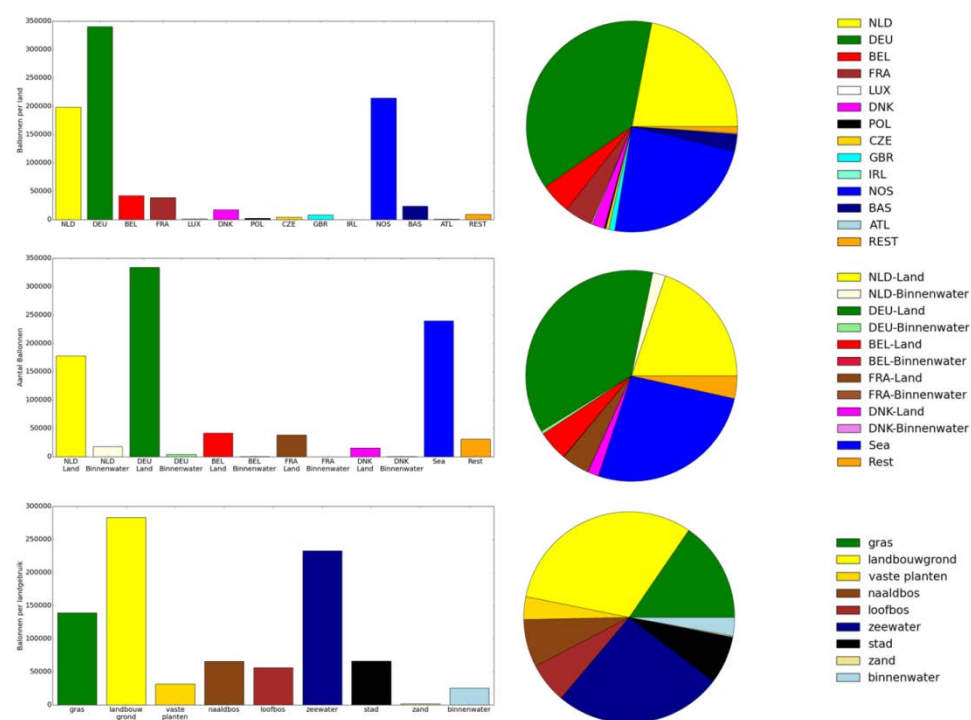
5.2 Resultaten: neergekomen ballonnen in Nederland

Het LOTOS-EUROS model is gedraaid op een resolutie van $1/8 \times 1/16$ graad, rondom Nederland is dit ongeveer 7×7 km. Hieruit is een kaart gemaakt met de ruimtelijke verdeling van de neergekomen ballonnen voor de berekening met meteorologische gegevens van 2014, zie Figuur 4. We zien dat de ballonnen zich vooral concentreren rondom Nederland, het westen van Duitsland en het zuidelijke deel van de Noordzee. Verder zien we dat een klein gedeelte van de ballonnen tot in Scandinavië, Polen en Tsjechië komt. Ook in werkelijkheid blijkt uit bijvoorbeeld de uitslagen van ballonwedstrijden dat Nederlandse ballonnen zich verspreiden over verschillende landen.



Figuur 4 Verdeling van de neergekomen ballonnen in 2014

Met deze kaart hebben we de verdeling per land gemaakt en een verdeling per landgebruik klasse. In Figuur 5 zien we dat de meeste ballonnen in Duitsland terechtkomen (~37%), gevolgd door de Noordzee (~23%) en Nederland (~22%), in het middelste plaatje zien we ook het deel dat neerkomt op binnenwater. In het onderste plaatje staan de verdelingen per landgebruik klasse. De meeste komen neer op landbouwgrond (~32%), gevolgd door zeewater (~26%) en gras (~16%). Het totaal percentage ballonnen op binnenwater is ongeveer 3,5%.



Figuur 5 Bijdrage van ballonnen per land (boven), per land water/geen water (midden) en per landgebruik klasse (onder)

6 Afbreekbaarheid van latex en Hifloat

In dit hoofdstuk wordt de afbreekbaarheid van latex en Hifloat met betrekking tot ballonnen besproken. Dit hoofdstuk is als volgt opgebouwd:

In paragraaf 6.1 zal worden aangegeven wat in deze studie met bio afbreekbaarheid (biodegradatie) bedoeld wordt. In paragraaf 6.2 zal het algemene proces van afbraak van latex worden besproken. In paragraaf 6.3 wordt samengevat wat dit betekent voor de afbraak van latex in verschillende milieus (op de land, in zeewater en zoetwater etc.) onder verschillende omstandigheden. In paragraaf 6.4 en 6.5 zal de afbraak van latex in verschillende milieus onder verschillende omstandigheden verder worden uitgelegd aan de hand van een uitgebreide literatuurstudie. In paragraaf 6.6 zal worden ingegaan op de biologische afbraak van Hifloat.

6.1 Wat is biodegradatie

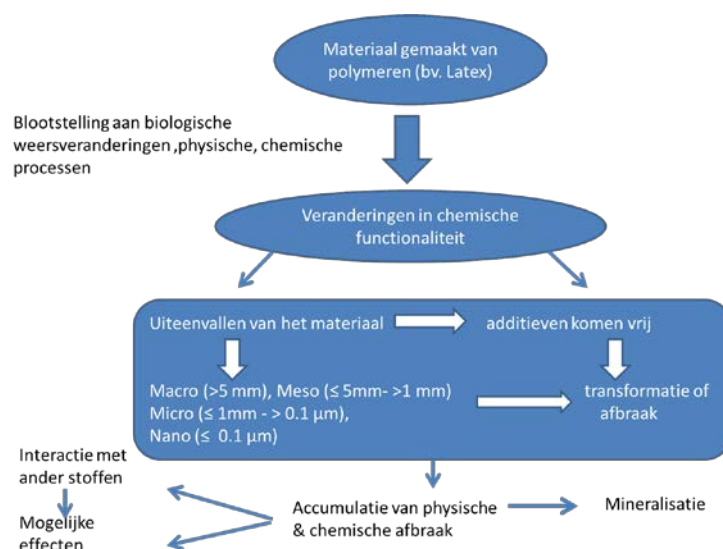
Biodegradatie wil zeggen: afbraak door enzymen of levende organismen tot componenten die in de natuurlijke kringloop kunnen worden opgenomen. Afbraak kan ontstaan door chemische, mechanische of biologische processen. Biodegradatie is een vorm van afbraak, maar niet alle afbraak is biologisch.

6.2 Ballonnen: de afbraak van latex in het algemeen

Latex is een natuurlijke polymeer. Er is een veelheid aan natuurlijke en synthetische polymeren. Het is dus belangrijk om naar de specifieke eigenschappen van latex te kijken om iets over de afbraak te zeggen. Daarom zal in deze paragraaf eerst de afbraak van polymeren in algemeenheid worden toegelicht, daarna zal de afbraak van latex specifiek worden besproken.

De afbraak van polymeren

De afbraak van polymeren kan in een conceptueel plan van aanpak worden gevolgd (zie Figuur 6).



Figuur 6 Conceptueel aanpak voor de afbraak van polymeren (Lambert et al, 2013)

Blootstelling van een polymeer aan de omstandigheden van de natuur (water, temperatuur, UV etc.) leidt tot veranderingen in chemische functionaliteiten. Hierdoor valt het bulk materiaal uit een in nano- en microdeeltjes. Dit heeft als uiteindelijk als gevolg dat vluchtige en oplosbare organische stoffen ontstaan en dat additieven kunnen uitlogen. Wanneer deze verschillende stoffen interactie hebben met anderen stoffen in het milieu kunnen mogelijk effecten op het milieu ontstaan. Om de gevolgen in te kunnen schatten is het belangrijk ook de componenten van een latex membraan (dit is de bouwsteen van een ballon) te bekijken.

Samenstelling en degradatie van een latex membraan

De verschillende componenten van een latex membraan kunnen worden geïdentificeerd door middel van de 'thermo-grafimetrische analyse'. Hier wordt een monster met een constante snelheid verhit en de gewichtsafname in afhankelijkheid van de temperatuur gemeten. De thermische afbraak van een latex membraan is onderzocht door Agostini et al.(2008). Dit proces kent drie stappen. Tijdens de eerste stap, wordt de latexmembraan bij een temperatuur tussen 100–280°C verhit, hierdoor verliest het membraan ca. 10% van zijn massa. Het massaverlies is gekoppeld aan het verdampen van water (ca. 1%) en een kettingbreuk. Tijdens de tweede stap, wordt de latexmembraan tussen 280–395°C verhit. Dit is vooral verbonden met de degradatie van poly cis-isoprene moleculen. De derde stap is verbonden met de degradatie van het inmiddels gevormde netwerk.

De onder normale milieuomstandigheden aanwezige afbraak van natuur rubber wordt door zonlicht geïnitieerd (UV) (Figuur 7). De afbraak processen omvatten directe fotolyse en reacties met OH radicalen, zuurstof en andere fotochemisch gegenereerde radicalen. Uitgangspunt is de licht geïnduceerde splitsing van de bindingen met de laagste energie (S-S en S-C). Als gevolg neemt de netwerkdichtheid af en worden intermediaire hydroperoxide gevormd. In het vervolg worden ook C-C bindingen gesplitst en de algehele mobiliteit van de polymeer keten neemt toe - de afbraaksnelheid wordt hoger.

6.3 Afbreekbaarheid van ballonnen op land, onder de grond, in zoetwater, diep water en zeewater

De omstandigheden in het milieu zijn belangrijk voor afbraak (zonlicht, PH, temperatuur)

Zoals eerder beschreven is latex in principe biologisch afbreekbaar, ook in de vorm van films, zoals ballonnen. Deze biologische afbraak verloopt vlot in systemen met optimale condities in aanwezigheid van voldoende bij de afbraak betrokken micro-organismen. Een temperatuur van 30°C is optimaal, terwijl in de natuur meestal een lagere temperatuur voorkomt. Een optimale pH is 7, terwijl die in de natuur sterk kan afwijken. Ook de aanwezigheid van voldoende voedingszouten met stikstof, fosfor, kalium etcetera is optimaal, terwijl in de natuur de concentratie van die zouten meestal laag is. Ook voortdurende menging (roeren, bewegen, beluchten) is optimaal om latex, voedingszouten en zuurstof steeds goed met elkaar in contact te brengen. Daar ontbreekt het vaak aan in de natuur. De verwachting is daarom dat onder de omstandigheden die in de natuur voorkomen (bijvoorbeeld in zeewater of in bodem) deze afbraak zeer langzaam zal verlopen.

Als ballonnen neerdalen op land kunnen deze in de aerobe bovenlaag van de grond terechtkomen of dieper in anaerobe lagen onder de grondwaterspiegel. In het aerobe gedeelte is de kans op biologische afbraak groter wegens de beschikbaarheid van zuurstof en de aanwezigheid van vele soorten aerobe micro-organismen. Deze micro-organismen zullen als een film op de ballonnen gaan groeien. In het anaerobe gedeelte van de bodem zijn minder micro-organismen en de afwezigheid van zuurstof is bovendien ongunstig (zie hieronder). In zoet water en in de aerobe bovenlaag van de waterbodem zijn de condities gunstig: veel zuurstof en redelijk veel beschikbare micro-organismen. Ook hier kan de vorming van een biofilm worden verwacht die het latex afbreekt. De diepere waterbodem is anaeroob, wat ongunstig is. In zeewater is de concentratie micro-organismen zeer laag, waardoor, ondanks de aanwezigheid van zuurstof, de vorming van een biofilm met latex-etende micro-organismen zeer traag kan gaan.

Bij een vergelijking van verschillende milieu omstandigheden voor de degradatie was de hoogste snelheid van afbraak vastgesteld bij een contact met vers water met een lage pH zoals b.v. bronwater (latex membranen waren voor 50 % gedegradeerd in 75 dagen) gevolgd door zeewater (latex membranen waren voor 50% gedegradeerd in 87 dagen). Monsters die niet blootgesteld waren aan zonlicht toonden nagenoeg geen afbraak. De temperatuur van het water heeft een grote invloed op de afbraak. Ook kunnen (in het bijzonder door afbraak verweekte) delen, die in het zeewater door de hogere dichtheid van het water drijven, aan elkaar plakken en zo dikker materiaal vormen en de afbraaksnelheid verlagen.

Een eerste indruk/ schatting staat in onderstaande tabel. Onder de tabel wordt dit verder toegelicht.

Tabel 2 Tijdsduur van afbraak van latex onder verschillende omstandigheden

Tijdsduur van afbraak onder verschillende condities								
	Aerobe condities				Anaerobe condities			
	Laboratorium	Zout water	Zoet water	Land	Laboratorium	Zout water	Zoet water	Land
Latex	2 maanden	2-5 jaar	2 jaar	Onbekend*	Onbekend*	Onbekend*	Onbekend*	Onbekend*
Hifloat	Snel	Onbekend*	2-3 maanden	1 jaar	1 jaar	Onbekend*	Onbekend*	Onbekend*

* Onbekend houdt in dat in deze studie zijn geen bronnen gevonden op basis waarvan een realistische inschatting van de afbraak kan worden bepaald.

In de volgende paragrafen wordt nader uitgelegd hoe de afbraak van latex werkt op basis van een literatuurstudie. Hier wordt een onderscheid gemaakt tussen onderzoek dat in het milieu is uitgevoerd en onderzoek dat in laboratoria is uitgevoerd. In laboratoria kan onder geconditioneerde omstandigheden goed onderzoek gedaan worden, tegelijkertijd is een laboratorium nooit gelijk aan het milieu.

6.4 Nadere uitleg van de afbraak van latex in de natuur: literatuurstudie

Afbraak van latex onder aerobe condities (op land boven de grondwaterspiegel, in zoetwater en ondiep zeewater)

Een vroege studie naar de afbraak van latex ballonnen onder veldcondities is van Burchette uit 1989. In dit onderzoek zijn stukjes ballon gedroogd en gewogen en vervolgens onder 3 verschillende condities bewaard:

1. gemengd met grond in een platte bak;
2. gemengd met water uit de natuur in een platte bak en
3. gelegd op een stuk hout en blootgesteld aan weer en wind.

Proef 1 en 3 zijn buiten uitgevoerd, met regelmatig direct zonlicht. Voor proef 2 is dit onbekend. Proef 1 en 2 zijn ook uitgevoerd met stukjes hout en bladeren als referentie. De stukjes ballon zijn regelmatig geoogst, gedroogd en gewogen om daarmee gewichtsverlies te bepalen. Ook de sterkte en voorkomen van de stukjes werden beoordeeld. Na 6 weken trad er in alle gevallen een ontkleuring of kleurverandering op van de latexstukjes en een verlies aan sterkte. In proef 1 kon het gewichtsverlies niet goed worden gemeten, omdat de latex was verkleefd met stukjes grond. In proef 2 werd na 6 weken 5% gewichtsvermindering gevonden van de stukjes, terwijl hout en bladeren 1-3% aan gewicht verloren, en in proef 3 was het gewichtsverlies 6%. Hoewel Burchette concludeert dat latex ballonnen net zo snel afbreken als bladeren is deze conclusie statistisch nauwelijks verantwoord. De proeven hebben te kort geduurd, waardoor de gewichtsafnames beperkt zijn en verder zijn de proeven niet in meervoud uitgevoerd of herhaald. Foley (1990) heeft doorgepriekte latex ballonnen in een doorstroombare korf geplaatst in zeewater van een haven. De opgesloten ballonnen ontvingen regelmatig zonlicht. Na 2 weken bleken de ballonnen overdekt te zijn met algen, na 4 weken zonken de ballonnen naar de bodem van de korf en elke maand werd de treksterkte lager. Na 5 maanden ontstonden scheuren in de ballonstukjes.

Deze studie en de studie van Burchette hebben de rol van biologische afbraak niet aangetoond, d.w.z. dat onbewezen blijft of micro-organismen een rol hebben gespeeld in de verzwakking van de ballonstukjes. De verzwakking kan ook door uitsluitend chemische processen zijn veroorzaakt.

In een review uit 2011 geeft Andrady enkele algemene beschouwingen over microplastics in het mariene milieu. De afbraak van plastics in zeemilieu lijkt langzamer te verlopen dan die in andere milieus wegens de lage temperaturen van en lagere zuurstofconcentraties in zeewater. Lambert en medewerkers hebben latex films geïncubeerd in kunstmatig zoetwater en zeewater, waarbij ook de aanwezigheid van zonlicht en de temperatuur (zomer/winter) een variabele was (Lambert, 2013). In een periode van 200 dagen werd regelmatig bepaald hoeveel van het oorspronkelijke latex gewicht nog aanwezig was. In deze periode nam het gewicht 0% tot 80% af, terwijl de concentratie opgelost organisch koolstof steeg. Zonder zonlicht was er geen gewichtsafname, en bij hogere temperatuur verliep de afbraak sneller dan bij lagere temperatuur. Ook was er niet veel verschil tussen zeewater en zoetwater. Tijdens de afbraak ontstonden nano-deeltjes. Ook in deze studie is niet duidelijk of de afbraak ook gepaard is gegaan met biodegradatie. Er is anno 2015 nog steeds een kennishiaat in het bewijs van biodegradatie onder veldcondities.

Meer informatie over de afbraak van latex in zeewater

Naast de experimenten van Foley (1990) en Lambert (2013) zijn ons geen andere studies bekend die de biodegradatie van latex in zeewater behandelen. Toch kan iets meer over dit aspect worden gemeld. De American Society for Testing and Materials (ASTM) hanteert een standaardtest voor de bepaling van biodegradatie van plastic in het mariene milieu waarin natuurlijk zeewater of een gedefinieerd consortium van micro-organismen kan worden gebruikt als entmateriaal. Dat is test ASTM D6691 (www.astm.org). De test is gebaseerd op een meting van de geproduceerde CO₂ door afbraak van de plastic in een gesimuleerd zeewatermilieu. De ASTM heeft ook een norm (D7081): een plastic mag biodegradeerbaar in mariene milieu worden genoemd indien test D6691 minstens 30% conversie naar CO₂ laat zien binnen 6 maanden (Greene, 2012). De literatuur is onderzocht op het gebruik van test ASTM D6691 voor rubber, latex of cis-1,4-isopreen, maar hiervan zijn geen voorbeelden gevonden. Wel voor andere plastics.

Polyhydroxyalkanoaatfilms werden 38% - 45% gemineraliseerd in 180 dagen (Greene, 2012). Deze voldoen nog net aan de norm. Bij polymelkzuurzakken was dat 4,5%, voor polymelkzuurflessen 3% en voor LDPE (low density poly ethylene) 3%. Polyhydroxyalkanoaat en polymelkzuur worden gezien als goed biologisch afbreekbaar in andere milieus en de gevonden biodegradatie in zeewater kan als teleurstellend worden beschouwd. Echter, deze twee soorten kunststoffen zijn wat betreft structuur beperkt vergelijkbaar met latex; ze zijn wel alle alifatisch en geen alkanen. Greene (2012) heeft ook cellulosepoeder meegenomen als referentie. Dat werd in 180 dagen ook slechts voor 33% gemineraliseerd, ten teken dat biologische processen nu eenmaal zeer langzaam gaan in zeewater, zelfs voor cellulose. De test met polyhydroxyalkanoaatfilms is nog voortgezet tot 1 jaar. De mineralisatie steeg daardoor tot 52% - 82%. Greene (2012) meldt ook dat poly-ester-urethaan vergaand mineraliseert en dat poly-ether-urethaan niet tot nauwelijks mineraliseert in een jaar in deze test.

De ASTM test is ook uitgevoerd door Alvarez-Zerefino en medewerkers (2015), die stellen dat er anno 2015 zeer weinig kennis bestaat over de biodegradatie van plastics in het zeemilieu en dat de ASTM D6691 test het mogelijk maakt het proces te bestuderen in de gecontroleerde omgeving van een laboratorium. De auteurs vonden 2-3% mineralisatie van LDPE in 48 dagen.

De referentie (cellulose) mineraliseerde in deze tijd 68%. ASTM roept op tot voorzichtigheid bij de vertaling van de testresultaten naar het echte mariene milieu. Eén van de verschillen is de gebruikte temperatuur in de test (30°C) die hoger is dan dat van zeewater (www.astm.org).

De aanwezigheid van zonlicht in echte zeewater kan stimulerend werken op de chemische afbraak maar ook micro-organismen doden. Er bestaat dus een kennishiaat als het gaat om de biodegradatie van latex in het mariene milieu. De kennis van nu doet vermoeden dat volledige mineralisatie van latex in zeewater een paar jaar in beslag zal nemen.

Afbraak van latex onder anaerobe condities (in de bodem onder de grondwaterspiegel, diep in waterbodems en moerassen)

In de natuur komen anaerobe omstandigheden voor in de bodem onder de grondwaterspiegel, diep in waterbodems en in moerassen. Er zijn geen studies bekend waarin latex biologisch wordt afgebroken onder deze anaerobe omstandigheden. Dit wordt gesteld door Linos (2005) en na literatuuronderzoek door de auteurs van dit TNO rapport. Linos (2005) beweert dat een anaerobe afbraak van cis-1,4-polyisopreen theoretisch moet kunnen en geeft het voorbeeld van de afbraak van monoterpenen onder anaerobe condities. Echter, bij bestudering van de bron van deze informatie, blijkt dat monoterpenen onder denitrificerende omstandigheden worden afgebroken, dus met nitraat als elektronenacceptor i.p.v. zuurstof (Hylemon, 1999). Het gebruik van alternatieve elektronenacceptoren zoals nitraat en sulfaat bij de biodegradatie van alkenen is bekend (Grossi, 2007) en Widdel (2001) stelt dat koolwaterstoffen zoals alkanen en benzeen anaeroob biologisch kunnen worden afgebroken indien nitraat, sulfaat of driewaardige ijzerionen aanwezig zijn. Echte anaerobe condities (methanogeen; bij lage redoxpotentialen) waarin organische stoffen via vetzuren en alcoholen in methaan worden omgezet komen voor in zoetwatersedimenten en in bodems onder de grondwaterspiegel. De afbraak van koolwaterstoffen onder deze condities wordt zelden bestudeerd. Recentelijk is de methanogene afbraak van octadecenen aangetoond (Hirschler-Rea, 2012) en een aanwijzing dat alkanen biologisch in methaan kunnen worden omgezet is geleverd door Siddique (2015), een proces dat vele jaren in beslag neemt. De anaerobe afbraak van latex is nog een kennishiaat.

Concluderend: onder anaerobe omstandigheden is de tijd die nodig is voor biologische afbraak onbekend. Foley (1990) laat zien dat in zeewater onder aerobe omstandigheden na 5 maanden nog geen echte biodegradatie heeft plaatsgevonden en Lambert (2013) laat zien dat er na 200 dagen een gedeeltelijke afbraak plaats vindt, in het gunstige geval van aanwezigheid van zonlicht. Zonder zonlicht gaat de afbraak veel trager. Andere (goed afbreekbare) polymeren blijken in zeewater gedeeltelijk af te breken in 0,5 – 1 jaar. Op basis hiervan wordt geschat dat een volledige biodegradatie in aerob (ondiep) zeewater wel eens 2- 5 jaar kan duren (zie Tabel 2). In zoet water wordt verwacht dat de afbraak sneller gaat, wellicht dus 2 jaar.

6.5 Nadere uitleg van de afbraak van latex: literatuurstudie van experimenten in laboratoria

In een laboratorium kunnen cultures van micro-organismen worden gekweekt.

Dergelijke cultures zijn suspensies die vaak een miljard cellen van één bacteriesoort bevatten in een milliliter, een situatie die in de natuur zelden voorkomt. In een gram grond bevinden zich ongeveer 1 miljoen micro-organismen, verdeeld over 1000 soorten, en in een milliliter oceaanwater 10.000 tot 100.000, ook verdeeld over zo'n 1000 soorten; verdund en divers dus.

Gallert (2000) heeft aangetoond dat de bacterie *Streptomyces* kan groeien in een water met een latex-emulsie of met stukjes rubber handschoen. Het materiaal werd gebruikt als enige koolstofbron voor deze groei. In 60 dagen werd 80% van de aanwezige latex afgebroken. In steriele controles was dat slechts 3%. Deze media werden voorzien van voldoende mineralen en voortdurend belucht bij 30 °C. Biodegradatie kon ook duidelijk worden gemaakt met platen met mengsels van agar en latex. Er ontstonden kolonies van bacteriën met heldere halo's van afgebroken latex rond deze kolonies. Bode (2001) gebruikte negen verschillende micro-organismen en toonde groei op rubber aan door de productie van bacterieel eiwit in vloeibare media. Berekaa en medewerkers (2005) gebruikten *Achromobacter* in een experiment met relatief droge rubberdeeltjes, dus niet in een vloeistofmedium.

De bacterie groeide op het oppervlakte van de deeltjes en door de productie van CO₂ te meten werd afbraak aangetoond. Deze afbraak verliep langzamer dan die normaal in media wordt gevonden, ca 10% in 28 dagen. De snelheid hing af van het beschikbare deeltjes-oppervlak. Linos (2005) stelt dat vloeibare culturen met bacteriën cis-1,4-polyisopreen 100% kunnen afbreken in 8 weken, mits de condities optimaal zijn. In het artikel staat een lange lijst van voorbeelden waarin latex en rubber worden afgebroken door micro-organismen. Er bestaan experimenten met latex handschoenen die in 17 dagen 90% worden afgebroken. In 2013 heeft Shah een review geproduceerd rond biodegradatie van rubber. In deze review wordt duidelijk dat reeds vele bacteriën en schimmels zijn gevonden die natuurlijke en synthetische rubber kunnen mineraliseren, voornamelijk mesofiele en aerobe soorten. Dat betekent dat in de toplaag van de bodem en in zoet en zout water rubber in principe afgebroken kan worden. Biodegradatie van handschoenen en stukjes autoband zijn aangetoond onder optimale condities, dus onder de beste temperatuur, pH, menging en aanwezigheid van rubber-etende micro-organismen. In de natuur zijn de condities minder gunstig, daar kan dan wel afbraak worden verwacht, echter veel langzamer. Voorafgaand aan complete mineralisatie veranderen eerst de mechanische eigenschappen van de rubberdeeltjes en ontstaan er biofilms die putjes in de oppervlakte veroorzaken. Ook worden er aldehyden en verbindingen met keto-groepen gevonden als afbraakproducten.

Belang van zuurstof bij de afbraak van latex

Berekaa (2005) stelt dat rubberdeeltjes door micro-organismen kunnen worden afgebroken door erop te groeien in een biofilm op de deeltjes of door de uitscheiding van extracellulaire enzymen die de rubberdeeltjes afbreken tot oplosbare en consumeerbare verbindingen.

Het is nu duidelijk dat de eerste stappen in de biologische afbraak van cis-1,4-polyisopreen onder aerobe condities oxidatief zijn en worden uitgevoerd door mono-oxygenasen, enzymen die O₂ gebruiken (Bode, 2001; Rose, 2005; Linos, 2005; Seidel, 2013). Latex-etende bacteriën hebben dus zuurstof nodig om de eerste stap te zetten. Die eerste stap zou ook wel eens gezet kunnen worden door een fotochemische oxidatie (met zonlicht en ook met zuurstof). Voldoende zuurstof wordt gevonden in de toplaag van de bodem en in het meeste zoet en zout water. Of latex ook zonder de aanwezigheid van zuurstof biologisch kan worden omgezet is vooralsnog onbekend.

De waargenomen 10% afbraak in 28 dagen, 80% afbraak in 60 dagen, 90% in 17 dagen en 100% afbraak in 8 weken kan worden samengevat als biodegradatie onder laboratoriumcondities en in aanwezigheid van zuurstof binnen 2 maanden (Tabel 2).

6.6 Hifloat: biologische afbraak

Hifloat bestaat uit polyvinylalcohol gemengd met laagmoleculaire suikers of glycerol. Van suikers en glycerol is bekend dat dit vlot biologisch afbreekbaar is onder aerobe en anaerobe omstandigheden. In een review over de biodegradatie van polyvinylalcohol-films wordt gesteld dat polyvinylalcohol oplosbaar is in water en dat volledige mineralisatie plaatsvindt in aanwezigheid van de juiste micro-organismen onder de juiste condities (Chiellini, 2003). Het is te verwachten dat die juiste micro-organismen ook in de natuur voorkomen, maar in een concentratie die veel lager is dan in het laboratorium, waardoor het langer zal duren voordat zich een biofilm gaat ontwikkelen op de polyvinylalcohol-films en dus de afbraak trager zal verlopen. Polyvinylalcohol kan worden gebruikt als enige koolstofbron door diverse (aerobe) bacteriesoorten. Ook schimmels kunnen dat, maar hiernaar zijn minder studies gedaan. Onder veldcondities verloopt de afbraak langzamer. Onder composteringscondities wordt niet meer dan 7% biodegradatie van polyvinylfilms gevonden in 48 uur.

Gemengd met grond worden dergelijke films 9% afgebroken in 74 dagen. In water met geacclimatiseerde micro-organismen in afwezigheid en aanwezigheid van klei is de afbraak 34% en 4% respectievelijk in 1 maand. Adsorptie van polyvinylalcohol aan klei werkt vertragend. In andere studies werd in water 60% afbraak van polyvinylalcoholfilms gevonden in 20 dagen, wat aanzienlijk sneller is (Chiellini, 2003). In slib van een papierfabriek kon polyvinylalcohol 50% worden gemineraliseerd binnen 70 dagen (Chiellini, 1999). Polyvinylalcohol kan ook onder anaerobe omstandigheden worden afgebroken: 60% biodegradatie in 125 dagen is aangetoond onder sulfaatreducerende omstandigheden (Matsumura, 1993). Met deze informatie lijkt de biodegradeerbaarheid van hifloat onder veldcondities beter dan die van latex.

De in zoet water gevonden 60% afbraak in 20 dagen en 50% in 70 dagen kan worden vertaald als afbraak binnen 2-3 maanden (zie Tabel 2). De in de grond waargenomen 9% afbraak in 74 dagen en 4%-34% afbraak in een maand wijst op een volledige afbraak op land binnen een jaar. Dat geldt ook voor de 60% afbraak die onder anaerobe omstandigheden zijn gevonden.

6.7 Samenvattend: biodegradatie

Latex en Hifloat zijn biologisch afbreekbaar onder condities waarin zuurstof aanwezig is. Studies met latex die onder veldcondities in zoet en zout water zijn uitgevoerd wijzen op een biologische afbraak die enkele jaren kan duren, waarbij de aanwezigheid van zonlicht versnellend kan werken. Hifloat wordt onder veldcondities (in zoetwater en op land, geen gegevens gevonden m.b.t. zeewater) sneller afgebroken dan latex, en wel binnen 2-3 maanden in zoet water en binnen 1 jaar op land.

Over de afbraak van latex en Hifloat onder zuurstofloze condities, zoals die voorkomen in de diepere waterbodems en op land in grondwatervoerende pakketten is niets tot weinig bekend.

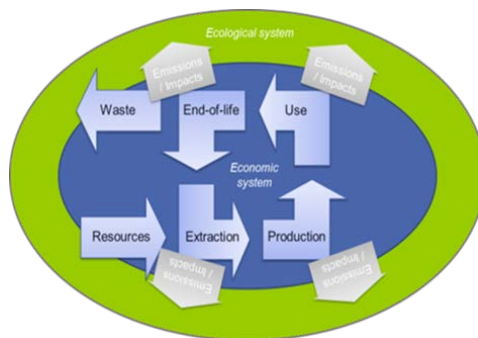
7 De ecologische schade van het oplaten van ballonnen in Nederland

In dit hoofdstuk is gekeken naar de ecologische schade van deze ballonnen in het milieu. Hiervoor is eerst een quickscan Levenscyclusanalyse (LCA) gedaan om de impact van een ballon inclusief lintje, kaartje, helium en ventiel te laten zien over de hele levenscyclus van grondstoffenwinning tot afdanking om de impact van de afdankingsfase in perspectief te plaatsen.

Daarna wordt aan de hand van literatuurstudie besproken wat de milieu impact is (voor zover bekend) als de ballonnen in het milieu belanden.

7.1 Quickscan LCA

Om een indicatie te krijgen van de mogelijke milieueffecten van de productie van ballonnen is een quickscan uitgevoerd op basis van de LCA methodologie. Een LCA is een analyse van alle relevante milieueffecten gedurende de volledige levenscyclus van een product of een dienst, van de winning van de ruwe materialen, de productie, het onderhoud tot en met de verwijdering na gebruik. Meer informatie over deze methodiek is te vinden in bijlage B.



7.1.1 Uitgangspunten LCA

Tabel 3 laat de uitgangspunten zien die zijn meegenomen bij de productie van een helium latex ballon. Voor de latex ballon en het helium zijn data beschikbaar in de LCA database. Voor het lint en het ventiel is polypropreen gekozen. Als proxy voor het dipcoat proces is een alternatief kunststofverwerkingsproces genomen. De processen zijn gebaseerd op wereldwijde gemiddelde processen. Meer specifieke processen kunnen sterk afwijken, bijvoorbeeld als er gebruik wordt gemaakt van duurzame energie. Hifloat is niet meegenomen in de LCA studie. De gewichten zijn schattingen op basis van reacties van ballonnenleveranciers.

Tabel 3 Uitgangspunten voor de LCA van een ballon

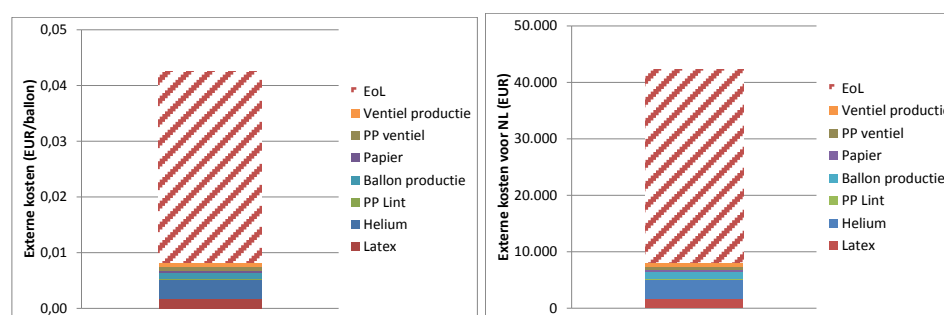
Product/proces	Gewicht (g)	Proxy uit Ecolnvent database (Weidema, 2015)
Latex ballon	4	Latex {GLO}
Helium	2 (~12 liter)	Helium {GLO}
Lint	1	Polypropylene {GLO}
Papieren kaartje	1	Printed paper {GLO}
Dipcoat proces	-	Blow moulding {GLO}
Ventiel	3	Polypropylene {GLO}

Naast de berekening van de milieu impact van één ballon zal ook een scenario worden meegenomen met hierin het gebruik van 993.100 ballonnen (jaarlijks), zoals ingeschat door onderzoeksinstituut LEI Wageningen UR (zie hoofdstuk 6).

De fysieke milieu impact van de ballonnen die in het milieu terecht komen kunnen niet met de huidige LCA impact methoden bepaald worden. Op basis van de hoeveelheid ballonnen in het milieu en de bijbehorende opruimkosten, zoals deze in het rapport van Kaarsemaker (2015) zijn berekend is een proxy voor de schaduwkosten van deze impact bepaald. De kosten bedragen 79 000 euro voor 2,3 miljoen ballonnen, wat neerkomt op een schaduwprijs van 3,4 cent.

7.1.2 Resultaten LCA

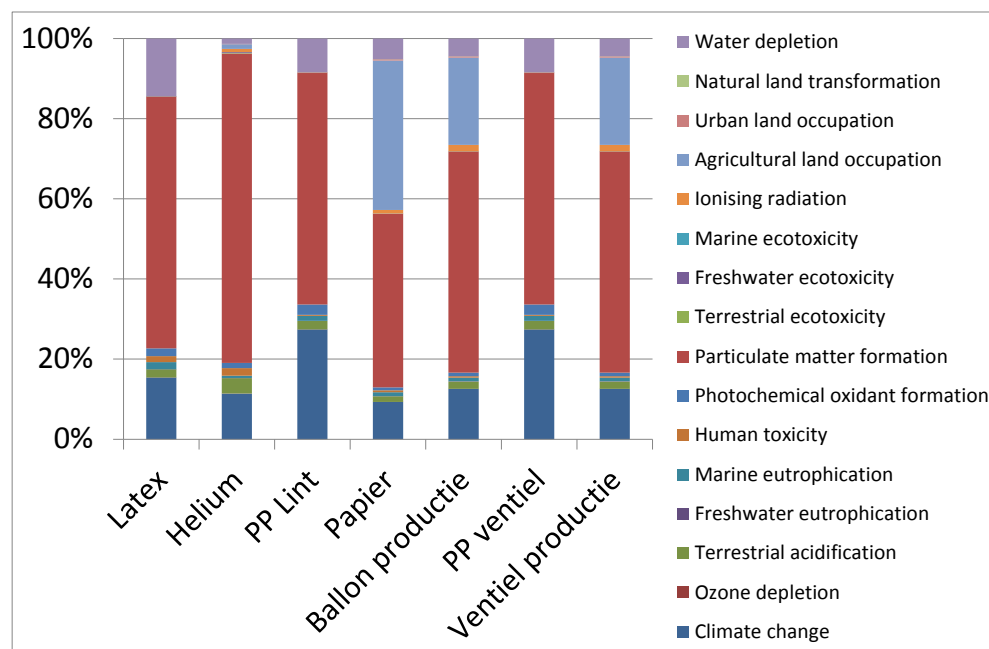
In Figuur 8 zijn de milieu impacts weergegeven voor ballonnen, uitgedrukt in externe (maatschappelijke) kosten, van een individuele ballon en voor Nederland, uitgaande van het scenario met 913.100 ballonnen. De impact is opgesplitst in de diverse uitgangsmaterialen en processen zoals gegeven in Tabel 3. De End-of-Life (EoL) heeft een dominante bijdrage aan de totale milieu impact. Van groot belang is hierbij wel om te realiseren dat de inschatting van deze schaduwkosten uiterst onzeker is en niet wetenschappelijk onderbouwd. Het geeft echter wel aan dat de impact mogelijk aanzienlijk is ten opzichte van de productie van de ballonnen.



Figuur 8 Milieu impacts (uitgedrukt in euro's) van een individuele ballon (links) en voor het scenario met 913000 ballonnen (rechts) met ventiel

De productie van de latex en de helium zijn op basis van de bovenstaande uitgangspunten vervolgens de stappen met hoogste milieu impact. Indien de werkelijke gewichten van de ballonnen etc. hoger of lager blijken te zijn, zal de impact proportioneel mee stijgen of dalen.

De relatieve bijdrage van de verschillende milieu thema's aan de totale impact is gegeven in Figuur 9. De grootste bijdrage bij alle producten en processen wordt geleverd door het thema vorming van fijnstof, welke net als klimaatverandering sterk gerelateerd is aan energieverbruik.



Figuur 9 Relatieve bijdrage van de milieuthema's aan de diverse materialen en processtappen

7.2 Polymeren in het milieu; Latex en PP

Polymeren in het milieu kunnen afhankelijk van het type materiaal verschillende effecten hebben op het milieu. In deze paragraaf zullen we ingaan op de polymeren latex (het basismateriaal van de ballonnen) en polypropyleen (PP, het basismateriaal voor lintjes en ventielen). Hieronder wordt kort een overzicht gegeven van mogelijke milieu effecten van polymeren in het marine milieu om vervolgens dit specifiek te bespreken voor latex en PP. Polymeren in het algemeen worden geassocieerd met de volgende effecten:

- Accumulatie van polymeren in organen van levende organismen;
- Grote delen kunnen verstikking en verstrikking veroorzaken;
- Aan sommige polymeren worden chemische additieven toegevoegd, die vrij kunnen komen in het milieu wanneer de polymeren degraderen;
- Polymeren kunnen toxische stoffen in het milieu absorberen; dit kan een voordeel zijn omdat ze toxische stoffen in het milieu concentreren, echter wanneer deze polymeren in dieren belanden kunnen ze toxischer zijn dan het basismateriaal.

Hoewel lintjes, ventielen en ballonnen alle drie gebaseerd zijn op polymeren zijn het wel verschillende vormen van polymeren c.q. verschillende producten. Er zijn niet veel studies gevonden waarin de impact van verschillende polymeren vergeleken wordt.

Wel is in 2016 een studie gepubliceerd door Wilcox et al. waarbij 274 experts op het gebied van biologie, ecologie en mariene verontreiniging zijn gevraagd om de impact van plastic verontreiniging op het marine leven (zeevogels, zeeschildpadden en zeezoogdieren) te bepalen voor verschillende materialen c.q. producten, zoals ballonnen, dopjes en visnetten. Ballonnen zijn dus meegenomen. Ventielen en lintjes zijn niet meegenomen maar wel producten zoals dopjes, die vergelijkbaar zijn met ventielen en visnetten, die enigszins vergelijkbaar zijn met linten. De experts kijken naar de impact verstrikking, inslikken en toxische verontreiniging.

Met betrekking tot verstrikking wordt door de experts geschat dat visnetten, boeien en touwen de grootste schade veroorzaken, gevolgd door ballonnen en plastic tassen. Voor dopjes wordt het risico op verstrikking lager ingeschat. Het betreft een relatieve schatting van het risico. Voor het inslikken van plastics is de schade ten gevolge van verschillende type materialen redelijk vergelijkbaar. Ook met betrekking tot verontreiniging worden de materialen redelijk vergelijkbaar ingeschat: 50 tot 70% van de items heeft een lage impact of geen dodelijke effecten. Dit geldt dus ook voor ballonnen, dopjes en visnetten.

Hieronder zullen enkelen studies besproken worden waarin specifiek is gekeken naar de effecten met betrekking tot latex en PP.

7.3 Literatuurstudie: de ecologische impact van ballonnen, ventielen en lintjes in het mariene milieu

Verstrikking, verstikking en accumulatie van latex en PP in levende organismen

Helium ballonnen

Uit de studie van ADAS, 2013 m.b.t tot de impact van wens ballonnen en helium ballonnen op dieren en milieu uitgevoerd door de Engelse overheid kunnen de volgende belangrijkste conclusies worden getrokken;

- Grootste zorgen zijn het inslikken van ballonnen door dieren. Er is het risico dat niet alle gevallen gerapporteerd worden. En niet alle gevallen worden opgemerkt of gezien. Het huidige bewijs laat zien dat de impacts erg klein zijn, en zich beperken tot incidenten.
- Schade aan zeeleven wordt volgens de auteurs van deze studie vaak niet gezien, omdat leefgebieden moeilijk toegankelijk zijn. Meer en gedetailleerde diagnose en rapportage van incidenten kan in de toekomst leiden tot een betere inschatting van de risico's.

Latex

Irwin (Irwin, 2012) heeft een studie uitgevoerd waarbij aan kwartels, meervallen en aan schilpadden latex fragmenten worden gevoerd. Verandering in hoeveelheid stresshormonen en het gewicht wordt gedurende 4 weken gevolgd. Irwin concludeert dat de resultaten suggereren dat het eten van fragment van latex mogelijk geen bedreiging vorm voor veel wilde diersoorten.

Van Franeker (Van Franeker, 2015) geeft aan dat de studie van Irwin vaak onterecht wordt gebruikt als bewijs voor het onschadelijk zijn van ballonnen. Hij geeft aan dat vanuit wetenschappelijk oogpunt de studie beperkingen heeft.

Er is o.a. beperkte tijd gemeten (4 weken); er zijn geen controle dieren meegenomen, die dus geen ballonnen kregen; de relatie tussen de gemeten stresshormonen en nadelige effecten van het eten van latex. Onderzoek van IMARES laat zien dat bij 2% van dood aangetroffen stormvogels ballonfragmenten werden aangetroffen in de magen. In andere gevallen is eventueel aangetroffen plastic niet te herleiden tot ballonfragmenten.

Latex en plastics

Lutz (Lutz, 1989) voerde een studie uit waarbij stukjes latex aan schilpadden werd gevoerd. Samengevat concludeert Lutz: wanneer zeeschildpadden honger hebben zullen ze plastic en latex eten. Met uitzondering van eventuele storingen in het energiemetabolisme (dalende bloedsuikerspiegel) gaf inname geen meetbare veranderingen in de fysiologische parameters die werden gemeten. De waarneming dat stukken latex ophopen in de darmen en daar voor langere tijd verblijven moet worden bekeken met enige zorg en heeft meer gedetailleerd onderzoek.

Zwerfafval in het algemeen

Door R. Carvalho (2015) is een studie gedaan met betrekking tot het eten van zwerfafval in zee bij 23 zeeschildpadden aan de Braziliaanse kust. Hierbij is gekeken hoeveel zwerfafval in het lichaam van gestorven schildpadden wordt gevonden. Tijdens deze studie zijn onder andere de volgende bronnen van zwerfafval aangetroffen: zacht en hard plastic, metalen, Polyethyleentereftalaten (PET), flessendopjes, haar van mensen, tampons en latex condoms. Bij 39% van de schildpadden werd zwerfafval aangetroffen. In dit artikel wordt niet aangetoond of de doodsoorzaak gerelateerd is aan de aanwezigheid van zwerfafval, er wordt gesuggereerd dat dit wel het geval zou kunnen zijn maar hiervoor is meer onderzoek nodig.

Daarnaast is een studie van Nelms gevonden over plastic afval in het algemeen en de impact op schildpadden.

Nelms (Nelms, 2015) heeft een review artikel gepubliceerd over plastic afval in het algemeen en de impact op schildpadden. Nelms concludeert: momenteel bestaat er weinig duidelijk bewijs dat plastic afval gevolgen heeft voor populatieniveau van zeeschildpadden. Dit mag echter niet worden uitgelegd als een gebrek aan effect. Door de complexe leefstijl van schildpadden en de diffuse aard van de plastic vervuiling is het moeilijk een causaal verband te leggen. De review laat de diverse routes zien waarlangs plastics invloed kunnen hebben op de schilpadden. Hoewel het duidelijk is dat plastic afval verstreckende gevolgen zou kunnen hebben voor mariene biodiversiteit, is het ontbreken van gericht wetenschappelijk onderzoek naar dit onderwerp een belangrijke belemmering.

Er is een risico op accumulatie van polymeren (latex en PP) in organismen, in hoeverre dit ziekte en dood veroorzaakt is nog niet voldoende onderzocht om uitspraken over te doen.

Naar verstikking en verstrikking is slechts beperkt onderzoek gedaan. Verstikking en verstrikking door ballonnen wordt door experts genoemd als een risico op schade in het milieu. Huidige studies naar de impact van plastics in het milieu laten zien dat dit incidenteel voorkomt en het risico relatief klein is. Deze studies zijn vaak gedaan op toegankelijke plaatsen in het milieu, het is moeilijk om studie te op minder toegankelijke plaatsen in bijvoorbeeld de diepzee. Meer onderzoek is nodig om het risico beter in kaart te brengen.

Toxiciteit

Latex

Geen studies zijn gevonden op het gebied van toxiciteit van ballonnen in het milieu. Wel is in laboratoriumtesten gekeken in hoeverre het latex van condooms toxisch is met experimenten op zoetwater organismen. De experimenten laten zien dat latex condooms niet toxisch zijn en dat het milieurisico zeer beperkt is. De toxiciteit is vergelijkbaar met monsters van verouderd water (Lambert 2013).

Omdat wij geen informatie van producenten hebben ontvangen in deze studie is het onduidelijk welke additieven worden toegevoegd aan latex ballonnen.

Met betrekking tot latex condooms wordt in het proefschrift van Lambert aangegeven dat de concentraties hiervan zo laag zullen zijn in het milieu dat dit een klein risico vormt.

Het is waarschijnlijk dat eventuele additieven in latex ballonnen ook een laag risico vormen in het milieu op het gebied van toxiciteit.

PP

er zijn geen studies gevonden op het gebied van toxiciteit van ventielen en lintjes in het milieu. Wel zijn laboratoriumtesten gedaan naar het lekken van toxische stoffen uit PP materialen in water. Hierbij is gekeken naar een 5 liter emmer, voedselbakjes voor de magnetron, clipjes voor plastic tassen en gereedschapskisten. De experimenten laten zien dat vanuit de producten toxische additieven in het water kunnen lekken maar dat dit te weinig is om acuut toxisch te zijn. (D. Lithner, 2011).

Op basis van deze studie zou kunnen worden verwacht dat eventuele additieven in ventielen en lintjes een laag risico vormen in het milieu.

Absorberen van persistent organische componenten

Het is mogelijk dat latex en PP in het milieu persistente organische componenten opnemen. Op dit moment zijn er geen studies beschikbaar die dit afdoende onderzoeken om hier conclusies over te trekken. Mogelijk kan toekomstig onderzoek meer inzicht geven in de relaties tussen persistente organische componenten en de opname door latex en PP.

8 Alternatieve materialen

Het hoofdmechanisme voor afbraak is voor alle polymeren zonlicht geïnitieerde oxidatie zoals in het voorafgaande hoofdstuk beschreven. Dit mechanisme heeft een C-C splitsing als gevolg en verschillende vervolgreacties leiden tot afbraak van het materiaal. Additioneel kunnen andere bindingen zoals ester en amide bindingen ook hydrolytisch gesplitst worden. De morfologie van het materiaal heeft uiteraard ook een grote invloed op de degradatiesnelheid.

Generiek zijn materialen die alleen C-C bindingen bevatten stabielere dan anderen. Een uitzondering is het natuurproduct rubber. Dit materiaal wordt als een soort energieopslag gevormd is daarom ook weer in een biologisch product gemakkelijk afbreekbaar. Voor het maken van ballonnen bestaan er geen betere of milieuvriendelijkere alternatieve materialen. Dat is anders voor de andere onderdelen zoals linten en ventielen. Hier wordt aanbevolen deze componenten **niet**, zoals nu in praktijk, **van polypropyleen** te maken, omdat dit polymeer bijzonder langzaam afbreekt.

Beter zal het zijn om bio-afbreekbare plastics als materialen te gebruiken, juist omdat hier ook de microbiologische en/of enzymatische afbraak een belangrijk en ondersteunend proces kan zijn. Dit kunnen materialen zijn op basis van fossiele grondstoffen of biomassa. Bijzonder geschikt zijn de polymeren polycaprolactone, alifatische polyesters zoals polybutylenen succinate, polyvinylalcohol en (deel-gehydrolyseerd) polyvinyl acetaat (petroleum gebaseerde grondstoffen) en polyhydroxybutyrate, polylactide en op zetmeel gebaseerde materialen (direct vanuit biomassa gevormd) [Tokiwa et al., Biodegradability of Plastics, Int. J. Mol. Sci., 2009, 10, 3722-3742].

Het gebruik van deze materialen wordt dus ondanks de hogere prijs vergeleken met het huidige gebruikte polypropyleen aanbevolen.

9 Conclusie

Ballonnen die worden opgelaten tijdens bijvoorbeeld evenementen belanden uiteindelijk in het milieu (in het water of op het land). In 2015 is een verkennende studie uitgevoerd door het bedrijf Lichte Bries, naar het aantal ballonoplatingen en de effecten van de ballonnen op het mariene milieu.

Naar aanleiding van deze studie is voorliggend verdiepend onderzoek uitgevoerd naar de impact van ballonnen in het mariene milieu. In deze studie zijn de volgende zaken nader bestudeerd:

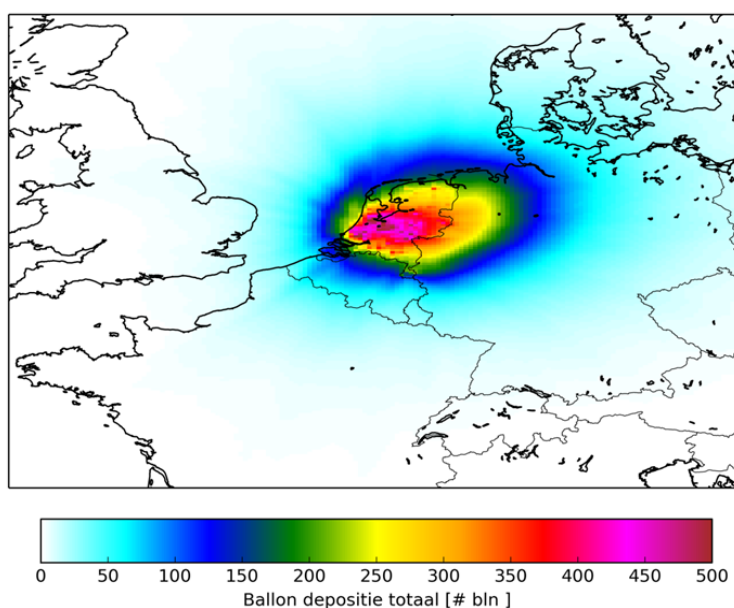
- De hoeveelheid ballonnen die in Nederland worden opgelaten;
- De verspreiding van ballonnen die in Nederland worden opgelaten;
- Afbreekbaarheid van latex en Hifloat in het milieu;
- De ecologische schade van ballonnen in het milieu.

Daarbij zijn de bevindingen van deze studie vergeleken met de bevindingen van de verkennende studie van Lichte Bries.

In dit hoofdstuk worden de conclusies van de studie besproken en worden aanbevelingen gegeven voor vervolgonderzoek.

Het aantal losgelaten ballonnen in Nederland in 2014 is naar inschatting ongeveer 1 miljoen. Omdat niet van alle oplatingen een registratie beschikbaar is, is dit een onzeker getal. Er zijn aannames zijn gedaan met betrekking tot het aantal gebeurtenissen waarbij ballonnen zijn opgelaten en het gemiddeld aantal ballonnen per oplosing. Er zijn aanwijzingen dat het aantal opgelaten ballonnen afneemt in de loop der tijd, dit zou kunnen worden veroorzaakt door maatschappelijke bewustwording van hun impact op zwerfafval in het milieu.

Vervolgens is met een model berekend waar deze ballonnen ongeveer neer zullen dalen (zie Figuur 10).



Figuur 10 Verspreiding van Nederlandse ballonnen

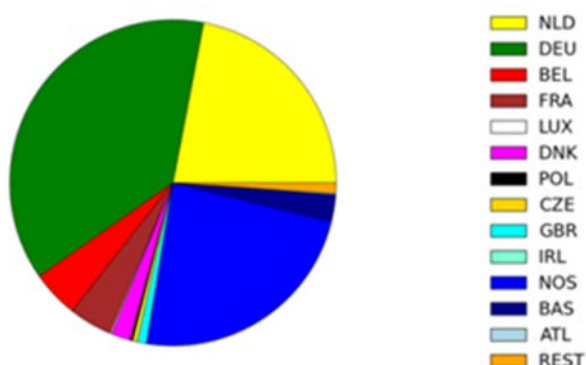
Omdat we in dit geval naar de Nederlandse situatie kijken, is gekeken hoeveel ballonnen in Nederland neerdalen en hoeveel elders. De focus van deze studie is het mariene milieu en daarom is ook bepaald hoeveel ballonnen in het mariene milieu terecht komen.

Een belangrijke conclusie is dat de meeste ballonnen niet in Nederland maar in Duitsland neerdalen. In Duitsland komt ongeveer 37% van de ballonnen terecht, gevolgd door de Noordzee met ongeveer 23% en daarna Nederland met ongeveer 22% (zie Figuur 11).

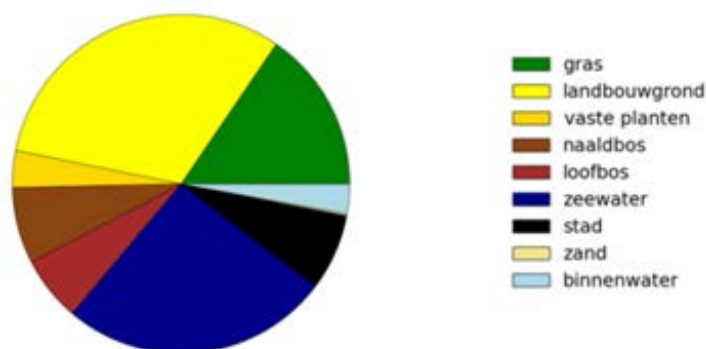
Nederlandse ballonnen verdwijnen dus gedeeltelijk naar het buitenland.

Tegelijkertijd is ook te verwachten dat vanuit het buitenland ballonnen naar Nederland komen. Hoeveel ballonnen vanuit het buitenland in Nederland terecht komen is in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Omdat in deze studie wordt gefocust op ballonnen in het mariene milieu is bekeken waar ballonnen terecht komen. De meeste komen neer op landbouwgrond (~32%), gevolgd zeewater (~26%) en gras (~16%). Het totaal percentage ballonnen op binnenwater is ongeveer 3.5% (zie Figuur 12).



Figuur 11 Verdeling van neergedaalde ballonnen over verschillende landen



Figuur 12 Verdeling van neergedaalde ballonnen over verschillende landtypen

Nadat is berekend waar ballonnen in het milieu terecht komen is gekeken wat er met het belangrijkste materiaal van ballonnen, latex, in het milieu gebeurt. Hierbij is aan de hand van literatuurstudie onderzocht of, en zo ja hoe, het materiaal afbreekt. Het afbraakproces is erg afhankelijk van de omstandigheden in het milieu met betrekking tot de aanwezige hoeveelheid zuurstof, licht, temperatuur, aanwezige soorten micro organismen.

Voor aerobe omstandigheden in het milieu, waar zuurstof aanwezig is (bijvoorbeeld op land en in ondiep zeewater), zijn onderzoeken beschikbaar over de afbreektijd onder verschillende omstandigheden (zie Tabel 4). Voor anaerobe omstandigheden in het milieu, waar zuurstof ontbreekt (bijvoorbeeld in de bodem onder grondwaterpeil of in de diepzee) is veel minder informatie bekend. Onder aerobe omstandigheden in zeewater wordt latex volledig afgebroken in ongeveer 2 tot 5 jaar, in zoetwater is dit ongeveer 2 jaar terwijl het onder laboratoriumomstandigheden al in 2 maanden kan afbreken. Voordat de ballon volledig is afgebroken, zal het al uiteen vallen in kleinere stukjes materiaal. Ballonnen in het mariene milieu kunnen dus meerdere jaren impact hebben op het milieu.

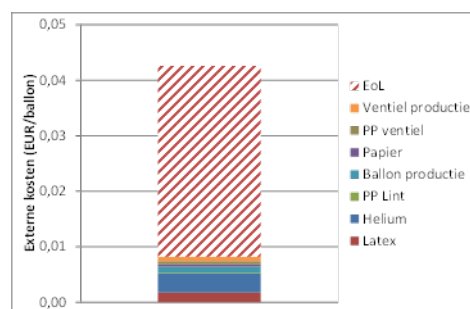
Naast latex wordt in ballonnen regelmatig Hifloat toegevoegd aan ballonnen, een middel waardoor ballonnen langer in de lucht blijven. Hifloat bestaat uit polyvinylalcohol gemengd met laagmoleculaire suikers of glycerol. Van suikers en glycerol is bekend dat dit vlot biologisch afbreekbaar is onder aerobe en anaerobe omstandigheden. Uit literatuur blijkt dat de tijdsduur van de afbraak van Hifloat 2 maanden tot 1 jaar is op basis van onderzoek op land en in zoetwater. Aangezien dit korter is dan de afbraaktijd van latex is niet te verwachten dat de afbraak van Hifloat de afbraak van latex vertraagt.

Tabel 4 Tijdsduur van afbraak van latex onder verschillende omstandigheden

Tijdsduur van afbraak onder verschillende omstandigheden								
	Aerobe condities (zuurstof aanwezig)				Anaerobe condities (geen zuurstof aanwezig)			
	Laboratorium	Zout water	Zoet water	Land	Laboratorium	Zout water	Zoet water	Land
Latex	2 maanden	2-5 jaar	2 jaar	Onbekend*	Onbekend*	Onbekend*	Onbekend*	Onbekend*
Hifloat	Snel	Onbekend*	2-3 maanden	1 jaar	1 jaar	Onbekend*	Onbekend*	Onbekend*

* Onbekend houdt in dat in deze studie zijn geen bronnen gevonden op basis waarvan een realistische inschatting van de afbraak kan worden bepaald.

Omdat ballonnen dus een aantal jaar in het milieu kunnen verblijven is gekeken naar de impact die ballonnen kunnen hebben op het milieu. Hiervoor is eerst een quickscan Levenscyclusanalyse (LCA) gedaan om de impact van een ballon inclusief lintje, kaartje, ventiel en helium te laten zien over de hele levenscyclus van grondstoffenwinning tot afdanking om de impact van de afdankingsfase in perspectief te plaatsen. Hieruit blijkt dat de kosten van het opruimen van de ballonresten in het milieu meer dan de helft zijn van de maatschappelijke kosten ten gevolgen van de productiefase en de grondstoffenwinningsfase (zie Figuur 13).



Figuur 13 Milieu impacts (uitgedrukt in euro's) van een individuele ballon

Het belangrijkste risico van latex ballonnen, ventielen (PP) en lintjes (PP) in het milieu zijn accumulatie van de polymeren in organismen, verstrikking en verstikking.

Op basis van beoordelingen van experts kan ingeschat worden in hoeverre de impacts tussen latex ballonnen, ventielen en lintjes verschillen

Met betrekking tot verstrikking wordt door de experts geschat dat visnetten (enigszins vergelijkbaar met lintjes), boeien en touwen de grootste schade veroorzaken, gevolgd door ballonnen en plastic tassen. Voor dopjes (enigszins vergelijkbaar met ventielen) wordt het risico op verstrikking lager ingeschat. Het betreft een relatieve schatting van het risico. Voor het inslikken van plastics is de schade ten gevolge van verschillende type materialen redelijk vergelijkbaar. Ook met betrekking tot verontreiniging worden de materialen redelijk vergelijkbaar ingeschat: 50 tot 70% van de items heeft een lage impact of geen dodelijke effecten. Dit geldt dus ook voor ballonnen, dopjes en visnetten.

Er is beperkt onderzoek gedaan naar deze effecten in de praktijk.

Uit huidige studies naar omvang van de schade in het milieu blijkt dat verstikking en verstrikking slechts incidenteel voorkomen en geen groot risico lijken te vormen voor het milieu. Meer onderzoek is nodig om het risico beter in kaart te brengen. Accumulatie van latex en PP in organismen komt regelmatig voor, in hoeverre dit te relateren valt aan ziekte of sterfte is nog niet voldoende onderzocht.

Latex en PP zijn niet toxisch. Wel kunnen bepaalde additieven die worden toegevoegd aan latex voor ballonnen of aan PP voor ventielen en lintjes toxisch zijn, in dit onderzoek is geen informatie gevonden over additieven in ballonnen, ventielen en lintjes (producenten hebben dit ook niet aangeleverd). Ook zijn geen specifieke studies gevonden naar de toxiciteit van ballonnen, ventielen of lintjes. Wel kan op basis van onderzoek naar de toxiciteit van latex condooms worden verwacht dat latex ballonnen niet toxisch zijn. Op basis van onderzoek naar verschillende PP materialen kan worden verwacht dat ventielen en lintjes niet toxisch zijn. Onderzoek specifiek naar de toxiciteit van ballonnen, lintjes en ventielen zou moeten plaatsvinden om dit te valideren.

Mogelijk kunnen persistente organische stoffen zich binden aan latex ballonnen in het milieu, hiernaar is onvoldoende onderzoek gedaan om conclusies te kunnen verbinden. Toekomstig onderzoek is noodzakelijk om hier conclusies aan te kunnen verbinden.

Voor latex ballonnen zijn op dit moment geen alternatieve materialen beschikbaar met vergelijkbare eigenschappen die een lagere milieu impact hebben en sneller afbreken.

Voor lintjes van polypropyleen zijn wel alternatieven beschikbaar die sneller afbreekbaar zijn. Dit kunnen materialen zijn op basis van fossiele grondstoffen of biomassa.

Bijzonder geschikt zijn de polymeren op basis van petroleum; polycaprolactone, alifatische polyesters zoals polybutylenen succinate, polyvinylalcohol en (deel-gehydrolyseerd) polyvinyl acetaat (petroleum gebaseerde grondstoffen)

Daarnaast zijn ook polymeren direct gevormd vanuit biomassa zeer geschikt zoals; polyhydroxybutyrate, polylactide en zetmeel gebaseerde materialen.

In deze studie is een aantal zaken buiten beschouwing gelaten die ook milieu impact zouden kunnen hebben. Ook is er een aantal zaken die mogelijk impact kunnen hebben, maar waarnaar onvoldoende onderzoek is gedaan. Deze zaken worden hieronder nog kort belicht:

- Andere ballonnen die worden opgelaten zoals Thaise wensballonnen en folieballonnen zijn buiten beschouwing gelaten de impact van deze ballonnen zou nader moeten worden bestudeerd;
- Een groot aantal ballonnen van Nederland komt in het buitenland terecht. Tegelijkertijd zal ook een deel van de in het buitenland opgelaten ballonnen in Nederland landen. Om de milieu impact van ballonnen in Nederland te bepalen zou dit nader onderzocht kunnen worden;
- De aannames met betrekking tot stijging van ballonnen zijn gebaseerd op een zeer beperkt onderzoek, dit zou nader kunnen worden onderzocht;
- De afbreekbaarheid van latex in organismen is een nog weinig onderzocht gebied, terwijl accumulatie wel wordt gezien als een van de belangrijkste impacts;
- Een inschatting van de toxiciteit van ballonnen is gedaan op basis van gegevens van latex condooms. Om daadwerkelijk inzicht te krijgen in de toxiciteit van latex ballonnen zou specifiek onderzoek specifiek naar de toxiciteit van latex ballonnen moeten worden gedaan.
- Geen informatie over additieven is in deze studie gevonden, deze informatie kan wel relevant zijn voor de toxiciteit;
- Persistente organische stoffen kunnen zich mogelijk binden aan latex ballonnen, PP ventielen en PP lintjes in het milieu, hiernaar is onvoldoende onderzoek gedaan om conclusies aan te verbinden;
- In de quickscan LCA zijn nu alleen de kosten van het opruimen van zwerfafval meegenomen, als de schade aan het milieu gekwantificeerd zou kunnen worden zou dit een beter inzicht geven;
- In deze studie is de milieu impact van het gebruik van helium niet nader bekeken, terwijl dit uit de LCA quickscan wel naar voren komt als een belangrijke impact categorie. Dit zou nader kunnen worden onderzocht.

10 Referenties

Hoofdstuk 4 Jaarlijks oplaten van ballonnen in Nederland

CBS, 2015, *Aantal inwoners per gemeente*, Bevolkingsstatistieken Den Haag
Kaarsemaker, S., 2015, *Ballonnen in het mariene milieu*, Lichte Bries, Arnhem

Kamer van Koophandel, 2014 *Jaaroverzicht Ondernemend Nederland*

OHL, 2016, *Sfeerballonnen*, http://www.lvnl-ohd.nl/content/bijzondere_activiteiten/kinderballonnen/speelgoedballonnen_map.html (Geraadpleegd 11 jan 2016)

Reinhard, Stijn, Arianne de Blaeij, Marc Jeroen Bogaardt, Aris Gaaff, Mardik Leopold, Michaela Scholl, Diana Slijkerman, Wouter Jan Strietman, Paul van der Wielen, 2012, *Cost-effectiveness and cost-benefit analysis for the MFSD*, LEI report 2011-036, The Hague

Hoofdstuk 5 Verspreiding van de opgelaten ballonnen in Nederland

Burchette D.K., 1989, *A study of the Effect of Balloon Releases on the Environment*. Final Report presented to National Association of Balloon Artists.

Farris L. 2009. *What goes up must come down*. Fourth Crossing Wildlife Australian Seabird Rescue. www.fourthcrossingwildlife.com/WhatGoesUp-LanceFerris.htm. (Accessed March 18, 2011)

Irwin, 2012, *mass latex balloons releases and the potential effects on wildlife*, thesis to obtain degree of doctor of philosophy.

Schaap, M., Sauter, F., Timmermans, R.M.A., Roemer, M., Velders, G., Beck, J., Builtjes, P.J.H., 2008. *The LOTOS-EUROS model: description, validation and latest developments*, *International Journal of Environment and Pollution* 32 (2), 270–290

Hoofdstuk 6 Afbreekbaarheid van latex en hifloat

Agostini et al. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 91 (2008) 3, 703–707

Alvarez-Zeferino, J.C., Beltrán-Villavicencio, M. & A. Vázquez-Morillas; *Degradation of plastics in seawater in laboratory*; *Open Journal of Polymer Chemistry* 2015; (5) 55-62

Andrady, A.; *Microplastics in the marine environment*; *Mar. Pollut. Bull.* 2011; (62) 1596-1605

Berekaa, M.M., Barakaat, A., El-Sayed, S.M. & S.A. El-Aassar; *Degradation of natural rubber by Achromobacter sp. NRB and evaluation of culture conditions*; *Polish Journal of Microbiology* 2005; (54) 5-62

Bode, H.B., Kerkhoff, K. & D. Jendrossek; *Bacterial degradation of natural and synthetic rubber*; Biomacromolecules 2001; (2) 295-303

Burchette, D.K.; *A study of the effect of balloon releases on the environment*; https://www.balloonhq.com/faq/deco_releases/release_study.html; 1989

Chiellini, E., Corti, A. & R. Solaro; *Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based blown films under different environmental conditions*; Polymer Degradation and Stability 1999 (64) 305-312

Chiellini, E., Corti, A., D'Antone, S. & R. Solaro ; *Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based materials*; Progr. Polym. Sci. 2003; (28) 163-1014

Foley, A.M.; *A preliminary investigation on some specific aspects of latex balloon degradation*; report Florida Department of Natural Resources/ Florida Marine Research Institute; 1990

Gallert, C.; *Degradation of latex and of natural rubber by Streptomyces Strain La 7*; System. Appl. Microbiol. 2000; (23) 433-441

Greene, J.; *PLA and PHA biodegradation in the marine environment*; report produced by California State University for Californian Department of Resources Recycling and Recovery; contract DRR 10030; 2012

Grossi, V., Cravo-Laureau, C., Méou, A., Rhapsel, D., Gardzino, F. & A. Hirschler-Réa ; *Anaerobic 1-alkene metabolism by the alkane- and alkene-degrading sulfate reducer Desulfatibacillum aliphaticivorans strain CV2803*; Appl. Environ. Microbiol. 2007; 7882-7890

Hirschler-Réa, A., Cravo-Laureau, C., Casalot, L. & R. Matheron ; *Methanogenic octadecene degradation by syntrophic enrichment culture from brackish sediments* ; Curr. Microbiol. 2012; (65) 561-567

Hylemon, P.B. & J. Harder; *Biotransformation of monoterpenes, bile acids, and other isoprenoids in anaerobic ecosystems*; FEMS Microbiol. Rev. 1999; (22) 475-488

Kaarsemaker, S.; *Ballonnen in het mariene milieu; draft rapport*, Lichte Bries in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Arnhem, januari 2015

Lambert, S., Sinclair, C.J., Bradley, E.J. & A.B.A. Boxall; *Effects of environmental conditions on latex degradation in aquatic systems*; Science of the Total Environment 2013; (447) 225-234

Lambert, S., *Environmental Risk of Polymers and their Degradation Products*, PhD Thesis 2013

Linos, A. & A. Steinbüchel; *Biodegradation of natural and synthetic rubbers*; Biopolymers Online 2 2005

Matsumura, S., Kurita, H. & H. Shimokobe; *Anaerobic biodegradability of poly vinyl alcohol*; Biotechnol. Lett. 1993; (15) 749-754

Rose, K. & A. Steinbüchel; *Biodegradation of natural rubber and related compounds: recent insights into a hardly understood catabolic capability of microorganisms*; Appl. Environ. Microbiol. 2005; 2803-2812

Seidel, J., Smitt, G., Hoffmann, M., Jendrosseck, D. & O. Einsle; *Structure of the processive rubber oxygenase RoxA from Xanthomonas sp*; PNAS 2013; (110) 13833-13838

Shah, A.A., Hasan, F., Shah, Z., Kanwal, N. & S. Zeb; *Biodegradation of natural and synthetic rubbers; a review*; International Biodeterioration & Biodegradation 2013; (83) 145-157

Siddique, T., Mohamad Shaimin, M.F., Zamir, S., Semple, K. Li, C. & J.M. Foght; *Long-term incubation reveals methanogenic biodegradation of C5 and C6 iso-alkanes in oil sands tailings*; Environ. Sci. Technol. 2015; (49) 14732-14739

Widdel, F. & R. Rabus; *Anaerobic biodegradation of saturated and aromatic hydrocarbons*; Current Opinion in Biotechnology 2001; (12) 259-276

www.astm.org

Hoofdstuk 7 de ecologische schade van het oplaten van ballonnen in Nederland

Carvalho, R., Dutra Lacerda, P, da Silva Mendes, S., Barbosa, B.C., Pascahoalini M, Prezoto, F., Sousa, B.M., 2015, *Marine debris ingestion by sea turtles (Testudines) on the Brazilian coast: an underestimated threat?*, Marine Pollution Bulletin, Elsevier

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A. d., Struijs, J., & Zelm, R. v. May 2013. ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; First edition (version 1.08); Report I: Characterisation. Amersfoort, Leiden, Nijmegen, Bilthoven: PRé Consultants, CML - University of Leiden, RUN - Radboud University Nijmegen, RIVM.

Guinée, J., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, A. d., et al. 2001. LCA - An operational guide to the ISO-standards. Leiden; Delft; Emst; Amsterdam: Leiden University; University of Technology; Bureau B&G; University of Amsterdam.

Groene ballon, Gesprek met Pim Santhuis en Ramon Tabak, 30 november 2015, TNO locatie Utrecht

Harmelen, T. van, Korenromp, R., Deutekom, C. van, Ligthart, T., Leeuwen S. van en Gijlswijk, R. van, The price of toxicity. Methodology for the assessment of shadow prices for human toxicity, ecotoxicity and abiotic depletion, 2007, Quantified Eco-Efficiency, Volume 22 of the series Eco-Efficiency in Industry and Science pp 105-125

Huijbregts, M. (2000). Priority assessment of toxic substances in the frame of LCA. Time horizon dependency of toxicity potentials calculated with the multi-media fate, exposure and effects model USES-LCA. . Amsterdam: Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, UvA.

Van Franeker, J.A. Vijf weetjes over afval van ballonnen. Bericht van 20 april 2015 op het IMARES dossier "Plastic afval en het dierenleven op zee"
www.wageningenur.nl/plastics-stormvogels

Van Franeker J.A., S. Kühn, E.L. Bravo Rebolledo & A. Meijboom, Fulmar Litter EcoQO monitoring in the Netherlands - Update 2012 and 2013 Report number C122/14

ISO. (2006). ISO 14040-44. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework en ISO 14044, 2006: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. ISO.

Irwin, S.W. Mass latex balloons releases and the potential effects of wildlife. 2012. PhD Dissertation Graduate School of Clemson University, South Carolina, USA. 87pp.

Lambert, S., *Environmental Risk of Polymers and their Degradation Products*, PhD Thesis 2013

Lutz, P.L. Studies on the ingestion of plastic and latex by sea turtles, in proceedings of the second international conference on marine debris, 1989, Honolulu Hawaii.

Nelms, S.E., Duncan, M.E., Broderick, A.C., Galloway, T.S., Godfrey, M.H., Hamann, M., Lindeque, P.K. and Godley B.J. plastic and marine turtles: a review and call for research, 2015.

Schuyler, Q., Hardesty, B.D., Wilcox, C. and Townsend K., To eat or not to eat? Debris selectivity by marine turtles, PLoS ONE 7(10) 2012

Weidema, B.P.; Bauer, Ch.; Hischer, R.; Mutel, Ch.; Nemecek, T.; Reinhard, J.; Vadenbo, C.O.; Wernet, G, 2013, The ecoinvent database: Overview and methodology, Data quality guideline for the ecoinvent database version 3, www.ecoinvent.org

Wilcox, C.; Mallos, N.; Leonard, G.; Rodriguez, A.; Hardesty, B., 2016, Using expert elicitation to estimate the impacts of plastic pollution on marine wildlife, Marine policy 65 (2016) pg 107-114

Hoofdstuk 8 Alternatieve materialen

Tokiwa et al., Biodegradability of Plastics, Int. J. Mol. Sci., 2009, 10, 3722-3742

11 Ondertekening

Naam van de opdrachtgever
Rijkswaterstaat Leefomgeving
T.a.v. Daphne van den Berg
Griffioenlaan 2
3526 LA Utrecht

Naam en functies van de medewerkers:
Dr. H.R. Fischer
Dr. ir. J.W. van Groenestijn
Dr. J.S. Henzing
Ir A. van Horssen
R. Kranenburg MSc

LEI Wageningen UR
Dr. ir. S. Reinhard, Ir. P. Rijk

Periode waarin het onderzoek plaatsvond
December 2015 – Maart 2016

Naam en paraaf tweede lezer



Drs. A.K. van Harmelen

Ondertekening



E.D. Boukris MSc
Projectleider

Autorisatie vrijgave



Ir. R.A.W. Albers MPA
Research Manager

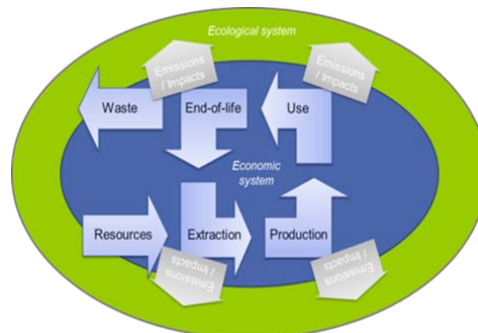
A Resultaten van Kaarsemaker met betrekking tot het aantal opgelaten ballonnen in Nederland

Aantal in Nederland opgelaten ballonnen per jaar door Kaarsemaker (2015) ingeschat.

	Bevolking (Rekeneenheid)	% dat ballonnen oplaat	Geschat aantal ballonnen	Totaal aantal ballonnen
Grote oplatingen	200(15*1,33*10)		3000	600.000
Koninginne/Koningsdag	1100	25%	100	27.500
Bruiloften	65.000	5 % van alle	50	162.500
Scholen	7500	5%	100	37.500
Openingen	5 per werkdag		500	647.500
Anders	15 per dag		100	547.500
Totaal				2.022.500

B Achtergrond informatie LCA

Om een indicatie te krijgen van de mogelijke milieueffecten van de productie van ballonnen is een quickscan uitgevoerd op basis van de LCA methodologie. Een LCA is een analyse van alle relevante milieueffecten gedurende de volledige levenscyclus van een product of een dienst, van de winning van de ruwe materialen, de productie, het onderhoud tot en met de verwijdering na gebruik. Deze methode is beschreven in de ISO 14040 en ISO 14044 normen (ISO, 2006).



De eerste stap in een LCA is het verzamelen van de relevante levenscyclusdata. Per levensfase wordt geïnventariseerd welke materialen, processen, emissies en afvalstromen ontstaan of gebruikt worden. Nadat alle relevante levenscyclusdata zijn verzameld, kunnen de milieueffecten berekend worden door middel van een effectbeoordelingsmethode, die de individuele emissies omrekent in milieueffectcategorieën. Een voorbeeld hier van zijn alle individuele broeikasgassen (zoals koolstof dioxide, methaan, lachgas e.v.a.) die geïnventariseerd worden per levensfase, en vervolgens in de analyse worden omgerekend in CO₂-equivalenten voor de milieu-effectcategorie "klimaatverandering". De gehanteerde methode en de milieueffectcategorieën die meegenomen worden in deze studie worden besproken staan beschreven in deze bijlage onder de paragraaf effectbeoordeling

Het uitvoeren van een LCA volgens bovenstaande methode is een arbeidsintensief proces waarvoor binnen de studie geen ruimte was. Voor een eerste indicatie in een scan uitgevoerd met behulp van bestaande procesdata uit de EcolInvent databases (Weidema, 2013). Voor producten en processen waarvoor deze data niet beschikbaar waren is een zo goed mogelijk aanname gedaan.

De bijdragen van de verschillende effectcategorieën kunnen worden gewogen en opgeteld tot één totaalscore voor de milieu-impact van de ballon over de volledige, beschouwde levenscyclus. Het is niet volgens ISO maar leidt tot een begrijpelijke presentatie van de resultaten. Dit is nog meer het geval als de weegfactoren een betekenis hebben die door de lezer te begrijpen is. Daarom wordt de schaduwrijzenmethode (Van Harmelen, 2007) gebruikt om verschillende impactcategorieën vergelijkbaar te maken en te aggregeren. Wegen is waarderen en deze methode doet dat letterlijk: Met behulp van deze methode wordt de waarde van milieu-impact van elke categorie uitgedrukt in een monetaire eenheid, de Euro. Dit gebeurt met behulp van prijzen per effectcategorie. Het gaat hierbij om effecten die niet in de economie worden meegenomen, zogenaamde externe effecten die niet in de marktprijs zijn verdisconteerd. Voor deze effecten is geen markt en dus ook geen marktprijs. Maar ze hebben wel een waarde, men spreekt dan ook wel van schaduwrijzen. Niettemin is het begrip 'prijs' algemeen bekend als de waarde per eenheid en daarom voor een breed publiek goed te begrijpen.

Effectbeoordeling (ReCiPe)

Voor het analyseren van de milieueffecten wordt de in Europa breed geaccepteerde ReCiPe-methode toegepast. Daarbij worden de ingrepen in het milieu (zoals landgebruik of de emissies van schadelijke stoffen) met behulp van karakterisatiefactoren omgerekend naar milieu-impacts. Milieu-impacts kunnen zowel uitgedrukt worden in “tijdelijke” milieueffecten (zgn. midpoints) zoals klimaatverandering en ecotoxiciteit, maar ook in einddoelen (endpoints), dat wil zeggen milieueffecten zoals “grondstoffendepletie” en “menselijke gezondheid”. Er zitten voor- en nadelen aan beide benaderingen. De endpoint-effectcategorieën hebben als voordeel dat de einddoelen vaak beter aansluiten bij beleidsdoelen of andere maatschappelijke toepassingen dan de meer abstracte midpointcategorieën. Het nadeel van de endpoints is echter dat de berekening ervan meer tussenstappen en aannames vergt dan de midpointcategorieën, welke duidelijker herleidbaar zijn tot bepaalde emissies en processen. Midpointindicatoren geven zodoende meer gedetailleerde informatie over hoe op het milieu wordt ingegrepen. Bovendien is er een sterkere relatie met de technische en organisatorische oplossingen van de milieuproblemen. Deze benadering heeft in deze studie de voorkeur.

De milieueffectcategorieën in de ReCiPe-midpointmethode zijn:

- Water Depletion
- Metal Depletion
- Fossil Depletion
- Climate Change
- Ozone Depletion
- Human Toxicity
- Freshwater Ecotoxicity
- Marine Ecotoxicity
- Terrestrial Ecotoxicity
- Photochemical Oxidant Formation
- Freshwater Eutrophication
- Marine Eutrophication
- Terrestrial Acidification
- Particulate Matter Formation
- Ionising radiation
- Agricultural Land Occupation
- Urban Land Occupation
- Land Transformation.

Naast de onderverdeling in mid- en endpoints, zijn er drie verschillende analyse-perspectieven mogelijk bij de ReCiPe-methode: individualist (I), hierarchist (H) en egalitarian (E). Deze perspectieven hebben niet als doel om nauwkeurig bepaalde archetypes van menselijk gedrag te representeren, maar ze worden vooral gebruikt om coherente soorten keuzes en aannames te groeperen. In praktijk betekent dit bijvoorbeeld (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Struijs, & Zelm, May 2013):

- Het individualist perspectief is gebaseerd op kortetermijnbelangen, effectcategorieën die onomstreden zijn en technologische optimisme als het gaat om menselijk aanpassingsvermogen.
- Het hierarchist perspectief is gebaseerd op de meest algemene beleidsprincipes wat betreft tijdsbestek en andere onderwerpen.
- Het egalitarian perspectief is het meest voorzichtige perspectief.

Dit perspectief houdt rekening met het langste tijdsbestek, milieueffecten die nog niet volledig zeker zijn maar waar wel enige indicatie voor bestaat, etcetera.

In deze studie is het hierarchist perspectief gehanteerd, omdat dit het meest gemiddelde scenario is en het beste aansluit bij huidige beleidsvormen.

Effectcategorieën – ReCiPe

De in deze studie gehanteerde effectcategorieën zijn hieronder kort toegelicht (gebaseerd op (Guinée, et al., 2001) en (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Struijs, & Zelm, May 2013)).

Water Depletion

Water is een schaars goed in veel delen van de wereld, maar is tegelijkertijd overvloedig aanwezig in andere delen van de wereld. In tegenstelling tot de meeste andere hulpbronnen is er geen wereldmarkt die zorgt voor wereldwijde waterdistributie. De markt werkt niet over lange afstanden omdat de transportkosten te hoog zijn. Waterwinning in droge gebieden kan significante schade aanrichten aan ecosystemen en menselijke gezondheid, maar tot op heden zijn er nog geen modellen beschikbaar die de schade van waterschaarste op een endpoint-niveau weergeven. De midpoint-indicator drukt slechts de hoeveelheid geconsumeerd water uit, ongeacht de locatie.

Metal Depletion

Het uitputten van schaarse grondstoffen zoals metalen wordt beoordeeld aan de hand van de totale voorraad van de stof (bijvoorbeeld goud) in verhouding tot het jaarlijks verbruik.

Fossil Depletion

Abiotische, fossiele grondstoffen zijn natuurlijke hulpbronnen die als levenloos worden beschouwd, zoals ruwe olie en aardgas. De uitputting van abiotische grondstoffen is een van de meest bediscussieerde effectcategorieën en er is dientengevolge een grote hoeveelheid verschillende methodes beschikbaar om de bijdrages aan deze categorie te karakteriseren. Het uitputten van schaarse grondstoffen wordt beoordeeld aan de hand van de totale voorraad van de stof (bijvoorbeeld olie) in verhouding tot het jaarlijks verbruik.

Climate Change

Klimaatverandering is gedefinieerd als het effect van menselijke emissies op het warmtestraling-absorberend vermogen van de atmosfeer. Dit kan op zijn beurt negatieve effecten hebben op de stabiliteit van het ecosysteem, de volksgezondheid en materiële welvaart. Broeikasgassen vergroten het warmtestraling-absorberend vermogen waardoor de temperatuur van het aardoppervlak stijgt, in de volksmond 'het broeikaseffect' geheten. Broeikasgassen hebben elk een verschillende Global Warming Potential en elke afzonderlijke emissie kan worden omgerekend tot een equivalente hoeveelheid kooldioxide (CO₂) emissie.

Voor de grondstoffen die zijn gebaseerd op biomassa (bijv. katoen, jute, papier, PLA, bio-PE en zetmeel) wordt CO₂ opgenomen uit de lucht gedurende de groei van de planten en komt de CO₂ na enkele of meerdere jaren weer in de lucht als de plant sterft of als de toepassing waarin de plant verwerkt is (bijv. houten meubels) worden afgedankt.

Deze zogeheten biogene CO₂-emissies worden daarom “kortcyclisch” genoemd. De meeste milieuanalysemethoden nemen biogene CO₂ niet mee in de berekening van klimaatverandering: biogene CO₂-emissies worden gelijk gesteld aan geen CO₂-emissies. Dit geldt zowel voor de opname van CO₂ uit de lucht door gewassen en bomen, als voor de uitstoot van CO₂ naar de lucht na bijvoorbeeld verbranding of compostering.

Ozone Depletion

De aantasting van de stratosferische ozonlaag door menselijke emissies zorgt ervoor dat een groter gedeelte van de UV-B straling van de zon het aardoppervlak bereikt, met mogelijk schadelijke effecten op volksgezondheid, dierlijke gezondheid, terrestrische en aquatische ecosystemen, biochemische cycli en –stoffen. De belangrijkste ozonlaagaantastende stoffen zijn de zogenaamde chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) en halonen. Het ozonlaag aantastende vermogen van deze stoffen wordt uitgedrukt in equivalenten van de referentiestof CFK-11.

Human Toxicity, Freshwater Ecotoxicity, Marine Ecotoxicity & Terrestrial Ecotoxicity

Voor het bepalen van de potentiële toxiciteit van de stof wordt gerekend met een multimediaal verspreidingsmodel, USES 2.0, ontwikkeld door RIVM, en vertaald naar LCA toepassing door de Universiteit van Amsterdam (Huijbrechts, 2000). Door middel van stofspecifieke verspreidingsfactoren wordt bepaald hoeveel van de initiële emissie uiteindelijk *in potentie* in andere milieucompartmenten terecht komt. Vervolgens worden de berekende hoeveelheden per stof per milieucompartment gedeeld door een uit de toxicologie afgeleide factor, zoals acceptable daily intake (ADI) of no-observed-effect concentration (NOEC), afhankelijk van de effectcategorie en de stofgroep.

Humane toxiciteit verwijst naar de effecten van toxische stoffen in het milieu op de volksgezondheid. Zoetwater aquatische ecotoxiciteit en mariene aquatische ecotoxiciteit verwijzen naar het effect van toxische stoffen op respectievelijk zoetwater aquatische ecosystemen en mariene aquatische ecosystemen. Terrestrische ecotoxiciteit verwijst naar de effecten van toxische stoffen op terrestrische ecosystemen. De humane toxiciteit, aquatische en terrestrische ecotoxiciteit worden uitgedrukt in 1,4-dichloorbenzeenequivalenten.

Photochemical Oxidant Formation

Fotochemische oxidantvorming is de vorming van reactieve chemische verbindingen, zoals ozon, door de werking van zonlicht op bepaalde primaire luchtvervuilende stoffen. Deze reactieve verbindingen kunnen schadelijk zijn voor zowel de gezondheid als voor gewassen. Fotochemische oxidanten kunnen onder invloed van ultraviolet licht in de troposfeer gevormd worden, door de fotochemische oxidatie van vluchtige organische stoffen (VOS) en koolmonoxide (CO) in aanwezigheid van stikstofoxiden (NO_x). Het vermogen tot smogvorming van stoffen is bepaald met C₂H₂ als referentie.

Freshwater Eutrophication & Marine Eutrophication

Eutroficatie oftewel vermessing beslaat alle potentiële effecten van overmatig hoge niveaus van macronutriënten, de meest belangrijke daarvan zijn stikstof (N) en fosfor (P).

Nutriëntverrijking kan ongewenste verschuivingen in de soortensamenstelling en verhoogde biomassaproductie teweegbrengen, in zowel aquatische als terrestrische ecosystemen. Hoge concentraties nutriënten kunnen bovendien oppervlaktewater ongeschikt maken als drinkwater. In aquatische ecosystemen kan de vergrote biomassa leiden tot verlaagde zuurstofniveaus, vanwege het extra zuurstofverbruik door biomassa-afbraak. De ReCiPe-methode neemt alleen de vermessing van zoet- en zoutwater mee, en laat de terrestrische effecten buiten beschouwing. Het totaal vermestende effect van een emissie wordt omgerekend naar PO_4 -equivalenten.

Terrestrial Acidification

Verzurende stoffen hebben een lange reeks effecten op bodem, grondwater, oppervlaktewateren, organismen en ecosystemen. Verzuring wordt veroorzaakt door emissies van verzurende stoffen naar lucht, de voornaamste verzurende emissies zijn SO_2 , NO_x en NH_x . Het verzurend vermogen van een emissie wordt omgerekend naar SO_2 -equivalenten. Voorbeelden van de gevolgen van verzuring zijn onder meer de afname van bossen, het vergaan van bouwmaterialen en de vissterfte in Scandinavische meren. De ReCiPe-methode neemt alleen terrestrische effecten mee, niet de aquatische effecten.

Particulate Matter Formation

Klein fijnstofdeeltjes met een diameter van minder dan $10\text{ }\mu\text{m}$ (PM_{10}) bestaan uit een complexe mix van organische en inorgische stoffen. PM_{10} veroorzaakt gezondheidsproblemen wanneer ze de deeltjes het bovenste deel van de luchtwegen en longen bereiken tijdens het ademen. Secundaire PM_{10} aerosolen worden gevormd in de lucht door de emissie van o.a. zwaveldioxide (SO_2), ammonia (NH_3) en stikstofoxiden (NO_x). Het inademen van deeltjes met verschillende groottes kan leiden tot verschillende soorten gezondheidsproblemen.

Ionising radiation

Ioniserende straling is ook wel bekend onder de noemer “radioactieve straling”. In deze effectcategorie zijn de effecten van ioniserende straling over een tijdsperiode van meerdere eeuwen gemodelleerd. Ioniserende straling kan zowel carcinogene als overerfbare effecten hebben. De eenheid waarin ioniserende straling wordt uitgedrukt is Man.Sievert.

Agricultural Land Occupation & Urban Land Occupation & Land Transformation

De effecten van landgebruik hebben betrekking op de schade aan ecosystemen ten gevolge van de occupatie of transformatie van land. Alhoewel er vele mechanismen schuil gaan achter de interactie tussen landgebruik en biodiversiteitsverlies, focust de ReCiPe-methode alleen op de occupatie van een bepaald gebied gedurende een bepaalde periode en de transformatie van een bepaald gebied. Om de midpointeffecten te gebruiken, is de competitiebenadering gevolgd die ook in de CML-methode gehanteerd wordt en waarbij geen onderscheid gemaakt wordt tussen de verschillende landtypes.

Schaduw prijzen

Tabel 5 Schaduw prijzen per effectcategorie (eq.=equivalent). Prijzen zijn niet direct vergelijkbaar vanwege verschil in eenheden

Milieuthema	Eenheid milieu-impact	Schaduw prijs [€/eenheid eq. emissie]
Climate change	kg CO ₂ -eq.	0,025
Ozone depletion	kg CFC 11 eq.	39,1
Human toxicity	kg 1,4-DCB-eq.	0,0206
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	0,585
Particulate matter formation	kg PM ₁₀ -eq.	51,5
Ionising radiation	kg U ₂₃₅ -eq.	0,0425
Terrestrial acidification	kg SO ₂ -eq.	0,638
Freshwater eutrophication	kg P-eq.	1,78
Marine eutrophication	kg N-eq.	12,5
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB-eq.	1,28
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB-eq.	0,04
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB-eq.	0,0001
Agricultural land occupation	m ² a	0,094
Urban land occupation	m ² a	0,094
Natural land transformation	m ²	0,0019
Water depletion	m ³	1
Metal depletion	kg Fe-eq.	0
Fossil depletion	kg oil-eq.	0