

## **Bisfenol A verlies uit windturbine bladen**

### **Inleiding**

Windturbines worden gemaakt van een veelheid aan materialen: staal, beton, koper, aluminium, zeldzame aardalkalimetalen voor de magneten. Speciale constructies zijn vereist voor de wieken, die blootgesteld worden aan een aantal invloeden van buitenaf, naast de puur mechanische belastingen door hun manier van functioneren<sup>1</sup>. Tot deze belastingen behoren slijtage door regen, hagel, temperatuurverschillen, hoge torsiekrachten en blikseminslagen. Deze slijtage, bekend onder de naam “leading edge erosion” (LEE) kan leiden tot aanzienlijke beschadigingen die de opbrengst aan elektriciteit tot wel 20% kunnen verminderen. Het afgesleten materiaal komt in de vorm van microplastics in de omgeving van de windturbine terecht. Afgezien van het mogelijk risico van microplastics op zich, waarvoor nog veel onderzoek nodig is, stelt de aard en samenstelling van de microplastics zelf een bekend, maar qua omvang nog geheel onbekend risico. In dit stuk wordt een inventarisatie gemaakt van wat bekend is over de risico's van deze slijtage gerelateerde depositie van materiaal in de omgeving en de betekenis voor de gezondheid van mens en dier.

### **Samenstelling van de wieken**

De wieken worden vaak gemaakt van met glasvezel versterkte epoxyharsen vanwege het duurzame karakter van deze polymeren, hun hanteerbaarheid tijdens het gieten van de wieken en de thermo hardende eigenschappen van deze mechanisch zeer sterke kunststoffen<sup>2</sup>. Epoxyharsen bestaan doorgaans uit twee verschillende monomeren (de simpele bouwstenen) die met elkaar reageren en een sterke, covalente chemische binding aangaan in lange en grote vertakte molecuulcomplexen, de polymeren. De verbinding tussen de monomeren wordt gemaakt door 2-(chloormethyl)oxiraan (andere naam voor epichloorhydrin)<sup>3</sup>. Als monomeren worden meestal bisfenolen gebruikt, met bisfenol A (BPA, naar bisphenol A) als meest voorkomende vorm<sup>4</sup>.

### **De eigenschappen van bisfenol A(BPA)**

Dit BPA is de bron van zorgen vanwege zijn effecten op leven in vrijwel al zijn vormen. BPA kan aan de oestrogeen receptoren binden, waardoor het interfereert met de regulatie van mannelijke en vrouwelijke vruchtbaarheid (zie dit review<sup>5</sup>). Ook verstoort het via dit mechanisme de ontwikkeling van embryo's, zowel van mensen als van vrijwel alle andere organismen met een geslachtelijke voortplanting<sup>6</sup>. Recent heeft de EFSA (European Food Safety Agency) een advies gepubliceerd om het gebruik van BPA in voeding gerelateerde toepassingen, zoals BPA gebaseerde epoxy coatings voor de binnenkant van blikjes te verbieden<sup>7</sup>. Een concreet voorstel van deze strekking ligt nu voor aan het Europees Parlement<sup>8</sup>. Dit is gemotiveerd met resultaten van onderzoek, die, omgerekend, minder dan 0.2 ng\* BPA per kg lichaamsgewicht per dag aan blootstelling getest hebben. Deze resultaten en de interpretatie daarvan worden bestreden door de EMU<sup>9</sup> en BfR<sup>10</sup>, die uitkomen op een maximale belasting van 200ng BPA per kg lichaamsgewicht per dag, 1000X meer dus, maar nog steeds 20 maal minder dan de huidige geldige norm (4 µg/kg lichaamsgewicht/dag).

\* Ng = 1 nanogram is 0,000.000.000.001 gram

### **Windturbines en “Leading Edge Erosion” (LEE)**

Windturbines maken gebruik van wieken die zo licht en sterk als mogelijk moeten zijn om gedurende de verwachte levensduur van de turbine te kunnen functioneren en wel zo optimaal als mogelijk elektriciteit

opwekken<sup>11</sup>. Dat betekent dat de wieken, die het merendeel van het werk verrichten om wind op te vangen en de energie in de wind om te zetten in mechanische en uiteindelijk via de tandwielkasten en de generator in elektrische energie. Een van de manieren om die wieken zo licht en zo sterk als mogelijk te maken, is het gebruik van glas- of carbonvezel versterkte epoxyhars composieten. De glasvezel verschaft de treksterkte die nodig is, en de epoxy harsen geven de structurele stevigheid. Epoxyharsen worden gekenmerkt door een lage viscositeit/ hoge vloeibaarheid (afhankelijk van de formulering en temperatuur) zodat ze heel erg goed het glasvezelweefsel binnendringen en luchtbel vrij kunnen impregneren. Door een warmtebehandeling neemt de vloeibaarheid nog verder toe en dit bevordert de uitharding zodanig, dat trek- en druksterktes tot ver boven die van die van beton mogelijk worden (factor 3 is haalbaar). Hier wordt het proces gedetailleerd beschreven<sup>12</sup>. Kortom, ideale eigenschappen om wieken mee te maken dus. Bij grotere vermogens is de tipsnelheid al snel boven de 300 km/h (83 m/s), zodat regen, hagel, zand, stofdeeltjes met grote snelheid op het wiekoppervlak inslaan. Dit kan tot scheurtjes en materiaalverlies leiden, hetgeen vaak ook nog verergerd wordt door blikseminslagen en de blootstelling aan UV licht<sup>13</sup>. Dit materiaalverlies leidt tot oppervlakte ruwheid die de aerodynamische eigenschappen verstoort en tot aanzienlijk opbrengst verliezen kan leiden. Het afgesleten materiaal komt in de omgeving van de windturbine in het milieu in de vorm van microplastics. Materiaalverlies is geschat aan de hand van de schaarse gegevens die hier over te vinden zijn in de (wetenschappelijke) literatuur. De windindustrie zelf publiceert zo goed als nooit gegevens over de ernst en omvang van dit fenomeen, uitgezonderd de bedrijven die zich gespecialiseerd hebben in het repareren van schade of systemen ontwikkeld hebben om de schade zoveel mogelijk te voorkomen<sup>14</sup>. Onderzoek aan de TU Delft leverde de data op<sup>15</sup>, waarmee een berekening/schatting gemaakt kon worden aan de hand van de resultaten van de Universiteit van Strathclyde<sup>16 17</sup>. Deze schattingen leiden tot een massaverlies van ongeveer 146 kg polymeer per windturbine per jaar in de vorm van microplastic. Berekening hier<sup>18</sup>.



### **Samenstelling microplastics van windturbines.**

De bulk van de wieken bestaat uit glasvezelversterkt epoxy, met balsa hout vullingen, staal en polyurethaan coatings voor het verminderen van LEE. Het epoxy materiaal is een polymeer, gemaakt van Bisfenol-A of een ander bisfenol, met epichloorhydrine als crosslinker. In het ideale geval is de mengverhouding correct, wordt er gemixt tot een homogeen reactiemengsel verkregen is en wordt er dan pas uitgegoten in de mal met glasvezel en andere versterkingen. De temperatuur van de mal wordt verhoogd zodat het polymereemengsel een lagere viscositeit krijgt en nog beter tussen de glasvezel fibers impregneert en luchtballen gemakkelijker kunnen ontsnappen. Dit alles om een maximale sterkte te verkrijgen van het structurele element in de wiek. In

het ideale geval reageert alle BPA met het epichloorhydrin en resteert er geen vrij, ongereageerd BPA. In de praktijk blijkt dit niet realiseerbaar, hoe goed de kwaliteitscontrole ook nageleefd wordt. Naar schatting vanuit de epoxyindustrie blijft er per kg uitgehard materiaal 10 a 60 mg niet gereageerd, dus vrij BPA over. Dit zit gelijkmatig verdeeld over het volume van de uitgeharde epoxy. Onder normale omstandigheden is het vrijkomen van BPA uit dergelijke grote structuren te verwaarlozen. Dit is omdat de diffusie van een BPA molecuul vanuit de harde epoxy heel erg langzaam gaat. En dit is ook de reden dat uitgehard epoxy niet te recyclen is: het weerstaat hoge temperaturen (200C), is bestand tegen zuren, logen en oplosmiddelen. En alles wat het aan kan tasten, komt niet naar binnen, maar werkt via het oppervlak. En dat oppervlak is relatief klein ten opzichte van de hele inhoud van de wiek. De afgifte van stoffen in een blok wordt voornamelijk bepaald door het oppervlak van dat blok. Zie kader 1.<sup>19</sup>

#### Kader 1

Het oppervlak vergroot met het kwadraat van de afmeting, de inhoud met de derde macht. Dus als de diameter verdubbelt, wordt het oppervlak 4 maal zo groot, en de inhoud 8 maal. Maar..... Als de diameter halveert, wordt het oppervlak een kwart en de inhoud een achtste. Met andere woorden, de verhouding oppervlak/inhoud wordt 2 maal zo groot bij elke halvering van de diameter. Als een stuk plastic van 8 meter opgedeeld wordt in 8 stukken (3 halvingen, 8-4; 4-2; 2-1), wordt het oppervlak dus 8 maal zo groot. En dus wordt de afgifte van stofjes in die stukken in totaal 8 maal groter. En dat betekent dat er dus per tijdseenheid, 8 maal zoveel BPA vrijkomt uit dezelfde wiek. Nu zijn microplastics heel erg veel kleiner dan stukken wiek van 1 m. Te denken valt aan brokjes van 1 mm of kleiner. Stel het volgende geval. Een wiek van 80m lengte valt uit elkaar in brokjes van 1 mm. Een dergelijke wiek weegt ergens rond de 30 ton, 30.000kg, voor het gemak 30 m<sup>3</sup>, blok van 3 bij 3 bij 3 meter. Dan zijn er ongeveer 12 halvingen nodig voor de opdeling in de blokjes van 1mm. De massa blijft gelijk, we hebben het blok alleen in kleinere stukjes gehakt. Het oppervlak van het materiaal is nu 4096 (2<sup>12</sup>) maal zo groot geworden, met andere woorden, uit hetzelfde blok komt nu per tijdseenheid 4096 maal zoveel BPA. Microplastics zijn nog veel kleiner, zodat een realistische schatting is dat er tot een miljoen maal meer BPA uit dezelfde hoeveelheid materiaal lekt als dat materiaal tot microplastics verveert.<sup>19</sup>

#### **Effect van het vergruizen van epoxy houdend materiaal**

Als vervolg kunnen we ook de omgekeerde relatie op stellen. Deze maat wordt ondersteund door recent gepubliceerd wetenschappelijk onderzoek van Duke University, USA <sup>20</sup>. En dit gaat alleen over het restantje niet gepolymeriseerd BPA. Wat nou als de rest van het covalent gebonden BPA vrij zou kunnen komen? Dat kan niet, wordt er gezegd, want het zit covalent gebonden aan andere moleculen en die bindingen zijn heel erg sterk. Dat klopt, dat is correct. Maar wat nu als die factor diameter hier ook een rol zou kunnen spelen? Wat krijgen we dan? We gaan het zien....

#### **Afbraak van epoxyharsen**

Epoxyharsen gelden als vrijwel inert na zorgvuldige uitharding. Ze behoren tot de meest thermostabiele materialen, reden waarom ze in de hitteschilden van diverse ruimtevaartuigen gebruikt zijn en nog steeds onmisbaar zijn. Het is ook waarom wieken niet of nauwelijks te recyclen zijn, en ze dus maar als afval in de grond gestopt worden. Recycling experimenten met epoxyhars gebruiken hoge temperatuur incubatie (80C)

van platen of grof gemalen stukken wiek in salpeterzuur<sup>21</sup>. In 1 N (1 mol per liter) salpeterzuur is na 24h behandeling al 25% opgelost, wat oploopt tot 100% bij 3N salpeterzuur na 14h. In de vloeistof werd een niet nader benoemde geoxideerde vorm van BPA gevonden. Dit experiment is herhaald om te onderzoeken welk type epoxy het best tot de oorspronkelijke bisfenolen te recyclen zou zijn. Hierbij werden BPF (een aan BPA verwant bisfenol) gepolymeriseerd met diverse amine harders. Eén combinatie bleek na 33 h volledig opgelost te zijn en tot bisfenol-mono en -oligomeren afgebroken te zijn in salpeterzuur. Dit geeft aan dat onder deze omstandigheden de polymerisatie van BPF omkeerbaar is. Een test met steriel zeewater en zeewater met bacteriën<sup>22</sup> gaf aan dat bacteriën de coating sneller afbreken en dat er oxidatie van het materiaal optreedt die in steriel zeewater niet gevonden wordt. Een ander experiment met zeewater en bacteriën resulteerde in gaten in de epoxycoating, vermoedelijk door organische zuren die door de bacteriën uitgescheiden worden<sup>23</sup>. Er is in beide gevallen geen analyse van mogelijke afbraakproducten van de epoxy uitgevoerd. Deze experimenten suggereren echter dat er een aanzienlijk potentieel is voor afbraak van epoxiden door micro-organismen. Wat daar bij vrijkomt moet beter onderzocht worden. Maar daar eindigt het verhaal niet. Microplastic deeltjes kleiner dan 1 micron kunnen direct door cellen opgenomen worden, zowel door plantaardige cellen, micro-organismen als dierlijke cellen<sup>24</sup>. De risico's van deze opname zijn nog onvoldoende bekend maar zijn een bron van toenemende zorg over de milieueffecten van deze deeltjes<sup>25</sup>. Los van het deeltje zelf, dat een cel vreemde structuur is en dus een reactie van de cel kan veroorzaken, komen alle chemische stoffen uit het deeltje microplastic terecht in die ene cel. Ten opzichte van het lekken van de inhoud van een zo'n deeltje naar de omgeving, zeg grondwater, en vervolgens opname van dat chemische stofje door de planten en dieren die van dat water gebruik maken, spreken we hier over een ongelooflijk veel hogere concentratie van dat chemische stofje in die ene cel. Zie kader 2

#### Kader 2

##### Overschrijding van de norm voor BPA binnen de cel

Een rekenvoorbeeld. Een deeltje van 1 bij 1 bij 1 micrometer epoxy wordt door een cel, met afmetingen 10 bij 10 bij 10 micrometer opgenomen. Het epoxy deeltje bevat 60 mg/kg vrij BPA. Wat is de concentratie vrij BPA in de cel bij evenwicht? Het volume van de cel is 1000X zo groot als dat van het deeltje. Er zat 60 mg/kg in dat deeltje. Er komt dus 60 mg/kg X 10<sup>-18</sup> in de cel terecht. Een cel van 10 bij 10 bij 10 nm is 1000 ng. Resultaat is een eindconcentratie van 60 µg/kg. We nemen aan dat 1 kg een liter is (geldt voor water), dus praten we over een concentratie in de cel van 60 µg per liter. De huidige norm voor opname voor BPA is 4 µg/kg/dag.<sup>26</sup> Dat is dus 15 maal overschrijding van de norm, op cel basis. Effecten beginnen altijd op cel basis. Elke tumor, kanker, is het gevolg van het ontsporen van een enkele cel. En dit is slechts het effect van de opname van een enkel partikeltje door 1 cel. Ten opzichte van de door EFSA voorgestelde norm van 0.2 ng/kg/dag, is dit een overschrijding van 300000 maal op cel basis. Zelfs met de voorgestelde normen van EMU<sup>27</sup> en BfR<sup>28</sup> van 200 ng/kg/dag is dit een overschrijding van 300 maal. De norm is opname per dag, dit betreft de eenmalige opname van een enkel partikel en kan dus niet 1 op 1 vergeleken worden. Maar het illustreert het verschil tussen de macroscopische benadering (heel lichaam met gemiddelde opname per kg per dag) versus de cel niveau benadering (microplastic partikel opgenomen door één cel) van hetzelfde bron materiaal, zijnde epoxyhars met een vrij BPA gehalte van 10 tot 60 mg per kg. En dit is geen hypothetisch verhaal zoals uit het volgende relaas zal blijken. Het kan nog veel erger....

#### Effecten van mengsels van microplastics op BPA gehalte

In het vorige gedeelte is er van uitgegaan dat het BPA in een microplastic epoxy-deeltje zit en daar uit lekt. Dat gebeurt relatief langzaam. Een in de cel opgenomen deeltje zal dan ál zijn BPA in die cel afgeven. Maar nu de

volgende situatie. Naast epoxy microplastics, zitten er ook polyurethaan (PU) en polyamine (PA – zoals nylon, kevlar) deeltjes in het water. Dit zijn plastics die gebruikt worden om de slijtage van wieken te verminderen. Het epoxy laat de BPA vrij in het water, de PU en PA deeltjes nemen die weer op, maar nu wordt het BPA opgeslagen. PU en PA concentreren als het ware het BPA uit het water, respectievelijk 916 maal en 76.287 maal zo hoog, zoals gebleken is uit experimenten waarin schone microplastic deeltjes blootgesteld worden aan water met BPA<sup>29</sup>. Van dit fenomeen wordt dankbaar gebruik gemaakt in de analytische chemie via een bemonsteringstechniek die SPME (Solid Phase MicroExtraction) genoemd wordt, om heel verdunde monsters te concentreren<sup>30</sup>. Het gevolg is, dat er per PA of PU deeltje nu een veel grotere hoeveelheid BPA kan optreden dan die oorspronkelijk in het epoxy deeltje zat. (afhankelijk van de aantallen van de afzonderlijke typen deeltjes). Zou een PA deeltje door de bovengenoemde cel opgenomen en verteerd worden, dan kan er dus duizenden malen meer BPA in die cel vrijkomen. Gelukkig is BPA in PA zo sterk gebonden dat het niet meer vrijkomt zolang het partikeltje intact blijft. De andere soorten plastics geven het BPA wel weer snel af, afhankelijk van hun afmetingen en samenstelling. Al met al een onvoorziene complicatie in het BPA verhaal die de onzekerheid rond het vrijkomen van BPA nog groter maakt. De onderzoekers die dit uitgezocht hebben willen dan ook dat er op dit gebied dringend verder onderzoek moet plaatsvinden.

En dit is geen hypothetisch verhaal zoals uit het volgende relaas zal blijken.

### **BPA metingen in voedingsmiddelen**

Het gehalte aan BPA wordt al jarenlang bepaald in diverse voedingsmiddelen. Voorbeelden: melk en melkproducten, overzicht hier<sup>31</sup>. In dit review werden gehalten van 0 tot 640 ng/ml voor melk, 0 tot 6.1 ng/g voor kaas en 0 tot 4.4 ng/g voor yoghurt gerapporteerd. Onder de huidige normen is dit geen probleem. En dit BPA komt waarschijnlijk uit de coatings die gebruikt worden in het verpakken van de voedingsmiddelen, reden waarom er nu een voorstel bij het Europese Parlement ligt om het gebruik in verpakkingen van voedingsmiddelen te verbieden. Dit vermoeden wordt ondersteund door een recent onderzoek in Duitsland uitgevoerd door de Öko+test<sup>32</sup>. Van alle geteste tomaten in blik of glas, hadden alle ingeblikte tomaten een te hoog BPA gehalte volgens de EFSA norm, terwijl geen van de glas verpakte tomaten detecteerbaar BPA vertoonden. Volgens de geldende norm zouden deze tomaten allemaal veilig zijn voor consumptie.

### **Conclusies**

1. BPA is een problematische chemische stof, waarvan het vrijkomen en de blootstelling daaraan geminimaliseerd dient te worden gezien de ernstige effecten op voortplanting en immuniteit;
2. De normen voor maximale blootstelling zijn op dit moment niet duidelijk gezien de mogelijke veranderingen in regelgeving;
3. BPA zit in windturbine wieken en komt vrij via slijtage in de vorm van microplastic deeltjes;
4. Voor deze deeltjes gelden andere regels dan voor grote structuren, er is een veel grotere kans op het vrijkomen van BPA en de hoeveelheden kunnen veel groter zijn dan op macroscopische schaal verwacht mag worden;
5. De risico inschatting is gebaseerd op macroscopische structuren;
6. Plastics als polyurethaan (PU) en polyamine (PA) worden gebruikt om de slijtage van wieken te verminderen. Het vrijgekomen BPA uit de epoxy blijkt door de PU en PA deeltjes opgenomen en opgeslagen te worden. PU en PA concentreren als het ware het BPA uit het water, respectievelijk 916 maal en 76.287 maal.

7. Het risico van BPA dient beter onderzocht te worden. Het zou een grote stap voorwaarts zijn indien de windindustrie wat meer openheid zou betonen in het aanpakken van het onderzoek door proactief ook met data te komen over de prevalentie van LEE, de hoeveelheden en aard van de materialen die vrijkomen. Dan kan er een betere risicoanalyse gemaakt worden en mogelijkheden tot mitigatie ontwikkeld worden om te voorkomen dat BPA PFOS achterna gaat.

Dr. Harrie Verhoeven, bioloog, PhD.

mei 2024

---

<sup>1</sup> DOI: 10.1002/we.90

<sup>2</sup> [https://epoxy-europe.eu/wp-content/uploads/2015/07/EPOXY-Leaflet\\_Safety\\_web.pdf](https://epoxy-europe.eu/wp-content/uploads/2015/07/EPOXY-Leaflet_Safety_web.pdf)

<sup>3</sup> <https://nl.wikipedia.org/wiki/Epichloorhydrine>

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/epichlorohydrin>

<sup>4</sup> [https://nl.wikipedia.org/wiki/Bisfenol\\_A](https://nl.wikipedia.org/wiki/Bisfenol_A) <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6623>

<sup>5</sup> Dose-Response: An International Journal October-December 2015:1-9 DOI: 10.1177/1559325815610582

<sup>6</sup> doi: [10.3390/cells11203233](https://doi.org/10.3390/cells11203233)

<sup>7</sup> <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.6857>

<sup>8</sup> [https://prodstoragehoeringspo.blob.core.windows.net/cfea16c9-b447-466f-b68f-92581c8afefd/Bisphenol\\_A\\_forslag.pdf](https://prodstoragehoeringspo.blob.core.windows.net/cfea16c9-b447-466f-b68f-92581c8afefd/Bisphenol_A_forslag.pdf)

<sup>9</sup> <https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/2023-04/ema-efsa-article-30.pdf>

<sup>10</sup> <https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/2023-04/bfr-efsa-art-30.pdf>

<sup>11</sup> *Wind Energy*. 2003; 6:245–259 (DOI: 10.1002/we.90)

<sup>12</sup> <https://ore.catapult.org.uk/wp-content/uploads/2023/01/CFAR-OC-020-31032022-Wind-Turbine-Blades-Design-and-Manufacturing-Literature-ReviewFinal.pdf>

<sup>13</sup> Comprehensive Analysis of Wind Turbine Blade Damage. *Energies* 2021,14, 5974.

<https://doi.org/10.3390/en14185974>

<sup>14</sup> TNO 2020 R10402

<sup>15</sup> *Energies* 2021, 14(6), 1629; <https://doi.org/10.3390/en14061629>

<sup>16</sup> *Lubricants* 2021, 9(6), 60; <https://doi.org/10.3390/lubricants9060060>

<sup>17</sup> *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion* (2021) 7:34 <https://doi.org/10.1007/s40735-021-00472-0>

<sup>18</sup> De berekening van het verlies door regen, wind, etc. is gebaseerd op de volgende literatuur gegevens. Uit 15 figuur 16b en c wordt geschat dat er een lengte van 10m gerekend vanaf de tip aan zware erosie blootstaat, wat staat voor een geschat oppervlak van 5 m<sup>2</sup> per wiek. Uit 16, plaatje van 30 bij 30 mm wordt gedurende een uur bij 60 m/s aan waterdruppels blootgesteld. SEM opnamen tonen aan dat er hele kleine deeltjes afgebroken zijn (fig. 5). Materiaalverlies na deze expositie is in de orde van grootte van 1 mg voor 9 cm<sup>2</sup>, omgerekend 1111 mg/m<sup>2</sup>. Volgens dit artikel is 60m/s de gemiddelde tipsnelheid van de toen gebruikte turbines, grotere exemplaren scoren hoger. Bij een geschat oppervlak van 5 m<sup>2</sup> dat aan LEE onderhevig is, komt er 5.5 gram per uur per wiek vrij, dat is 146 kg per jaar per turbine. Uit de opgaven van het jaarlijks verlies aan elektrische opbrengst valt op te maken dat het inderdaad een heel ernstig probleem is, met

---

opbrengstverliezen van 3% bij geringe oppervlakkige beschadiging tot 25% bij ernstige beschadigingen toe 14. Uit Epoxy Resin Committee - July 2015 [www.epoxy-europe.eu](http://www.epoxy-europe.eu) komt de 10 tot 60 ppm vrij bisfenol gehalte in epoxy. Op grond van deze gegevens is de schatting dat er 1.46 tot 8.76 gram bisfenol per wiek per jaar vrij kan komen als microplastics.

<sup>19</sup> Nano plastics are neither microplastics nor engineered nanoparticles. Julien Gigault, Hind El Hadri, Brian Nguyen, Bruno Grassl, Laura Rowenczyk, Nathalie Tufenkji, Siyuan Feng and Mark Wiesner. *Nature nanotechnology*, <https://doi.org/10.1038/s41565-021-00886-4>

<sup>20</sup> Feng, Siyuan (2020). *Modeling Releases of Polymer Additives from Microplastics into the Aqueous Environment*. Master's thesis, Duke University. Retrieved from <https://hdl.handle.net/10161/20827>.

<sup>21</sup> A Study on an Application of Corrosion Behavior to Glass Fiber Composite Disposal and Recycling. Masatoshi KUBOUCHI, Ken TSUDA, Toshiaki NISHIYAMA and Hidemitsu HOJO *Advanced Composites Letters* 13 Vol 4 No 1 1995

<sup>22</sup> Effect of *Pseudomonas putida* on the degradation of epoxy resin varnish coating in seawater Gang Wang, Ke Chai, Jinyi Wu, Fuchun Liu. *International Biodeterioration & Biodegradation* 115 (2016) 156e163 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.08.017>

<sup>23</sup> Deng, S. Effect of *Bacillus flexus* on the Degradation of Epoxy Resin Varnish Coating in Seawater. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2019, 14, 315–328. <https://doi.org/10.20964/2019.01.64>

<sup>24</sup> Yang W, Jannatun N, Zeng Y, Liu T, Zhang G, Chen C and Li Y (2022), Impacts of microplastics on immunity. *Front. Toxicol.* 4:956885. doi: 10.3389/ftox.2022.956885

<sup>25</sup> Nano plastics are neither microplastics nor engineered nanoparticles. Julien Gigault, Hind El Hadri, Brian Nguyen, Bruno Grassl, Laura Rowenczyk, Nathalie Tufenkji, Siyuan Feng and Mark Wiesner. *Nature nanotechnology*, <https://doi.org/10.1038/s41565-021-00886-4>

<sup>26</sup> <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/bisphenol>

<sup>27</sup> <https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/2023-04/ema-efsa-article-30.pdf>

<sup>28</sup> <https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/2023-04/bfr-efsa-art-30.pdf>

<sup>29</sup> DOI: 10.1021/acs.est.9b02834 *Environ. Sci. Technol.* 2019, 53, 10188-10196

<sup>30</sup> <https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.12.051>

<sup>31</sup> <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101142>

<sup>32</sup> Geschälte Tomaten im Test: Hormongift in Dosentomaten nachgewiesen  
Magazin Juli 2023: Geschälte Tomaten | Autor: Lisa-Marie Karl/Heike Baier/Hannah Pompalla | Kategorie:  
Essen und Trinken | 22.06.2023