

Chemische Feitelijkheden

#337
Editie 83
juli 2017

Arno van 't Hoog

Plasticafbraak

De chemie van verweren en verteren

Kunststof in het milieu lijkt nooit te vergaan. Lege flessen en oude tassen gaan zwerven en je vindt ze terug in alle uithoeken van de wereldzeeën. Toch is geen enkel plastic opgewassen tegen weersinvloeden. Verval komt op gang door een complex proces van chemische reacties, waardoor het materiaal uiteenvalt en bacteriën afbraakproducten van het polymeer kunnen opnemen. Dat proces verloopt traag, maar het lijkt erop dat een deel van het zwerfplastic via die route in de

loop der jaren kan verdwijnen. Toch is die afbraak nog met veel vraagtekens omgeven, ook over nieuwe risico's. Bij de verkrumming van kunststof ontstaan namelijk microplastics, die vissen, schelpdieren en vogels voor voer kunnen aanzien. Plastics verspreiden bovendien weekmakers en vlamvertragers. Plasticafbraak helpt weliswaar een deel van onze rotzooi op te ruimen, maar voor mens en milieu is zwerfafval voorkomen beter dan verteren.

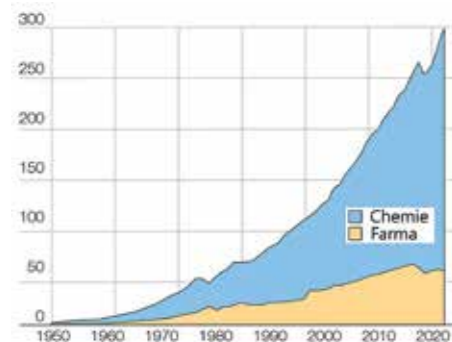
De chemie van verwerpen en verteren

Zet plastic in de zon in de buitenlucht en er komt een proces van verval op gang, ook al kun je nog niks zien. Wetenschappers proberen die verwerking beter te begrijpen om zo zicht te krijgen op het lot van zwerfend plastic in de oceanen.

Vrijwel iedereen kent inmiddels de term 'plastic soep', de aanduiding voor drijvend plastic afval in verafgelegen oceanen.

Het is het ultieme zwerfafval dat zich grenzeloos verspreidt en verzamelt op plekken waar de oceaanstrooming rondjes draait. Plastic soep is synoniem geworden voor moderne milieuvuiling. Dat geldt ook voor de natuur dicht bij huis: je hoeft namelijk niet naar de tropen, want ook in onze streken is plasticzwerfafval overal te vinden.

Kunststoffen zijn zeer veelzijdig, licht, slijtvast en goedkoop. Je kunt er spullen en eten prima in transporteren, bewaren, en jezelf of je huis mee bekleden. Plastics zijn niet voor niets uitgegroeid tot de grote triomf van de polymeerchemie en de petrochemische industrie. Bij aanvang van het kunststoftijdperk, rond 1944, lag de we-



De wereldkunststoffenproductie in miljoenen tonnen (blauw) en in Europa (geel). Inclusief thermoplasten, polyurethaan, thermoharders, elastomeren, lijmen, coatings, kit en polypropenevezels. Exclusief PET-, polyamide- en polyacrylvezels.

Bron: PlasticsEurope (PEMRG)/Consultic.

reldproductie op een schamele 500.000 kg. In zeventig jaar is dat toegenomen tot 300 miljoen ton per jaar (zie grafiek). De steile groeicurve laat zien dat we de komende twintig jaar nog veel meer plastic gaan verbruiken; plasticfabrikanten verwachten een wereldwijde vraag van 400 miljoen ton in 2050.

Die groei is te danken aan fossiele brandstoffen. Tegenwoordig gaat naar schatting 8 % van de wereldproductie aan olie en gas naar de productie van kunststoffen. De helft van die hoeveelheid dient als bron van koolwaterstoffen voor basischemicaliën, het overige is nodig als energiebron voor synthese en verwerking.

Veelzijdig en goedkoop

Het grote belang van kunststoffen is ook af te lezen aan het verbruik van grondstoffen als etheen, propeen, benzeen, xyleen en butadien. We verwerken 80 à 90 % van de wereldproductie in plastics.

Etheen is in volume het grootst, wat klopt met het grote marktaandeel van de kunststof polyetheen (PE). Daarna volgen polypropeen (PP), polyvinylchloride (pvc), polyetheentereftalaat (PET), acrylonitril-butadien-styreen (ABS) en polycarbonaat.

Door de veelzijdigheid en de lage kostprijs danken we heel veel plastics binnen een jaar na productie als afval af. Drinkflessen, verpakkingen en folies gooien we in de prullenbak; oude televisies en computers leveren we in. Een deel van dat kunststofafval recyclen of verbranden we, de rest belandt op de vuilstort. In 2014 produceerden consumenten in de hele Europese Unie 26 miljoen ton plasticafval: 30 % ging richting recy-

cling, 39 % naar de vuilverbranding en 31 % eindigde op de vuilstort. Zo beschreven klinkt het als een sluitende boekhouding, maar we gooien lang niet al het afval op de juiste manier weg. Werp een blik op het strand, een snelwegberm of stadsgracht om je te realiseren dat kunststofzwerfafval overal te vinden is. En dan is de situatie in Nederland vaak rooskleuriger dan in miljoenensteden in Azië en Zuid-Amerika. Er bestaan namelijk grote verschillen tussen landen in de wijze waarop ze afval verwerken, en dus ook in de hoeveelheid plastic die lokaal kan gaan zwerven in het milieu.

Moleculaire veranderingen

Doordat de meest dichtbevolkte metropolen in kustgebieden liggen, is in de strook van enkele tientallen kilometers tot aan zee de kans het grootst dat plastics via wind, regenwater en rivieren in de oceaan belanden. Onderzoekers proberen al jaren een schatting te maken van die afvalstroom. Amerikaanse wetenschappers kwamen in 2015 met een uitgebreide berekening. Jaarlijks belandt volgens hen wereldwijd tussen de 4,8 en 12,7 miljoen ton plastic via deze route in zee. Vooral in landen als China en Indonesië is het percentage *mis-*

managed plastic waste fors met respectievelijk 76 en 83 %. Ze verwerken veel afval daar niet goed. Het gaat mis met afdanken, ophalen en begraven ervan. Eenmaal in het milieu begint een compleet nieuwe fase in het leven van plastic. Het staat bloot aan de elementen: zon, temperatuurwisselingen, zuurstof en aangroei door allerhande organismen. En hoewel velen plastic zien als robuust en inert, blijkt dat maar gedeeltelijk te kloppen. Als je geduld hebt, kun je een transparant PET-flesje een zomer lang in een zonnig raam laten staan. De kans is groot dat je



Tabel 1. Wereldplasticproductie in miljoenen tonnen (2012)

Polyetheen	78
Polypropeen	53
Polyvinylchloride	38
Polyetheentereftalaat	19
Polystyreen	11
ABS	8
Polycarbonaat	4
Overig	77
Totaal	288

Bron: PlasticsEurope.

► Plastics, additieven en persistente stoffen

Plasticafval bevat altijd meer dan zuiver polymeer. Dat blijkt ook als analytisch chemici plastics aan een nader onderzoek onderwerpen. Zo kochten Zuid-Koreaanse onderzoekers veelgebruikte eetkommetjes, snackverpakkingen en drinkflessen, om ze met gaschromatografie te ontrafelen. Het resultaat was een collectie van 231 verschillende stoffen, variërend van uv-stabilisatoren, antioxidanten, weekmakers, kleurstoffen en vlamvertragers. Maar ook plasticgrondstoffen en afbraakproducten waren aanwezig, net als ingrediënten van drukinkt. De onderzoekers verzamelden tevens overeenkomstig plasticafval van een Zuid-Koreaans strand. Analyse daarvan liet zien dat veel van de toevoegingen in korte tijd gedeeltelijk uitlogen in het zeewater. Vooral veelgebruikte benzotriazol uv-stabilisatoren trekken daarbij steeds meer aandacht. Die lossen redelijk goed op in water, zijn persistent en je vindt ze op steeds meer plaatsen in het milieu terug. Ecotoxicologen wijzen erop dat sommige benzotriazolverbindingen in embryo's aan hormoonreceptoren binden.

Plasticafval is hydrofoob en heeft daardoor de neiging om hydrofobe stoffen uit zeewater te absorberen. Daaronder zijn persistente verbindingen als PCB's, dioxines en gebromeerde vlamvertragers; stoffen die in alle wereldzeeën in nanogramhoeveelheden voorkomen. Vlamvertragers zijn overigens weer afkomstig van kunststofbehuizing van consumentenelektronica, auto-interieurs en meubelkunststof.

Sommige gebromeerde vlamvertragers zijn al jaren verboden, maar omdat ze zeer persistent zijn, blijven ze in het milieu circuleren. Plasticafval dient zo als absorptiemedium en transportmiddel. Het illustreert dat plasticafval een divers, veranderlijk en complex chemisch mengsel is. Dat maakt het onderzoek naar risico's voor mens en milieu extra ingewikkeld.



Geen enkele kunststof is bestand tegen langdurige inwerking van zon, water en zuurstof.

in het najaar verkleuringen kunt zien, wat aangeeft dat er moleculaire veranderingen optreden. Polymeerchemici en plasticfabrikanten hebben decennia onderzoek gedaan naar hoe plastics verwerken en hoe je dat proces kunt remmen. Daarom zitten door vrijwel alle plastics stabilisatoren, uv-filters en antioxidanten gemengd, die de schadelijke invloed van licht en lucht vertragen.

Vooral de combinatie van ultraviolet licht met zuurstof is een aanslag op de polymeerketens. Het leidt tot een chemische kettingreactie: licht-geïnduceerde afbraak. Ultraviolette straling zorgt in eerste instantie voor enkele breuken in de polymeerketens, waarbij radicalen vrijkomen. In combinatie met zuurstof en water ontstaan vervolgens peroxyradicalen en waterstofperoxide, die op hun beurt reageren met het polymeer en nieuwe radicalen vrijmaken. Het leidt tot een complex proces

van auto-oxidatieve afbraak. Het resultaat is chaos: breuken in de polymeerketens, crosslinks, vorming van polymeerfragmenten met nieuwe zijgroepen en allerhande kleinere stoffen: ketonen, alkanen en aldehydes.

Dubbele bindingen

De aanwezigheid van dubbele bindingen in het polymeer bepaalt voor een flink deel de gevoeligheid voor licht. Zulke dubbele bindingen zijn in zuiver polyetheen (PE) en polypropoeen (PP) niet aanwezig. Toch zijn sporen van verontreinigingen of enkele structurele afwijkingen genoeg om het door zonlicht aangejaagde afbraakproces op gang te brengen. De moleculaire schade die zo ontstaat bevat nog meer dubbele bindingen, waardoor lichtschade verder kan toenemen.

Plastics verschillen sterk in hun gevoeligheid voor die fotochemische verwerking,

door verschillen in chemische basisstructuur. Polystyreen (PS) is bijvoorbeeld veel gevoeliger dan polyetheen. Polystyreen bevat fenylingen die prima uv absorberen, en zo radicaalvorming op gang brengen. Bij die afbraak van PS vormen zich vooral styreen-monomeren, maar tevens dimeren en stoffen als benzeen en fenol. Ook polyetheentereftalaat (PET) ondergaat in zonlicht auto-oxidatie en radicaalvorming. Daarbij breken de ketens op in kleinere fragmenten. Verder is PET in water gevoelig voor afbraak door hydrolyse, wat een gedeeltelijke omkering vormt van de PET-fabricage. Hydrolyse verloopt bij kamertemperatuur heel langzaam. Toch is het een belangrijk proces in de verwerking van PET, omdat de vorming van zure afbraakproducten het afbraakproces bevordert. Bovendien gaat het door als er geen licht of zuurstof aanwezig zijn. Veruit het gevoeligt voor chemisch verval

is polyvinylchloride (pvc). Daarom gebruik je pvc nooit puur en voeg je er hoge percentages stabilisatoren aan toe. Blootstelling aan zonlicht leidt er bij pvc toe dat chloor uit het polymeer verdwijnt in de vorm van zoutzuur. Dat is een auto-katalytisch proces, waarbij de vorming van zoutzuur weer de verwijdering van chloor bevordert. Zodra chloor verdwijnt, ontstaan dubbele bindingen in de polymeerketen, die het materiaal gevoeliger maken voor verdere lichtgeïnduceerde afbraak.

Dof, krokant en breekbaar

Plastic is kortom veel minder stabiel en inert dan op het eerste gezicht lijkt. Ook als je aan de buitenkant nog niets kunt zien, zijn de processen van verval al aan de gang. Na verloop van tijd kun je dat onder een microscoop bekijken. De kunststof wordt door alle moleculaire veranderingen geleidelijk broser en het oppervlak gaat barsten vertonen, wat dieper gelegen polymeren blootstelt aan de elementen.

Bovendien lekken onder vochtige omstandigheden allerlei additieven – uv-filters, antioxidanten, vlamvertragers en weekmakers – geleidelijk uit de kunststof. Ooit glanzend, stevig plastic wordt zo dof, krokant en breekbaar. Een plastic flesje, tas of folie kan daardoor opbreken in kleinere stukken, vooral in de schurende werking van golfslag en branding. Die verwerking en fragmentatie spelen een belangrijke rol in het ontstaan en de verspreiding van zogenoemde microplastics in zee: stukjes polymeer kleiner dan een halve centimeter, die overal te vinden zijn.

Chemische of abiotische verwerking van plastics heeft nog een ander gevolg: de koolwaterstoffen uit de kunststof komen binnen bereik van micro-organismen, die het kunnen gebruiken als energiebron of bouwstof. Aan maagdelijke kunststof die net uit de fabriek komt is voor bacteriën of schimmels weinig te beleven. De polymeerketens zijn dan veel te groot om de cel in te transporteren. Maar zodra de chemische verwerking de kunststof in kleinere stukjes en vluchtige afbraakstoffen heeft opgebroken, gaat dat makkelijker. Bovendien hebben veel afbraakproducten andere chemische eigenschappen, waardoor ze beter in water oplossen, wat het transport en de verdere afbraak door enzymen in de cel bevordert.

► Stormvogel als milieumeter

Plastic soep trekt nu een paar jaar de aandacht van media en beleidsmakers. De wetenschap volgt plastic in zee echter al langer. Sinds 1979 bekijken Nederlandse onderzoekers de maaginhoud van stormvogels die door allerhande oorzaken dood aanspoelen. Stormvogels pakken soms plastic van het wateroppervlak, omdat ze denken dat het voedsel is. De onderzoekers spoelen de maaginhoud met een zeef met 1 mm maaswijdte schoon, drogen die en kijken ernaar onder de microscoop. Zo kunnen ze gewicht en soort plastic nauwkeurig bepalen. Op de Noordzee heeft 93 % van de stormvogels plastic in de maag, 53 % meer dan 0,1 g. Gemiddelde hoeveelheden liggen de laatste jaren rond 0,3 g, verdeeld over circa dertig individuele deeltjes. Ter vergelijking: een polystyreen koffieroerstaafje van 11 cm weegt tussen de 0,9 en 1,3 g.

De stormvogel is een van de officiële Europese bioindicatoren: hun maaginhoud vertelt beleidsmakers iets over het effect van milieubeleid. Het jarenlange onderzoek laat een aantal interessante trends zien. Stormvogels hadden in de jaren tachtig vaak kunststofpellets in hun maag, een industriële grondstof om plastic voorwerpen te maken. Die vervuiling is inmiddels sterk teruggedrongen.

Onderzoekers treffen pellets veel minder vaak aan bij stormvogels, hun plaats is ingenomen door snippers en fragmenten afgedankt consumentenplastic. De massa plastic per vogel is gedaald van 0,6 g in de jaren tachtig naar gemiddeld 0,3 g de laatste tien jaar. Maar het aantal deeltjes is wel toegenomen, van gemiddeld vijftien naar dertig. Die getallen veranderen de laatste tien jaar nauwelijks. De verschuiving in plasticsamenstelling toont dat verandering in plasticgebruik of terugdringen van vervuiling merkbaar is op zee. Het leert wederom dat drijvend plastic afval continu 'ververst': oud afval verdwijnt tamelijk snel uit zicht. De vraag is wat verdwijnen betekent: afzinken, verwerken tot microscopisch gruis of complete afbraak?



De maaginhoud van een stormvogel.

Microbiële afbreekbaarheid

Onderzoek aan polyethen leert dat chemische verwerking echt een voorwaarde is voor verdere microbiële afbraak. De afbraak van kleine PE-fragmenten via esters en zuren tot water en koolstofdioxide verloopt wel traag. Na proeven onder laboratoriumomstandigheden komen sommige onderzoekers tot een schatting: 0,1 % van nieuw polyethen zou in het eerste jaar 0,1 % worden omgezet in koolstofdioxide.

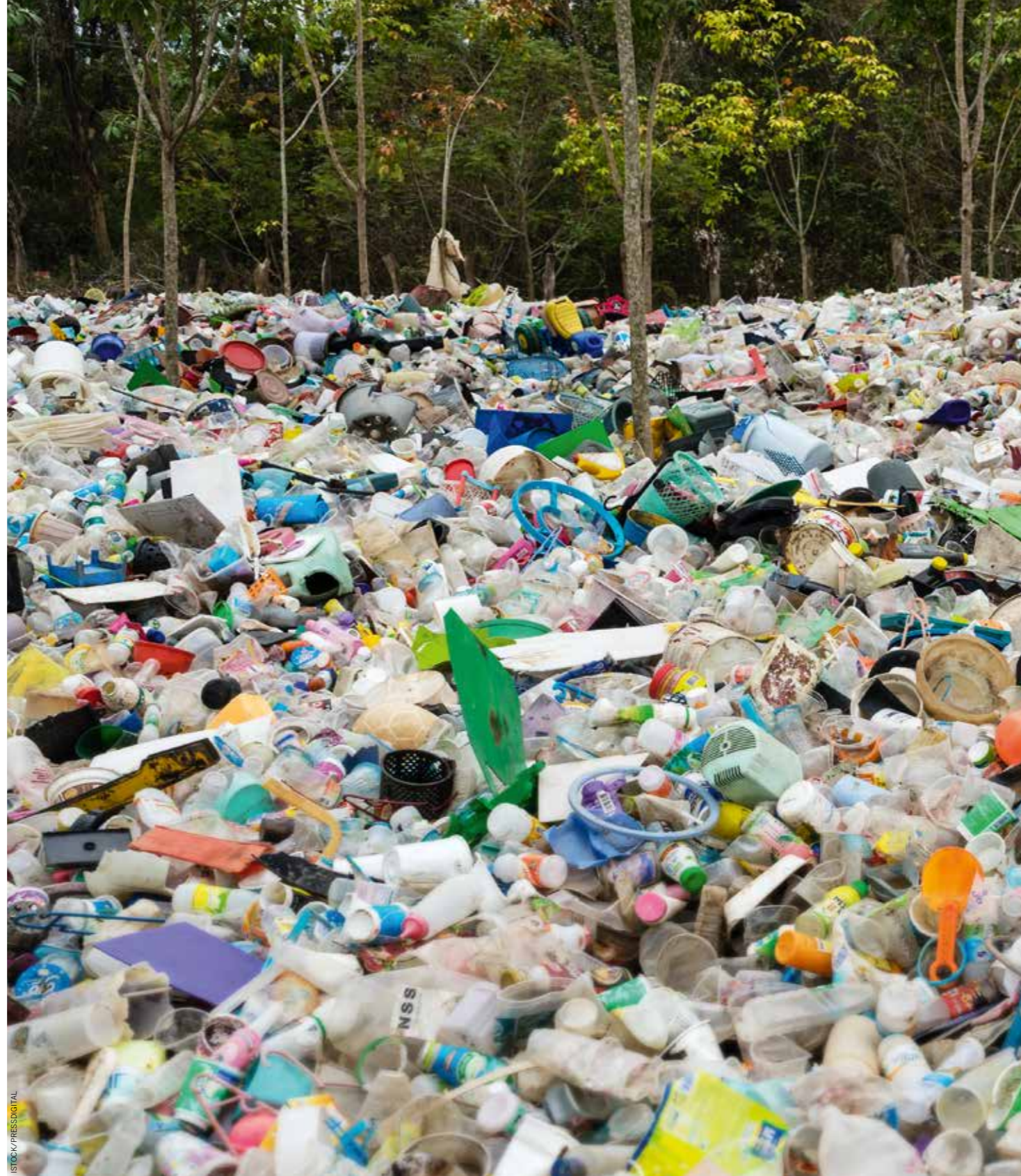
Complete abiotische en biotische afbraak van PE is dus mogelijk, maar zou bij die afbraaksnelheid honderden tot duizenden jaren duren. Ander onderzoek laat echter zien dat polyethen touw op 10 m diepte in zee in een jaar tijd ruim 5 % van het gewicht verliest. Dat kun je niet vertalen naar volledige afbraak, maar wijst op relatief snelle verwerking die echte afbraak bevordert.

Ook hier geldt dat de chemische basisstructuur van het polymeer van invloed is op de biologische afbreekbaarheid. Zo is polystyreen (PS) weliswaar zeer gevoelig voor zonlicht, maar die zwakte maakt het niet beter bruikbaar voor micro-organismen. Sterker nog, PS geldt als de meest weerbarstige kunststof als het gaat om microbiële afbreekbaarheid. Iets soortgelijks werd ook beweerd over PET, maar recentelijk is een micro-organisme ontdekt dat die kunststof tamelijk efficiënt te lijf gaat. Japanse onderzoekers screenen milieus waar PET-afval voorkomt en vonden zo de bacterie *Ideonella sakaiensis*, die PET kan gebruiken als belangrijkste energie- en koolstofbron. De microbe scheidt twee enzymen uit die het PET-polymeer kapot knippen.

Van lab naar wereldzee

Als wetenschappers goed gaan zoeken, zijn er waarschijnlijk meer bacteriën en schimmels te vinden die uiteenlopende kunststoffen kunnen afbreken. De grootste vraag daarbij is altijd in hoeverre die afbraak in uiteenlopende milieus plaatsvindt. Omstandigheden bepalen namelijk chemische processen en microbiologie. Op een vochtige, microbenrijke composthoop waar de temperatuur kan oplopen tot 40 °C breekt de kunststof veel efficiënter af dan in een voedselarme poolzee.

Het is dus nog onduidelijk hoe de verspreiding en afbraak van kunststofafval in zee precies verloopt. We weten zelfs niet bij benadering of en hoe snel de combinatie van



chemische en microbiële afbraak bepaalde kunststoffen geleidelijk laat verdwijnen. Ook is het heel lastig om de schaarse observaties in het laboratorium te vertalen naar de wereldzeeën. Er zijn immers tientallen kunststoffen met honderden toevoegingen die de chemische verwerking afremmen. Kunststof op zee krijgt verder vaak begroeiing van algen, die uv-licht afschermen, of juist microben, die het oppervlak aantasten. Tot slot verschillen omstandig-

heden sterk. In een tropische branding zijn warmte, licht en zuurstof volop aanwezig, wat de verwerking stimuleert. In de donkere diepzee is dat tegenovergesteld en verlopen processen veel trager. Het is dus heel moeilijk om een algemene wetmatigheid voor plasticafbraak op te stellen.

Sterk verdunde soep

Zwerfafval verzamelen in de natuur geeft vaak geen goed beeld. Op het strand vind

is om een compleet beeld te krijgen van het 'lot' van uiteenlopende plastics in het milieu door bijvoorbeeld strandafval te verzamelen. Het zou enorm helpen als wetenschappers de herkomst en de leeftijd van plastic fragmenten nauwkeurig konden bepalen, maar dat is niet mogelijk.

De grootste wetenschappelijke uitdaging vormt het onderzoek aan microplastics die ontstaan als grotere stukken kunststof opbreken in alsmat kleinere stukjes. De media spreken soms over drijvende 'plastic eilanden' midden op de oceaan, maar het gaat op veel plekken vooral om klein spul, om sterk verdunde soep met hier en daar plastic vermicelli. Staand op het dek van een schip midden in de oceaan zie je meestal weinig drijven. Je moet een zeer fijnmazig planktonnet voortslepen om een beeld te krijgen van de hoeveelheid plastic flinters, brokjes en vezels die er zweven. De concentraties variëren in sterkst vervuilde gebieden van 150.000 tot 900.000 plastic deeltjes per m² zeeoppervlak. Uitgedrukt in gewicht varieert het van 3 tot 30 kg plastic per m².

Uit het zicht

Onderzoekers hebben in 2014 een optelsom gemaakt van waarnemingen op zee. Ze berekenden dat er in de wereldzeeën 269 miljoen kg plastic rondrijft. Dat lijkt veel, maar is slechts een fractie van de 4 à 12 miljard kg plastic die volgens schattingen jaarlijks in zee belandt. De wetenschap 'ziet' op open zee maar een paar procent terug van de enorme plasticmassa die in dichtbevolkte metropolen jaarlijks aan het zwerven slaat.

Een belangrijk probleem is dat onderzoekers vooral de bovenste waterlagen kunnen bemonsteren, terwijl veel plastics begroeid raken en afzinken naar de diepzee. Het is dus moeilijk om een goed totaalbeeld te krijgen. Bovendien is onderzoek aan zeer kleine plasticfragmentjes – nanoplastics – een analytische uitdaging, omdat het zee-water vol zit met biologische nanodeeltjes. Plasticverwerking en -afbraak laten dus plastic uit het zicht van de wetenschap verdwijnen, zonder dat we de eindbestemming precies kennen. Plasticafbraak helpt waarschijnlijk een deel van onze rotzooi op te ruimen, maar gezien alle risico's voor mens en milieu die plasticafval met zich meebrengt, is voorkomen toch beter dan verteren. ●

► Biologisch afbreekbaar?

De term 'biologisch afbreekbaar' zorgt bij kunststof voor veel verwarring. Er zijn inderdaad tassen en tijdschriftfolies met een logo of aanduiding bioplastic, biologisch afbreekbaar of composteerbaar. Dit materiaal is zeer divers. Het varieert van klassiek aardolie-plastic dat door toevoegingen sneller verweert tot biopolymeren als polylactide. Die nieuwe stroom 'groen' plastic krijgt de laatste jaren steeds meer kritiek te verduren, omdat het consumenten op het verkeerde been kan zetten. Zo klagen plasticrecyclers dat de stroom polyethen- en polypropenaafval steeds meer wordt vervuild met verkeerd weggegooid 'bioplastic'. Aan de andere kant zien composteerdere alsmat meer niet-afbreekbaar plastic afval bij het GFT belanden, omdat de consument het een en ander niet kan onderscheiden. Tot slot wijzen ecologen en milieuo-organisaties erop dat biologische afbreekbaarheid sterk afhangt van de omstandigheden.

De Europese norm die afbreekbaarheid beoordeelt, kijkt naar afbraak bij industriële compostering, waarbij de temperatuur oploopt tot 70 °C. Onder die omstandigheden moet binnen twaalf weken minimaal 90 % van het plastic zijn verbrokken tot deeltjes kleiner dan 2 mm; na 6 maanden moet minstens 90 % zijn omgezet in koolstofdioxide en water. In de praktijk is de verwerking bij industriële composteerdere echter beduidend korter dan die twaalf weken. Omdat de omstandigheden in zee niet te vergelijken zijn met een composthoop, zwerft biologisch afbreekbaar plastic langdurig in het milieu en draagt het ook bij aan de vorming van microplastics. Biologisch afbreekbaar plastic is dus geen oplossing voor de zwerfafvalproblematiek.



Wat hoort nou waar?



Indonesië is een van de grootste veroorzakers van zwerfafval. Op de foto zwemmen kinderen tussen het zwerfafval in het water bij vissersdorp Muara Angke, vlakbij Jakarta (14 februari 2009). Het afval, dat ook het strand bezaait, bestaat grotendeels uit kleding, voedsel- en drankverpakkingen en achtergelaten visgerei. Anno 2017 is dit probleem nog even actueel.

ISTOCK/HERIANUS

Voor op school

1. Noem een aantal factoren die de afbraak en vertering van plastics stimuleren.
2. Leg uit op welk soort reactiemechanisme de auto-oxidatieve afbraak van plastics berust.
3. Wat bepaalt de lichtgevoeligheid van polymeren?
4. Waarom is polystyreen veel lichtgevoeliger dan polyetheen?
5. Bij de afbraak ontstaan onder meer ketonen en aldehydes. Wat is het verschil tussen een keton en aldehyde? Beschrijf dit verschil aan de hand van de karakteristieke groep.
6. Teken de structuurformules van de drie isomeren van xyleen en zet de systematische namen erbij.
7. Wat zijn de systematische namen van etheen, propeen, vinylchloride en styreen?
8. Zoek uit welke monomeren je nodig hebt om ABS te maken en teken de structuurformules van die monomeren. Polyetheentereftalaat (PET) is een thermoplastische polyester en wordt bereid door copolymerisatie van benzeen-1,4-dicarbonzuur en ethaan-1,2-diol.
9. Wat is copolymerisatie?
10. Leg uit of PET recyclebaar is.

Meer weten?

- Andrady, A. L. (2015). Persistence of Plastic Litter in the Oceans. In M. Bergmann et al., *Marine Anthropogenic Litter* (57–72).
- Kershaw, P.J. & Rochman, C.M. (2016). *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment*.
- Gewert, B. et al (2015) Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environ Sci Process Impacts*. 17(9): 1513-21.

Editie

Plasticafbraak

editie 83 | nummer 337 | juli 2017
www.chemischefeitelijkheden.nl

coverbeeld: zwerfplastic in de oceanen vormt een groeiend probleem. Een sixpack-verpakking wordt op den duur afgebroken tot microplastics (iStock/Fergregory)

Colofon

Over Chemische Feitelijkheden

Chemische Feitelijkheden is een actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Het is een losbladige uitgave van de KNCV en verschijnt driemaal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

KNCV BETA PUBLISHERS

Redactie

dr. Erwin Boutsma (hoofdredacteur), drs. Franny Scholte (eindredacteur),
Arno van 't Hoog (tekst), Henk Ubbels (vragen en correctie)

Vormgeving & Opmaak

Marjé van de Linde/Twin Media BV

Uitgever

Roeland Dobbelaer, Beta Publishers BV
Postbus 19949, 2500 CX Den Haag
070-2629100, info@betapublishers.nl

Abonnementen

MijnTijdschrift.com

088-2266626

chemischefeitelijkheden@mijntijdschrift.com

Wij hanteren de opzegregels uit het verbintenisrecht. Wij gaan ervan uit dat Chemische Feitelijkheden altijd wordt ontvangen uit hoofde van het beroep. Hierdoor wordt het abonnement automatisch met een jaar verlengd tenzij twee maanden vóór de einddatum een opzegging is ontvangen. Een abonnement op Chemische Feitelijkheden geeft via de website toegang tot tien nieuwe edities per jaar en het totale online archief. Daarnaast ontvangen abonnees in drie zendingen per jaar de losbladige edities.

Tarieven (2017)

Voor particulieren: online toegang met inlogcode en papieren editie (inclusief verzamelmap) kost € 87,75*; leden van de KNCV, KVCV en NVON krijgen € 10 korting.
Voor bedrijven en (onderwijs)instellingen: onbeperkt toegang tot de digitale edities op basis van IP-adres en papieren editie in drievoud (inclusief verzamelmappen) kost € 262,50*.
Losse nummers kosten € 9,95* per stuk en zijn te bestellen bij Abonnementenland.
* Bij betaling per acceptgiro wordt € 2,95 administratiekosten in rekening gebracht.