



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Eerste inzicht in **emissies** van chemische stoffen bij windturbines op land

Resultaten quickscan

Colofon

© RIVM 2023

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van zijn producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook www.rivm.nl/toegankelijkheid.

DOI 10.21945/RIVM-2022-0235

M. Hof (auteur), RIVM
C. Bodar (auteur), RIVM
T. de Kort (auteur), RIVM

Contact:

Matthias Hof
Veilige technologische Innovaties en Circulaire economie (VIC)
matthias.hof@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat in het kader van programma 46 Expertisepunt Windenergie en gezondheid.

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Eerste inzicht in emissies van chemische stoffen bij windturbines op land

Resultaten quickscan

Windenergie is een belangrijk alternatief voor energie uit fossiele grondstoffen. In Nederland wordt deze energie opgewekt met windturbines op zee en op land. Voor de productie van windturbines worden materialen en chemische stoffen gebruikt. Zo zit er een beschermende verflaag (coating) op de mast en de bladen waar chemische stoffen in zitten. Dit kunnen stoffen zijn die schadelijk zijn voor het milieu. Deze stoffen, en de microplastics uit de verflaag op de bladen, kunnen door wind en regen ervan af slijten.

Het is aannemelijk dat deze stoffen en microplastics hierdoor in de bodem en het water terechtkomen. Er is alleen nog weinig bekend over de stoffen waarover het precies gaat en hoeveel van elke stof vrij komt. Deze kennis is nodig om te kunnen bepalen of emissies van stoffen uit windturbines schadelijk zijn voor mens en milieu. Ook is het belangrijk om de schatting van de vrijgekomen hoeveelheid microplastics te verfijnen. Meer onderzoek is daarom nodig.

Dit blijkt uit een verkenning van het RIVM, naar de uitstoot van chemische stoffen en microplastics bij windturbines op land. Deze quickscan is gedaan in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK).

In de coatings zitten chemische stoffen die volgens Europese wetgeving als gevaarlijk voor mens en milieu zijn beoordeeld. Deze stoffen kunnen met regenwater in het milieu terechtkomen. Laboratoriumonderzoek naar 'slijtagevocht' van bouwwerken voor water en wegen laat zien dat de stoffen inderdaad schadelijk kunnen zijn voor organismen. En dat dit per type coating sterk kan verschillen. Het is nog niet duidelijk of dit in de praktijk geldt voor slijtagevocht van de coatings op windturbines.

Naar schatting komen er per jaar per turbine tussen de 3,1 gram tot 14 kilogram microplastics vrij. Het hangt er onder andere van af of technieken worden gebruikt die slijtage kunnen beperken. Het is nu niet bekend in welke mate de sector deze technieken gebruikt op de bladen van windturbines in Nederland.

Ook heeft het RIVM gekeken naar het gas zwavelhexafluoride (SF₆) dat in de generator van windturbines zit. Dit isolatiegas is bedoeld om stroomvonken tegen te gaan. SF₆ is een broeikasgas waarvoor strenge wettelijke regels gelden om de uitstoot te beperken. Door lekkage kan, naar verwachting, een kleine hoeveelheid SF₆ vrijkomen uit de windturbines. De effecten op het klimaat hiervan lijken klein ten opzichte van de winst van de verminderde CO₂ uitstoot door het gebruik van windturbines.

Kernwoorden: windturbines, stoffen, emissie, microplastics, risico's, carbon footprint

Synopsis

First insight in emissions of chemical substances from onshore wind turbines.

Results quickscan

Wind energy is an important alternative to energy obtained from fossil fuels. In the Netherlands, this energy is generated with onshore and offshore wind turbines. Various materials and chemical substances are used in the production of wind turbines. For example, the protective coating used on the mast and the blades contains various chemicals. These substances, which may be harmful for the living environment, and the microplastics contained in the coating used on the blades, may be worn away by the elements.

As a result, these chemicals are likely to end up in the soil and water. However, we still know little about exactly which substances end up there and how much of each of those substances is released. We need that information in order to determine whether substances from wind turbines are harmful to human health and the environment. It is also important to refine estimates as to the quantities of microplastics being released. More research is needed, therefore.

This was shown by an exploratory study conducted by the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) into the release of chemical substances and microplastics from onshore wind turbines. This quick scan was carried out on behalf of the Ministry of Economic Affairs and Climate (EZK).

The coatings may contain chemical substances which are classified as hazardous for human health and/or the environment under European legislation. These substances can be released into the environment with rainwater. Laboratory research into this "leaching fluid" from coatings used on structures for water and road engineering has demonstrated that the substances can indeed be harmful for organisms and that the harm caused can vary greatly depending on the type of coating. It is still unclear whether this also applies to the runoff from the coatings on wind turbines.

Each wind turbine releases an estimated 3 grammes to 14 kilogrammes of microplastics per year. How much is released depends among other things on whether techniques have been used to reduce wear and tear. It is not currently known to what degree the sector uses such techniques on wind turbine blades in the Netherlands.

RIVM also looked at sulphur hexafluoride (SF₆), an insulating gas which is used in the switchgear of wind turbines to mitigate arcing. SF₆ is a greenhouse gas and is subject to strict legal regulations aimed at reducing emissions. If a leak occurs, wind turbines can be expected to release small quantities of SF₆. The effects of this on the climate appear

to be small compared to the benefits of lower CO₂ emissions due to the use of wind turbines.

Keywords: wind turbines, substances, emission, microplastics, risks, carbon footprint

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

- 1.1 Aanleiding — 11
- 1.2 Vraagstelling — 11

2 Afbakening en aanpak — 13

- 2.1 Afbakening — 13
- 2.2 Aanpak — 13

3 Wetgeving van toepassing op windturbines op land — 15

- 3.1 Inleiding — 15
- 3.2 Bodembescherming — 15
- 3.3 Stoffenbeleid — 16

4 Inventarisatie van gebruikte materialen en stoffen — 19

- 4.1 Inleiding — 19
- 4.2 Overzicht materialen en inschatting mogelijke emissies — 19
 - 4.2.1 Gebruikte materialen bij windturbines op land — 19
 - 4.2.2 Inschatting materialen met mogelijke emissies — 19
- 4.3 Gebruik van gevaarlijke stoffen in coatings windturbines — 20
 - 4.3.1 Mast — 21
 - 4.3.2 Bladen — 21
 - 4.3.3 Gevaarlijke stoffen in coatings — 21

5 Inschatting van de omvang van mogelijke emissies — 23

- 5.1 Mogelijke emissies — 23
- 5.2 Lekkage van isolatiegas SF₆ — 23
- 5.3 Mast — 24
 - 5.3.1 Uitloging van stoffen uit coatings — 24
 - 5.3.2 Erosie en onderhoud van coatings — 26
- 5.4 Turbinebladen — 26
 - 5.4.1 Emissie van (micro)plastics door erosie van de turbinebladen — 26
 - 5.4.2 Emissie van chemische stoffen uit coatings — 30
 - 5.4.3 Onderhoud — 31

6 Conclusie en aanbevelingen vervolgonderzoek — 33

7 Dankwoord — 35

8 Bronnen — 37

Bijlagen — 39

Samenvatting

Windenergie is een belangrijk alternatief voor energie uit fossiele grondstoffen. In Nederland wordt deze energie opgewekt met windturbines op zee en op land. Voor de productie van windturbines worden materialen en chemische stoffen gebruikt. Het Ministerie van Economische zaken en Klimaat (EZK) heeft het RIVM gevraagd om via een quickscan een eerste inzicht te geven in de stoffen die in de gebruiksfase van windturbines op land gebruikt worden en de mogelijke (impact van) emissies van die stoffen naar het milieu. Dit past bij de opgave van de overheid om de veiligheid van de mens en de bescherming van het milieu te waarborgen bij energiewinning, nu en in de toekomst.

Op de mast en de bladen van een windturbine zit een beschermende verflaag (coating) waar chemische stoffen in zitten. Deze stoffen kunnen door wind en regen ervan af slijten. Het is aannemelijk dat deze stoffen zo in de bodem en het water terecht komen waardoor blootstelling van mens, plant en dier kan plaatsvinden.

Op basis van beperkte informatie van enkele producenten van windturbines, aangevuld met gegevens uit de openbare literatuur, is een overzicht gemaakt van de mogelijke stoffen in de coatings op de turbines. Hieruit blijkt dat er stoffen in kunnen zitten die volgens Europese wetgeving als gevaarlijk voor mens en milieu zijn beoordeeld. Dit kan, bijvoorbeeld, zijn omdat ze een negatieve invloed hebben op de voortplanting van mens of dier. Laboratoriumonderzoek naar 'slijtagevocht' van coatings in de weg- en waterbouw laat zien dat de stoffen inderdaad schadelijk kunnen zijn voor organismen. En dat dit per type coating sterk kan verschillen. Het is alleen nog niet duidelijk of dit in de praktijk ook geldt voor slijtagevocht van de coatings op windturbines. Er is immers nog te weinig bekend over de stoffen waarover het precies gaat bij windturbines in Nederland en hoeveel van elke stof vrij komt. Deze kennis is nodig om te kunnen bepalen of de emissies van stoffen gebruikt bij windturbines daadwerkelijk schadelijk zijn voor mens en milieu.

Naast emissies van chemische stoffen kan er door erosie van de coatings op de bladen ook uitstoot zijn van plastic deeltjes vanaf de windturbines. Deze erosie ontstaat tijdens het draaien van de turbine door contact van de bladen met voornamelijk regen, maar ook met bijvoorbeeld zand- en stofdeeltjes in de lucht. De grootte van de vrijgekomen plastic deeltjes is vooralsnog onbekend, maar het is aannemelijk dat het uiteindelijk om microplastics gaat. De overheid voert strikt beleid om de milieubelasting door dergelijke microplastics in Nederland terug te dringen. Schattingen laten zien dat 3,1 gram tot 14 kilogram per turbine per jaar in het milieu kan belanden. Omgerekend naar alle turbines op land in Nederland gaat het dan om 8 kilogram tot maximaal 40 ton. Dit is een klein aandeel (<0,0002% tot maximaal 0,8%) van de totale jaarlijkse emissie van microplastics in Nederland. Deze schattingen kennen echter grote onzekerheden, zoals in welke mate er technieken worden toegepast om de erosie te beperken, en

geeft bovendien nog onvoldoende beeld van de lokale situatie rondom een turbine. Denk hierbij, bijvoorbeeld, aan de hoeveelheid microplastics die op de omringende landbouwgrond belandt.

Het RIVM heeft ten slotte ook gekeken naar het gas zwavelhexafluoride (SF₆) dat in de generator van windturbines zit. Dit isolatiegas is bedoeld om stroomvonken tegen te gaan. SF₆ is een broeikasgas waarvoor strenge wettelijke regels gelden om de uitstoot te beperken. Door lekkage kan, naar verwachting, een kleine hoeveelheid SF₆ vrijkomen uit de windturbines. De effecten op het klimaat hiervan lijken klein ten opzichte van de winst van de verminderde CO₂ uitstoot door het gebruik van windturbines.

Om meer inzicht te verkrijgen in mogelijke risico's door uitloging en slijtage van coatings bij windturbines op land zijn er diverse opties voor vervolgonderzoek:

- Meer specifieke informatie over de samenstelling van de coatings die daadwerkelijk op Nederlandse windturbines worden gebruikt.
- Op basis van modelleren een risicobeoordeling maken voor de stoffen die kunnen uitlogen uit de specifieke turbine coatings. Met behulp van verspreidingsmodellen kunnen de concentraties van deze stoffen in het milieu worden geschat. Deze concentraties kunnen dan worden vergeleken met de beschikbare milieukwaliteitsnormen voor de betreffende stoffen om de risico's voor mens en milieu te beoordelen.
- Uitlogingstesten van coatings gebruikt bij windturbines op land.
- Bioassays met water van uitlogingstesten met coatings gebruikt bij windturbines.
- Inzicht in welke mate zogenoemde *leading edge protection* (LEP) in Nederland wordt toegepast.
- Meten van erosie en emissie (gewicht, aantal deeltjes, deeltjesgrootte) van coatings op turbinebladen (inclusief emissies door onderhoud).
- Metingen van in coatings gebruikte stoffen in water en bodem in een gradiënt rondom windturbines.
- Metingen van (micro)plastics in water en bodem in een gradiënt rondom windturbines.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Windenergie is een alternatief voor energie opgewekt uit fossiele brandstoffen. Daarmee is het een middel om de uitstoot van koolstofdioxide te verminderen en de klimaatdoelstellingen te behalen die het kabinet vanuit de Klimaatwet heeft gesteld. In Nederland staat als doel gesteld om 6.000 MW aan windenergie op land te realiseren voor het einde van 2023. Momenteel is ca. 5.300 MW gerealiseerd, waarvan 1.100 MW in 2021 is opgeleverd (RVO, 2022).

In windturbines worden materialen en chemische stoffen gebruikt die invloed kunnen hebben op de gezondheid van mens en milieu. Het Ministerie van Economische zaken en Klimaat (EZK) heeft het RIVM gevraagd om via een quickscan een eerste inzicht te geven in de stoffen die in de gebruiksfase van windturbines op land gebruikt worden en de mogelijke (impact van) emissies van die stoffen naar het milieu. Daarbij zijn ook de wettelijke kaders voor de stoffen die kunnen vrijkomen beschouwd. Dit past bij de opgave van de overheid om zich sterk te maken voor de veiligheid van de mens en de bescherming van het milieu bij energiewinning en het benutten van de ondergrond, nu en in de toekomst.

1.2 Vraagstelling

Binnen de quickscan is geprobeerd inzicht te krijgen in de volgende vragen:

- 1) Wat is het wettelijk kader (milieu) bij de risicobeheersing van de emissies van chemische stoffen tijdens de gebruiksfase van windturbines?
- 2) Welke materialen en stoffen worden gebruikt in de windenergiebranche? Hierbij ligt de focus op de gebruiksfase van windturbines op land.
- 3) Welke emissies van stoffen zijn er mogelijk? Hierbij gaat de aandacht uit naar de emissies bij normaal gebruik en onderhoud van windturbines, en worden calamiteiten buiten beschouwing gelaten. Lekkages e.d. die onderdeel van het normale gebruik zijn, zullen wel meegenomen worden.
- 4) Kan er een eerste inschatting worden gemaakt van mogelijke risico's door de emissies van stoffen?

2 Afbakening en aanpak

2.1 Afbakening

Binnen dit onderzoek is de aandacht gericht op de (risico's van) emissies van stoffen uit de windenergiebranche op land tijdens de gebruiksfase. Voor windturbines op zee publiceerde het RIVM in 2022 al een quickscan (RIVM, 2022). De term quickscan houdt in dat het een verkennend onderzoek betreft, waarbij een eerste inzicht wordt verkregen in mogelijke aandachtspunten bij emissies van stoffen tijdens de levensduur van windturbines op land. Dit kan leiden tot aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

De quickscan richt zich op de emissies van stoffen naar het milieu en de wetgevende kaders die hierover gaan (o.a. Activiteitenbesluit). Bij het onderzoek wordt rekening gehouden met zowel risico's voor water- en bodemorganismen als voor de mens door blootstelling via het milieu (water, bodem en lucht). Blootstelling van de mens kan bijvoorbeeld optreden via consumptie van landbouwgewassen die zijn geoogst in de nabijheid van windturbines. Verder beperkt dit onderzoek zich tot de gebruiksfase van de turbines, dus van ingebruikname tot en met buitengebruikstelling. Mogelijke recycling van (delen van) de windturbines en het vrijkomen van stoffen daarbij valt daarmee buiten de scope. Daarnaast zijn emissies als gevolg van calamiteiten (zoals brand) niet beschouwd. Emissies door lekkages e.d. die bij normaal gebruik worden verwacht, vallen wel binnen de scope.

De milieu- en gezondheidseffecten van bijvoorbeeld geluid en de fysieke ecologische effecten van windturbines zijn eveneens geen onderdeel van het huidige rapport. Arbo-aspecten vallen ook buiten de reikwijdte van de quickscan.

2.2 Aanpak

De quickscan is uitgevoerd via literatuuronderzoek en een gerichte informatie-uitvraag aan producenten van windturbines. De verzamelde wetenschappelijke literatuur is aangevuld met andere openbare informatie, zoals levenscyclus analyses (LCA's) en productinformatie (inclusief veiligheidsinformatiebladen) van windturbines. Dit om langs die weg inzicht te krijgen in de gebruikte materialen en chemische stoffen.

Via de Nederlandse WindEnergie Associatie (NWEA) zijn producenten benaderd met de vraag om inzicht te geven in de gebruikte materialen, het onderhoudsproces en bijbehorende emissies. De vragenlijst is opgenomen in Bijlage 1. De verkregen informatie bestond uit voorbeelden van gebruikte coatings en inzichten in onderhoud van één producent. Daarnaast stelden twee producenten gegevens beschikbaar over de geschatte hoeveelheid materiaalverlies door slijtage van de bladen.

Aan de hand van de verkregen informatie zijn op basis van "expert judgement" aandachtspunten en mogelijke aanleidingen tot

vervolgonderzoek gedefinieerd. Omdat de quickscan verkennend onderzoek betreft zijn er geen uitgebreide berekeningen, modelleringen, of metingen verricht.

3 Wetgeving van toepassing op windturbines op land

3.1 Inleiding

Voor chemische stoffen bestaan verschillende nationale, Europese en internationale wetgevingen. Samenvattend hebben al deze wetgevingen tot doel mens en milieu te beschermen tegen de nadelige effecten van blootstelling aan chemische stoffen. Een deel van deze wetgeving is ook van toepassing op het gebruik van en het vrijkomen van deze stoffen uit windturbines. Dit hoofdstuk gaat beknopt in op de belangrijkste wetgevingen die relevant zijn voor (het vrijkomen van) stoffen tijdens de gebruiksfase van windturbines op land. Paragraaf 3.2 richt zich op de nationale regels die gelden ter bescherming van de bodem- en grondwaterkwaliteit. Paragraaf 3.3 schetst de belangrijkste, specifieke kaders binnen het (inter)nationale stoffenbeleid.

3.2 Bodembescherming

Een windturbine op land moet voldoen aan de regels in het Activiteitenbesluit milieubeheer ([wetten.nl - Regeling - Activiteitenbesluit milieubeheer - BWBR0022762 \(overheid.nl\)](https://wetten.nl/Regeling-Activiteitenbesluit-milieubeheer-BWBR0022762-overheid.nl)). Hierin zijn veiligheidseisen opgenomen die samenhangen met, bijvoorbeeld, de kans op ijsafwerping, mastbreuk of het afbreken van een turbineblad of de gondel (externe veiligheid). Voor windturbines zijn er echter in dit besluit geen *specifieke* voorschriften opgenomen voor de bescherming van bodem of (grond)water. Er zijn hiervoor op korte termijn vanuit het beleid ook geen voorschriften voorzien voor windturbines (schriftelijke mededeling Informatiepunt Leefomgeving (IPLO), 14-10-2022).

In *algemene* zin geldt voor de bescherming van zowel bodem als water de zogenoemde zorgplicht van het Activiteitenbesluit (artikel 2.1 lid 2 onder b en c). Deze zorgplicht is aan de orde bij milieurelevante aspecten die niet waren voorzien in het besluit. Het (mogelijk) vrijkomen van microplastics uit windturbines zou een dergelijk aspect kunnen zijn. In die situatie zouden dan zogenoemde maatwerkvoorschriften kunnen worden gesteld. Daarnaast geldt voor de bescherming van de bodem en het grondwater een specifieke zorgplicht die is opgenomen in de Wet bodembescherming.

Verder kunnen er specifieke producteisen (inclusief de uitloging van stoffen) zijn voor nieuwe bouwmaterialen, zoals beton. Deze zijn onder meer vastgelegd in de Europese Construction Products Regulation ([Construction Products Regulation \(CPR\) \(europa.eu\)](https://europa.eu)). In het Besluit bodemkwaliteit (Bbk) zijn regels en normen opgenomen voor de toepassing van bouwstoffen (steenachtige materialen, waaronder beton), grond en baggerspecie op of in de bodem met als doel ongewenste verspreiding van stoffen naar de bodem te voorkomen. Onder de Omgevingswet verhuizen de regels voor toepassen van grond en baggerspecie naar het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal). De regels voor het toepassen van bouwstoffen blijven achter in het Bbk. In het Bal, dat geldt na inwerking treden van de Omgevingswet, zijn windturbines aangewezen als milieubelastende activiteit (art. 3.1) met

bepaalde uitzonderingen. Dit heeft echter betrekking op geluid en hinder en niet op de bescherming van bodem en water.

3.3 Stoffenbeleid

Verschillende (inter)nationale verdragen en wettelijke kaders stellen regels op voor chemische stoffen waarvoor zorg bestaat over de risico's voor mens en milieu. Hieronder de voor dit onderzoek meest relevante kaders met een korte beschrijving. Voor meer gedetailleerde informatie: zie <https://rvs.rivm.nl/>

REACH

Voor sommige gevaarlijke stoffen zijn in de Europese Unie autorisaties (verbod tenzij vrijstelling) of restricties (beperkingen) vastgelegd. Deze kunnen gelden voor productie, op de markt plaatsen, verwerking, vervoer, opslag en gebruik. De stoffen en hun autorisaties en/of restricties zijn vastgelegd in de REACH-verordening (EC 1907/2006) die gaat over de Registratie, Evaluatie, Autorisatie en restrictie van Chemische stoffen.

In de EU ligt de aandacht met name op het terugdringen van blootstelling van mens en milieu aan "Substances of Very High Concern" (SVHC), stoffen die geïdentificeerd zijn als zorgwekkende stoffen vanwege bepaalde gevaarseigenschappen, vaak in combinatie met toepassingen die tot onaanvaardbare blootstelling kunnen leiden. Het gaat om stoffen met minimaal één van de volgende gevaarseigenschappen¹:

- Kankerverwekkend (C);
- Mutageen (M);
- Giftig voor de voortplanting (R);
- Persistent, bioaccumulerend en toxisch (PBT);
- Zeer persistent en zeer bioaccumulerend (zPzB);
- Of stoffen met soortgelijke zorg (zoals hormoonverstorende stoffen, inhalatieallergenen en persistente, mobiele en toxische stoffen (PMT)).

SVHC-stoffen worden op de zogenoemde kandidaatslijst geplaatst via een formele procedure vanuit het Europees Agentschap voor chemische stoffen (ECHA). Na prioritering worden de SVHC stoffen met hun autorisatieplicht opgenomen in Bijlage XIV van de REACH verordening. Soms kunnen bedrijven geen alternatieve stof of proces gebruiken ter vervanging van de SVHC stof. Dan kunnen zij een aanvraag voor autorisatie indienen. Bij honorering van de aanvraag kunnen bedrijven de betreffende stof nog (tijdelijk) op de markt brengen of gebruiken.

Daarnaast zijn er verplichtingen voor producenten wanneer hun producten stoffen van de kandidaatslijst bevatten. Dit gaat bijvoorbeeld om het verstrekken van extra informatie over het veilig kunnen gebruiken van deze producten wanneer de stof in meer dan 0,1 gewichtsprocent (g/g) aanwezig is in het product.

Stoffen waarvoor restricties gelden zijn opgenomen in bijlage XVII van de REACH Verordening. Sommige restricties hebben betrekking op een breed spectrum van gebruik. Andere restricties zijn juist toegespitst op

¹ Deze eigenschappen staan beschreven in artikel 57 van de EU REACH-verordening EC/1907/2006

een specifiek gebruik (bijvoorbeeld restrictie op het gebruik van cadmium in verf). Restricties gelden voor alle partijen in de EU die de stof produceren, gebruiken of op de markt brengen.

Voorbeelden van SVHC, en dus ook ZZS (zie onder), zijn benzeen en diverse zware metalen, fenolen en ftalaten (weekmakers).

CLP verordening

CLP staat voor Classification, Labelling and Packaging (indeling, etikettering en verpakking). De Europese CLP-verordening EC 1272/2008 is in januari 2009 in werking getreden; de methode voor de indeling en etikettering van chemische stoffen die met deze verordening is geïntroduceerd, is gebaseerd op het mondiaal geharmoniseerde systeem (GHS) van de Verenigde Naties.

Door middel van de indeling en etikettering van chemische stoffen wil de EU zowel werknemers als consumenten informeren over de gevaren van chemische stoffen. Voordat chemische stoffen op de markt worden gebracht, moet de industrie de potentiële risico's van dergelijke stoffen en mengsels vaststellen en deze stoffen indelen in overeenstemming met de vastgestelde gevaren (de gevaarsindeling). Om veilig om te gaan met chemische stoffen worden stoffen voorzien van etiketten volgens een gestandaardiseerd systeem. Werknemers en consumenten zijn zo op de hoogte van de gevaren ervan en beschermende maatregelen kunnen treffen voordat zij met deze stoffen aan het werk gaan.

Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS)

Naast het Europese REACH- en CLP-beleid is er nationaal ZZS-beleid. Doel van dit Nederlandse overheidsbeleid is om deze stoffen zoveel mogelijk uit de leefomgeving te weren.

ZZS maken onderdeel uit van de groep gevaarlijke stoffen volgens CLP, die bijvoorbeeld ook brandbaar, explosief of giftig kunnen zijn. Alle SVHC (zie boven) vallen onder het ZZS-beleid. Verder zijn alle stoffen die voldoen aan de criteria van REACH artikel 57 aangemerkt als ZZS. ZZS zijn daarnaast ook zorgstoffen volgens onderstaande Europese wetgeving en verdragen:

- POP Verordening (EU) 2019/1021 (Persistent Organic Pollutants)
- Kaderrichtlijn Water 2000/60/EG
- OSPAR verdrag (Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic; Oslo-Paris)

De groep van ZZS is dus groter dan de groep van SVHC.

Het ZZS-beleid richt zich in eerste instantie op de emissies van ZZS vanuit industriële (punt)bronnen. De uitstoot van ZZS uit diffuse bronnen, zoals verkeer en landbouw, krijgt echter steeds meer aandacht binnen het beleid.

Gefluoreerde broeikasgassen

Gefluoreerde broeikasgassen zijn organische verbindingen met fluor, bijvoorbeeld zwavelhexafluoride (SF₆). Er zijn internationale afspraken gemaakt om de uitstoot van deze gassen te beperken. Zo reguleert de EU verordening 517/2014 het gebruik van gefluoreerde broeikasgassen met als doel de klimaatverandering te beperken. De verordening beschrijft ook de voorschriften over de productie, gebruik en de

terugwinning van deze stoffen uit een product. In Nederland is de Europese wetgeving vastgelegd in het Besluit geïoniseerde broeikasgassen en ozonlaagafbrekende stoffen.

Microplastics

Er zijn diverse nationale en internationale beleidsprogramma's die gericht zijn op het terugdringen van de hoeveelheid microplastics in het milieu. Hierbij is onderscheid te maken tussen microplastics die bewust aan producten, zoals cosmetica en verf, zijn toegevoegd en microplastics die ontstaan als afbraakproduct van veelal grotere plastics, zoals zwerfafval of landbouwplastic.

Binnen REACH is recent een restrictie dossier gemaakt over de eerste categorie microplastics (intentionally added microplastics). De Europese Commissie doet binnenkort een uitspraak over deze restrictie voorstellen waarna een uitfasering van een aantal toepassingen zal starten. De microplastics die in dit windturbine onderzoek naar voren komen behoren tot de tweede categorie (afbraakroute).

Laboratoriumonderzoek laat zien dat planten en dieren microplastics kunnen opnemen vanuit water en bodem. De mate van opname hangt onder meer af van de eigenschappen van de deeltjes, de concentratie ervan en het type organisme. Eenmaal opgenomen kunnen er diverse nadelige effecten optreden, zoals remming van groei, neurotoxiciteit, fysieke schade en sterfte.

Blootstelling van de mens kan eveneens plaatsvinden via, bijvoorbeeld, de inname van voedselproducten en lucht. Via deze routes is ook opname van microplastics in het lichaam aangetoond. In hoeverre dit ook daadwerkelijk leidt tot schadelijke effecten bij de mens is vooralsnog onduidelijk (World Health Organization, 2022).

In tegenstelling tot chemische stoffen zijn er tot op heden geen gevaarsclassificaties en milieukwaliteitsnormen voor microplastics.

4 Inventarisatie van gebruikte materialen en stoffen

4.1 Inleiding

Om een beeld te krijgen van mogelijke emissies tijdens de gebruiksfase van windturbines is het van belang om eerst inzicht te hebben in welke materialen er gebruikt worden in windturbines. In dit hoofdstuk is hier een overzicht van gemaakt (4.2). Hierbij is ook een inschatting gemaakt van hoe waarschijnlijk het is dat emissies van deze materialen plaatsvinden tijdens de gebruiksfase. Vervolgens is van materialen met mogelijke emissies meer verdiepend gekeken naar 1) of, en welke stoffen met gevaarseigenschappen aanwezig zijn in deze materialen (4.3) en 2) de mate van emissie die te verwachten is (hoofdstuk 5).

4.2 Overzicht materialen en inschatting mogelijke emissies

4.2.1 *Gebruikte materialen bij windturbines op land*

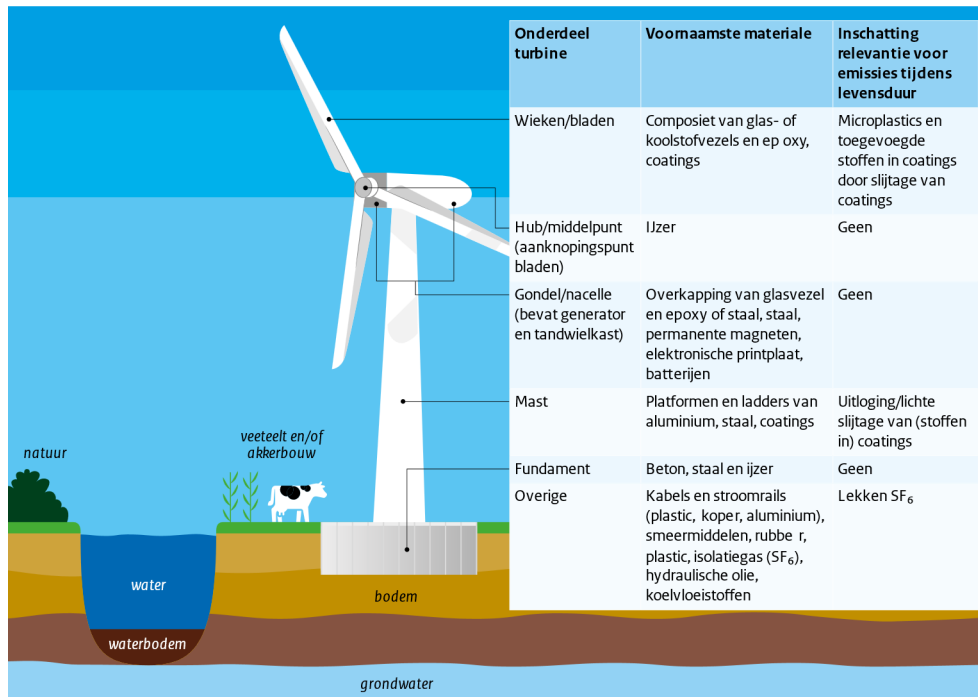
Het grootste deel van een windturbine bestaat uit staal en ijzer, met ~85% van het totale gewicht (Razdan & Garret, 2015; Razdan & Garret 2017; Russ & Reid-Mcconnell, 2020). Het staal en ijzer zit vooral in de mast, gondel, generator, tandwielkast en aandrijfjas. Dit wordt gevolgd door composietmateriaal van glas- of koolstofvezels (~6%) en polymeren (5%), waaruit de bladen en coatings van de turbine bestaan. Ook wordt er gebruik gemaakt van aluminium, koper, elektronica, olie en koelvloeistoffen. Een turbine van 2 MW weegt ongeveer 250 ton. Per turbine is er ook een fundament van maximaal 1000 ton gewicht. Dit fundament is gemaakt van beton (95%) en staal (5%). Daarnaast zijn er per windpark van 25 turbines stroomkabels (550 ton: plastic, aluminium, koper), schakelaars (8 ton) en een transformator (50 ton). In de turbines, schakelaars en transformator wordt gebruik gemaakt van het isolatiegas SF₆. Per turbine betreft dit ongeveer 10 kg SF₆, inclusief het aandeel in bijhorende schakelaars en transformator.

4.2.2 *Inschatting materialen met mogelijke emissies*

Tijdens de levensduur van turbines zijn emissies vanuit (stoffen in) coatings op de turbinebladen en mast het meest aannemelijk (figuur 1). Deze materialen bevinden zich aan de buitenkant van de turbine en zijn het meest onderhevig aan vertering. Stoffen kunnen in het milieu terecht komen door directe uitloging uit de coatings. Uitloging is een proces waarbij een stof in een vast materiaal langzaam oplost in een vloeistof en daardoor vrijkomt. Naast uitloging van stoffen in coatings kunnen er ook (micro)plastics vrijkomen door slijtage van de gebruikte coatings en composietmaterialen. Vervolgens kunnen er ook uit deze microplastics stoffen uitloggen.

Wat het binnenwerk betreft kan er lekkage optreden van hydraulische olie. Dit wordt gebruikt als smeermiddel in de gondel. Om dit op te vangen wordt er gebruik gemaakt van lekbakken, waardoor de olie in de gondel blijft en opgeruimd kan worden. De kans is gering dat er op die manier emissies naar het milieu zijn. Ook kan er sprake zijn van lekkage van het isolatiegas SF₆. Deze stof kan vervolgens wel in het milieu terechtkomen.

De materialen die gebruikt worden voor het fundament moeten voldoen aan de eisen van het Besluit bodemkwaliteit (Bbk) en aan specifieke producteisen voor beton (zie ook 3.1). Hierdoor worden uit het fundament geen emissies verwacht die leiden tot ontoelaatbare belasting van het milieu.



Figuur 1 Overzicht van gebruikte materialen in windturbines en mogelijke emissies van stoffen en materialen naar de leefomgeving.

4.3 Gebruik van gevaarlijke stoffen in coatings windturbines

In de inventarisatie (4.2) kwamen de coatings op de mast en bladen en het isolatiegas in de turbines, schakelaars en transformatoren naar voren als materialen met mogelijke emissies naar het milieu. Om deze reden zoomen we in deze paragraaf nader in op de aanwezigheid van (gevaarlijke) stoffen in de coatings van bladen. Het isolatiegas bestaat volledig uit SF₆. In hoofdstuk 5 wordt verder ingegaan op de mogelijke emissies van deze stoffen en de omvang ervan.

Het kan per turbine verschillen welke coatings er gebruikt worden. De productsamenstelling, en dus welke (eventueel gevaarlijke) stoffen er zijn toegepast, kan hierdoor ook verschillen tussen verschillende producenten, turbines, en producten. Er is op dit moment geen compleet overzicht van de producten die op elke windturbine in Nederland zitten. Op basis van de beschikbare informatie is een overzicht gemaakt van het gebruik van gevaarlijke stoffen in coatings van windturbines. Hierbij willen we benadrukken dat het gebruik van gevaarlijke stoffen niet per definitie tot risico's voor de gezondheid van mens en milieu hoeft te leiden. Hiervoor zijn naast de gevaarseigenschappen ook de mate van blootstelling aan deze stoffen bepalend.

4.3.1 *Mast*

Om het staal van de mast tegen corrosie te beschermen kan gebruik gemaakt worden van coatings op basis van kunststof harsen. Dit kunnen coatings zijn op basis van epoxy, polyacrylaat, polyurethaan of fluoropolymeren (Momber & Marquadt, 2017; coating.co.uk, bezocht op 30-11-2022). Coatings op basis van epoxy en polyurethaan worden ook veel toegepast om staal tegen corrosie te beschermen in bijvoorbeeld de luchtvaart, drinkwatersector of weg- en waterbouw (Zhang et al., 2014; Vermeirssen et al., 2017; Bell et al., 2020). Coatingsystemen bestaan vaak uit meerdere lagen, waarbij verschillende types coating gebruikt kunnen worden. Een typisch coatingsysteem voor masten van windturbines bestaat uit drie lagen: van binnen naar buiten eerst een primer van epoxy met zouten van het metaal zink als kathodische corrosiewerende bescherming, een tweede laag epoxy als tussenlaag, en als derde een topcoating op basis van polyurethaan (Momber & Marquadt, 2017; coating.co.uk, bezocht op 30-11-2022). Polyurethaan wordt veelal gebruikt als toplaag, omdat deze coatings beter bestand zijn tegen UV straling dan coatings op basis van epoxy (Momber & Marquadt, 2017).

4.3.2 *Bladen*

Op de bladen worden veelal coatings van polyurethaan gebruikt. Deze coatings zijn nodig om de bladen te beschermen tegen erosie (Mishnaevsky et al., 2017; Mishnaevsky et al., 2019, Mishnaevsky et al., 2020; Zhang et al., 2014). Net zoals op de mast wordt er meestal gebruik gemaakt van meerdere lagen.

4.3.3 *Gevaarlijke stoffen in coatings*

In tabel S1 in de bijlage zijn gevaarlijke stoffen opgenomen die genoemd zijn in de veiligheidsinformatiebladen van coatings die gebruikt worden op windturbines. Zoals eerder genoemd ontbreekt een compleet overzicht en betreffen dit slechts voorbeelden van coatings die (mogelijk) gebruikt worden bij windturbines in Nederland.

De onderzochte coatings bevatten 19 verschillende gevaarlijke stoffen volgens de bijbehorende veiligheidsinformatiebladen (tabel S1). Het aandeel van deze stoffen verschilt van minder dan één procent tot tientallen of zelfs 100 procent van een product. Het gaat om stoffen die volgens de CLP-classificatie (zie 3.2) als gevaarlijk zijn beoordeeld. Dit kan zijn omdat ze acuut en/of chronisch toxisch zijn voor waterorganismen. Ook zitten er stoffen bij die gevaarlijk zijn voor de volksgezondheid, omdat ze giftig zijn bij inslikken of inademing, of overgevoeligheidsreacties of orgaanschade kunnen veroorzaken. Daarnaast staan drie stoffen op de lijst van Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS): siliciumdioxide, ethyleendiamine en oplosmiddel-nafta (aardolie). Deze stoffen zijn ZZS, omdat ze aan één of meerdere van de REACH artikel 57 criteria voldoen (zie 3.3).

Naast de genoemde stoffen in tabel S1 kan het zijn dat er nog zeer kleine hoeveelheden van andere gevaarlijke stoffen in een product zitten. Dit komt doordat het alleen verplicht is voor producenten om stoffen die boven een bepaalde hoeveelheid in het product zitten te noemen in het veiligheidsinformatieblad. Deze grens is afhankelijk van de gevareigenschappen van een stof. De laagste grens is bijvoorbeeld

0,1% voor stoffen met CMR-eigenschappen (stoffen die carcinogeen, mutageen, of reproductie toxisch zijn). Een voorbeeld van een stof die niet genoemd is in de informatieveiligheidsbladen, maar wel in de coatings kan zitten is bisfenol-A (BPA) in epoxy coatings (Vermeirssen et al., 2017, Bell et al., 2020). BPA is een ZZS en wordt gebruikt bij de productie van epoxy. Tijdens het productieproces reageert BPA vrijwel volledig weg, maar kan er een kleine hoeveelheid BPA in het uiteindelijke product achterblijven. Deze hoeveelheid verschilt per product, maar zit meestal in een ordegrootte van 0,001 tot 0,01% (BIPRO, 2015; Groshart et al., 2001).

5 Inschatting van de omvang van mogelijke emissies

5.1 Mogelijke emissies

In hoofdstuk 4 is een inventarisatie gemaakt van mogelijke emissies bij windturbines op land. Dit betrof het isolatiegas SF₆, (gevaarlijke) stoffen in de coatings van de mast en bladen, en microplastics door slijtage van de coatings op de mast en bladen. In dit hoofdstuk wordt een inschatting gemaakt van de omvang van deze emissies.

5.2 Lekkage van isolatiegas SF₆

SF₆ is een veelgebruikt isolatiegas tegen stroomvonken en wordt om deze reden ook gebruikt in windturbines (4.1). Het gebruik van een isolatiegas is een veiligheidseis. SF₆ is een sterk broeikasgas met een "global warming potential" (GWP) van 22.800 keer zo groot als dat van CO₂ over een periode van 100 jaar (zie ook 3.2). Daarnaast breekt SF₆ zeer langzaam af in de atmosfeer, met een atmosferische levensduur van meer dan 3000 jaar.

Het lekken van SF₆ uit een turbine wordt geschat op minder dan 0,1% per jaar (Razdan & Garret, 2015). Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) noemt een jaarlijks verlies van 0,02% SF₆ voor schakelapparatuur (switchgears) in algemene zin (Tabel 8.2 (gemiddeld voltage) in IPCC, 2006). Per turbine wordt er ongeveer 10 kg SF₆ gebruikt, inclusief het SF₆ dat gebruikt wordt voor de schakelaars en transformator. Op basis hiervan is een schatting gemaakt van de totale GWP in kg CO₂ van alle turbines op land (tabel 1). De berekening is uitgevoerd met bovengenoemde emissiefactoren van 0,1% en 0,02%.

Tabel 1 Schatting van de emissie SF₆ van alle turbines op land in Nederland, uitgedrukt in kg SF₆ en in kg CO₂ (zie tekst).

Aantal turbines	SF ₆ per turbine (kg)	Lekkage (% per jaar)	Emissie SF ₆ per turbine (kg/jaar)	Emissie SF ₆ van alle turbines op land (kg/jaar)	global warming potential (x keer CO ₂)	Klimaatimpact lekkage SF ₆ (kg CO ₂ equivalenten)
2679	10	0,1	1,00x10 ⁻²	26,8	2,28x10 ⁴	6,1x10 ⁵
2679	10	0,02	2,00x10 ⁻³	5,36	2,28x10 ⁴	1,2x10 ⁵

De schatting laat dus zien dat het lekken van SF₆ voor een uitstoot zorgt van het equivalent van 0,12 tot bijna 0,61 miljoen kg CO₂. Om dit in perspectief te plaatsen: het CBS stelt dat het Nederlandse vervoer goed was voor 6 miljard kg CO₂ in 2020 (CBS, bezocht op 01-12-2022a). Ook bespaart het opwekken van energie met windturbines veel CO₂ uitstoot doordat deze energie niet met andere methoden wordt opgewekt. Het CBS stelt dat windenergie op land hierdoor ongeveer 4.5 miljard kg CO₂ uitstoot bespaart (CBS, bezocht op 01-12-2022b). Het GWP van windturbines op land door lekkage van SF₆ is dus maar een fractie (<0,01%) van wat het bespaart. Vanwege de zeer lage afbreeksnelheid van SF₆ in de atmosfeer, waardoor concentraties over de jaren ophopen en steeds hoger worden, is het wenselijk om de emissie van SF₆ zo veel

mogelijk te beperken. Binnen de EU zijn afspraken gemaakt om het gebruik van fluorgassen te beperken (zie ook 3.3). De windsector kijkt naar geschikte alternatieven voor het gebruik van SF₆ in turbines, maar er is op dit moment geen overzicht van in hoeverre deze in Nederland al worden toegepast (Burgess et al., 2018). Omdat SF₆ verder een weinig gevaarlijke stof is, worden er vanuit toxicologisch opzicht geen risico's verwacht voor mens of milieu door lekkage.

5.3 Mast

5.3.1 *Uitloging van stoffen uit coatings*

In paragraaf 4.2 zijn gevaarlijke stoffen geïdentificeerd die gebruikt worden in coatings op windturbines. Het zou kunnen dat deze stoffen uit de coatings logen als deze worden blootgesteld aan water. Uitgelogde stoffen kunnen hierdoor in de bodem, het grondwater, of (via grondwater) in het oppervlaktewater terecht komen. Voor zover bekend zijn er geen data beschikbaar over het uitloggen van stoffen van coatings die specifiek gebruikt worden bij windturbines. Wel zijn er meerdere publicaties van studies waarin is gekeken naar het uitloggen van stoffen uit beschermende coatings op staal in de drinkwatersector, en in de weg- en waterbouw. Uit deze studies blijkt dat uitloging mogelijk is van BPA, BADGE, 4tBP, en verscheidene transformatieproducten zoals 4TSA en 4TESA (tabel 2). Transformatieproducten zijn stoffen die niet bewust zijn gebruikt in de coatings, maar die ontstaan zijn door metabolisme of degradatie van een eerdere ("precursor") stof in de coating.

Met uitzondering van BADGE staan de gemeten stoffen niet in het overzicht van gevaarlijke stoffen bij coatings van windturbines (tabel S1). Dit kan komen doordat deze stoffen niet in concentraties in het product zitten die dermate hoog zijn dat het verplicht is om deze stoffen te noemen in het veiligheidsinformatieblad, zoals sporen van BPA in epoxy, of omdat deze stoffen niet gebruikt worden bij coatings op windturbines. Desalniettemin laten deze studies zien dat het aannemelijk is dat sommige gevaarlijke stoffen uitloggen uit coatings die op windturbines worden aangebracht.

Ook blijkt uit de studies dat de mate van uitloging sterk per product uiteenloopt met gemeten verschillen tussen vergelijkbare coatings van een factor 10. Voor bijvoorbeeld BPA is bij meerdere epoxy coatings geen uitloging gemeten boven de detectielimiet, maar bij één product werd een uitloging van 100 mg/m²/dag vastgesteld (Vermeirssen et al., 2017; tabel 2). Dit was >5000 keer zo hoog als andere metingen waarbij ook BPA aangetroffen was boven de detectielimiet in dezelfde studie.

Naast het meten van de uitloging van stoffen zijn er door Vermeirssen et al. (2017) en Bell et al., (2020) ook toxiciteitstesten (bioassays) gedaan met het water van de uitlogingstesten met epoxy of polyurethaan coatings. De uitkomsten van dit soort testen zijn indicatief voor effecten die mogelijk op kunnen treden in het milieu bij bepaalde concentraties. Of dit in de praktijk ook het geval is hangt af van de daadwerkelijke concentraties van de geteste stoffen in het milieu. In Bell et al., (2020) hadden vijf van de zeven geteste coating systemen een significant toxisch effect op bacteriën en algen, waarbij de topcoating bepalend

bleek voor uitloging van stoffen en de toxiciteit. Bij vier van de zeven systemen werden de waargenomen effecten grotendeels verklaard door concentraties van 4tBP uit epoxy coatings. Bij het 5^{de} coating systeem werd de ecotoxiciteit verklaard door zink uit een polyurethaan primer zonder topcoating. De twee coatingsystemen zonder waargenomen toxische effecten op bacteriën en algen hadden beide een (verschillende) polyurethaan topcoating. Zoals eerder genoemd wordt bij windturbines, voor zover bekend, ook voornamelijk gebruik gemaakt van polyurethaan topcoatings. In Vermeirssen et al. (2017) werden toxicologische effecten waargenomen op menselijke cellen (hormonale verstoring), reproductie van watervlooien, en/of bioluminescentie van bacteriën overeenkomend met uitloging van BPA in drie van de vier geteste epoxy coatings.

Hoewel het dus aannemelijk is dat er uitloging is van stoffen uit de coatings op de masten van turbines, is het nog onbekend welke stoffen dit precies betreft, tot welke concentraties in het milieu dit leidt en of er daardoor daadwerkelijk sprake is van risico's voor mens en milieu. Uit deze verkenning blijkt dat dit sterk per coating kan verschillen. Om hier meer inzicht in te verkrijgen zou vervolgonderzoek nodig zijn. Hier worden aanbevelingen voor gedaan in hoofdstuk 6.

Tabel 2 Stoffen met gemeten concentraties in uitlogingsproeven van beschermende coatings voor staal.

Stof	Aantal geteste coatings	type coating	bandbreedte uitloging ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{dag}$)	Opmerkingen	Bronnen
Bisfenol A (BPA)	16	Epoxy	onder detectielimiet tot $1,5 \times 10^4$	1 van de 18 coatings met uitloging van $1,5 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{dag}$, de rest minder dan $53 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{dag}$	Vermeirssen et al., 2017; Bruchet et al., 2014; Bae et al., 2002; Cantoni et al., 2021; Bell et al., 2020; Bell et al., 2021
Bisphenol A diglycidyl ether (BADGE)	7	Epoxy	onder detectielimiet tot $3,8 \times 10^2$		Vermeirssen et al., 2017; Bell et al., 2020
BADGE*H ₂ O	4	Epoxy	11 tot $8,1 \times 10^2$	transformatieproduct van BADGE	Vermeirssen et al., 2017
BADGE*2H ₂ O	4	Epoxy	10 tot $1,4 \times 10^2$	transformatieproduct van BADGE	Vermeirssen et al., 2017
4-tert-butylphenol (4tBP)	3	Epoxy	$6,4 \times 10^2$ tot $3,2 \times 10^4$		Bell et al., 2020; Bell et al., 2021
4-tolueensulfonamide (4TSA)	2	Polyurethaan	3,9 tot $2,8 \times 10^2$	transformatieproduct van 4-tolueensulfonyl isocyaan	Bell et al., 2020

Stof	Aantal geteste coatings	type coating	bandbreedte uitloging ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{dag}$)	Opmerkingen	Bronnen
4-tolueenethylsulfonamide (4TESA)	2	Polyurethaan	onder detectielimiet tot 8,7	transformatieproduct van 4-toluuensulfonyl isocyaan	Bell et al., 2020
4-cumylphenol (4CP)	2	Epoxy	onder detectielimiet tot 0,44	transformatieproduct	Bell et al., 2021
4-[1-(4-methoxyphenyl)-1-methylethyl]pheno- (BPA-I11)	2	Epoxy	onder detectielimiet tot 2,7	transformatieproduct BPA	Bell et al., 2021
5-hydroxybisphenol A (BPA-I10)	2	Epoxy	onder detectielimiet tot 2,3	transformatieproduct BPA	Bell et al., 2021
bisphenol A bis(2,3-dihydroxypropyl_ ether (Bis-HPPP)	2	Epoxy	onder detectielimiet tot 42	transformatieproduct BPA	Bell et al., 2021
2-phenylphenol (2PP)	2	Epoxy	onder detectielimiet tot 1,3	transformatieproduct	Bell et al., 2021
Zink	2	epoxy en polyurethaan primer met zink	?	niet te berekenen op basis van data in artikel, wel gerapporteerd dat er uitloging was	Bell et al., 2020

5.3.2 *Erosie en onderhoud van coatings*

Er kan gedurende de levensduur van een turbine lichte erosie plaatsvinden van de coatings op de mast. Hierbij kunnen vaste deeltjes van de coatings in het milieu terecht komen, bijvoorbeeld in de vorm van microplastics. De verwachting is dat dit een kleine hoeveelheid betreft, omdat producenten aangeven dat de coatings op de mast gedurende de gehele levensduur (20+ jaar) niet vervangen of vernieuwd hoeven te worden. In sommige incidentele gevallen, bijvoorbeeld als een windturbine met graffiti is bespoten, kan er deels opnieuw geschilderd worden. Onder normale omstandigheden worden er geen emissies verwacht door onderhoud van de coatings op de mast.

5.4 Turbinebladen

5.4.1 *Emissie van (micro)plastics door erosie van de turbinebladen*

Tijdens de levensduur van windturbines vindt er erosie plaats aan de voorkant ("leading edge") van de bladen, gezien vanaf de kant dat de bladen op draaien. Dit wordt ook "leading edge erosion" (leidende rand erosie, LEE) genoemd. Deze erosie ontstaat tijdens het draaien van de turbine door contact van de bladen met voornamelijk regen, maar ook met bijvoorbeeld zand- en stofdeeltjes in de lucht (Mishnaevsky et al., 2020; Shankar Verma et al., 2021a).

Door erosie van de bladen komt er materiaal van deze bladen in het milieu terecht. Bij erosie zullen eerst de buitenste lagen verwerken, en de

emissies zullen dus voornamelijk bestaan uit de beschermende coatings op de bladen. Dit kunnen andere coatings zijn dan op de mast en het betreft vaak de polymeren polyurethaan of polyacrylaat en toegevoegde stoffen (tabel S1). In extreme gevallen waarin op (delen van) het blad de gehele coating verweerd is zou ook het turbineblad zelf, bestaande uit glasvezel en epoxy, kunnen slijten en kunnen verweerde deeltjes hiervan in het milieu terecht komen.

Er bestaan tegenwoordig speciaal ontwikkelde materialen en coatings voor de leading edge van turbinebladen. Dit wordt "leading edge protection" (LEP) genoemd. Voorbeelden hiervan zijn beschermende tapes, coatings of kant en klare "soft shell" mallen die op de leading edge worden aangebracht (Mishnaevksy et al., 2020). Deze materialen zijn ook op basis van polyurethaan. Ook is het mogelijk om tijdens extreem weer de snelheid van de bladen te vertragen om erosie te verkleinen (Mishnaevksy et al., 2020). Het is niet bekend in welke mate deze technologieën in Nederland worden toegepast.

Op dit moment is er weinig inzicht in de hoeveelheid emissie (totaalgewicht of aantal deeltjes) van (micro)plastics door de slijtage van turbinebladen. Op basis van literatuur is wel bekend dat de mate van erosie zwaarder is op zee en aan de kust dan verder landinwaarts, vanwege hevigere (weers)omstandigheden (Pugh & Stack, 2021; Shankar Verma et al., 2021a). De lengte van het blad dat gevoelig is voor slijtage hangt verder ook af van de ashoogte, de lengte van het blad, het vermogen van de turbine en de tipsnelheid² van het blad (Shankar Verma et al., 2021b). In een factsheet van Norwea, de branchevereniging van de windenergie sector in Noorwegen, wordt erosie van 50 gram per blad per jaar genoemd (Norwea, 2021). Dit getal is bevestigd door een producent. Een andere producent heeft aangegeven dat het maximale materiaalverlies per turbine door slijtage van de bladen 35,8 kg over 25 jaar betreft (1,43 kg per jaar) voor turbines zonder enige LEP. Dit zou volgens de producent sterk verminderd kunnen worden tot nog maar maximaal 78 gram (3,12 gram per jaar) door toepassing van LEP, afhankelijk van de lengte waarin de LEP wordt toegebracht op het blad en het type LEP. Hierbij biedt "soft shell" LEP betere bescherming dan LEP coatings of tape.

Vanwege het gebrek aan inzicht in de representativiteit van de bovenstaande informatie is in deze verkenning ook een worst-case inschatting gemaakt van de omvang van de emissie van microplastics door slijtage van de bladen. Dit is gedaan op basis van afbeeldingen van erosie in de wetenschappelijke literatuur (Shankar Verma et al., 2021a: figuur 1B) en bekende dichtheden van polyurethaan coatings (tabel 3). Hierbij is aangenomen dat bij een blad van 80 meter langs de gehele leading edge het coating systeem (dikte 600 µm, 20 cm breed) is geërodeerd. Afhankelijk van de locatie zou dit al binnen enkele jaren kunnen gebeuren (Shankar Verma et al., 2021a; Mishnaevsky et al., 2019). Voor de schatting is uitgegaan van drie jaar. In de praktijk is het waarschijnlijker dat slechts een deel van de lengte van het blad erodeert, waardoor de emissie lager uit zal vallen dan hier geschat (Shankar Verma et al., 2021b).

² De tipsnelheid van een turbine is de draaisnelheid van de uiteindes (de tip) van de bladen.

Naast de worst-case schatting is ook een meer realistische schatting gemaakt van de erosie (Tabel 3). Voor deze schatting is uitgegaan van 15 meter van het blad dat slijt over een periode van 8 jaar. Dit is gebaseerd op waarden berekend in Shankar Verma et al. (2021b) en is realistisch voor turbines onder 5 MW (representatief voor wind op land).

Tabel 3 Inschatting van de mogelijke emissie van (micro)plastics door slijtage van de leading edge van windturbinebladen (zie tekst).

Bron/scenario	Lengte slijtage blad (m)	Dikte coatingsysteem (μm)	Breedte erosie (m)	Dichtheid coatings (kg/m^3)	Jaren	Verlies (kg/jaar)	Aantal turbines op land	totale emissie alle turbines op land (micro)plastics (kg/jaar)
Worst-case schatting RIVM	80	600	0.200	1500	3	4,80 (per blad) 14,4 (per turbine)	2.679	$3,9 \times 10^4$
Realistische Schatting RIVM	15	600	0.200	1500	8	0,338 (per blad) 1,01 (per turbine)	2.679	$2,7 \times 10^3$
Factsheet Norwea	onbekend	Onbekend	onbekend	onbekend	onbekend	$5,00 \times 10^{-2}$ (per blad) 0,150 (per turbine)	2.679	$4,0 \times 10^2$
Contact producent: bladen zonder LEP	onbekend	Onbekend	onbekend	onbekend	25	0,477 (per blad) 1,43 (per turbine)	2.679	$3,8 \times 10^3$
Contact producent: bladen met een "soft shell" LEP	onbekend, vanaf tip 17 m van de leading edge bedekt met LEP	onbekend	onbekend	onbekend	25	$1,04 \times 10^{-3}$ (per blad) $3,12 \times 10^{-3}$ (per turbine)	2.679	8,4

Op basis van onze eigen berekeningen blijkt dat de emissie van (micro)plastics 1,01 kg (realistische schatting) tot 14,4 kg (worst-case schatting) per jaar per turbine kan bedragen. Dit komt neer op, respectievelijk, $2,7 \times 10^2$ tot $3,9 \times 10^4$ kg per jaar voor alle windturbines op land in Nederland bij elkaar. Het berekende worst-case getal is zeer onzeker en ligt grofweg 100 keer hoger dan de gestelde emissie in de factsheet van Norwea en 10 keer hoger dan de emissie van een turbine zonder LEP zoals aangegeven door een producent. Onze realistische schatting ligt in lijn met de informatie van de producent voor bladen zonder LEP. Afhankelijk van in welke mate LEP in Nederland wordt toegepast en de effectiviteit daarvan zou de huidige "realistische" schatting ook een overschatting van de daadwerkelijke emissie kunnen zijn, omdat deze aspecten niet in deze schatting zijn meegenomen.

Naast de omvang (gewicht) van de emissie is ook onzeker wat de deeltjesgrootte van deze plastics is. Dit kan uitmaken voor de toxiciteit en verspreiding in het milieu. De aanname is dat de geërodeerde plastics uit microplastics bestaan (<5 mm diameter) of dat deze door verwerking in het milieu uiteindelijk in microplastics veranderen.

Een recent rapport van TNO schat dat de totale jaarlijkse emissie van alle microplastics in Nederland naar het milieu ongeveer 5000 ton bedraagt, waarbij autobanden (~2000 ton), verpakkingen (~1500 ton), en landbouwplastics (~800 ton) de grootste bronnen zijn (Urbanus et al., 2022). De geschatte bijdrage van windturbines op land aan de landelijke emissie van microplastics is minder dan 0,0002% tot 0,8% op basis van, respectievelijk, de getallen van producenten (8,4 kg) en de worst-case RIVM-schatting in deze verkenning (39 ton).

Hoewel op landelijke schaal de bijdrage van de emissie van microplastics door windturbines relatief laag is vergeleken met andere bronnen, kan niet worden uitgesloten dat op lokale schaal (rondom een windturbine) verhoogde concentraties van microplastics kunnen voorkomen. Om een betere inschatting te kunnen geven van de emissies door leading edge erosion van windturbines is meer inzicht nodig in de mate van erosie van de bladen en concentraties van (micro)plastics rondom windturbines (zie H6). Ook lijkt de mate van erosie sterk te kunnen verschillen of zelfs nagenoeg nul te zijn afhankelijk van of, welke, en in hoeverre er materialen en technologieën worden toegepast om erosie te beperken of voorkomen. Inzicht in welke maatregelen in Nederland worden genomen door beheerders en producenten van windturbines om erosie te voorkomen zou ook bijdragen aan een betere inschatting van de risico's hiervan.

5.4.2 *Emissie van chemische stoffen uit coatings*

Net zoals bij de coatings op de mast kan er bij de coatings op de bladen sprake zijn van uitloging van stoffen. Voor zover bekend is hierover, net zoals bij de coatings voor op de mast, geen informatie specifiek voor coatings op windturbines beschikbaar. Door de hoge mate van erosie van de coatings op de bladen vergeleken met andere toepassingen zou ook de mate van uitloging hoger kunnen zijn. Vanwege de erosie vindt de uitloging immers plaats aan een groter oppervlak (zowel van gesleten deeltjes als coating op de bladen), en kunnen ook de diepere coating lagen uitlogen.

5.4.3

Onderhoud

Turbinebladen worden om de twee tot acht jaar onderhouden (Shankar Verma et al., 2021a; Mishnaevsky et al., 2019; producenten). De frequentie en mate van onderhoud kan sterk verschillen per locatie, omdat ook de mate van erosie sterk verschilt tussen locaties. Onderhoud vindt meestal plaats in het veld, waarbij het beschadigde deel eerst geschuurd en vervolgens opnieuw gecoat wordt. Geschuurde deeltjes worden voor zover bekend niet opgevangen, waarbij onderhoud dus ook een mogelijke bron van emissie naar het milieu is. Net zoals bij de slijtage van de mast is niet bekend hoe groot deze emissie is.

6 Conclusie en aanbevelingen vervolgonderzoek

Deze quickscan laat zien dat het aannemelijk is dat er emissies van chemische stoffen optreden tijdens de gebruiksfase van windturbines op land. Dit betreft stoffen uit de coatings op de mast en bladen van de turbines. De coatings zijn qua samenstelling vergelijkbaar met coatings gebruikt in de luchtvaart, drinkwatersector, water- en wegenbouw. Een aantal van de stoffen die aanwezig zijn in dergelijke coatings is geclassificeerd als 'gevaarlijk' vanwege hun mogelijk schadelijke effecten op mens en ecosystemen. De stoffen kunnen uitloggen uit de coatings waardoor ze in het milieu terechtkomen. Biologische testen (bioassays) met uitloogvloeistoffen van coatings laten zien dat er langs deze route inderdaad nadelige effecten, zoals verminderde voortplanting, kunnen optreden bij in het oppervlaktewater levende organismen. Uit de literatuur over coatings in het algemeen blijkt dat de mate van uitloging van gevaarlijke stoffen sterk per product kan verschillen: er zijn ook coatings gerapporteerd zonder meetbare uitloging. In hoeverre er sprake is van uitloging bij coatings gebruikt in de windsector is op dit moment niet bekend, waardoor de koppeling met de praktijk lastig te maken is. Om een inschatting te kunnen maken van de risico's voor mens en milieu is het wenselijk om hier meer inzicht in te krijgen. Daarnaast is het vanuit het beleidsperspectief van minimalisatie van milieuemissies van gevaarlijke stoffen, ZZS in het bijzonder, belangrijk om de productie en het gebruik van coatings zonder dergelijke stoffen te stimuleren.

Behalve de emissies van stoffen kan er ook sprake zijn van emissie van plastic deeltjes door slijtage van de coatings op de bladen. De grootte van de vrijgekomen plastic deeltjes is vooralsnog onbekend, maar het is aannemelijk dat het uiteindelijk om microplastics gaat. De overheid voert strikt beleid om de milieubelasting door dergelijke microplastics in Nederland terug te dringen. Schattingen laten zien dat 3,1 gram tot 14 kg plastic deeltjes per turbine per jaar in het milieu kan belanden. Omgerekend naar alle turbines op land in Nederland betreft dat dan 8,4 kg tot maximaal 39 ton. Dit is een klein aandeel (<0,0002% tot maximaal 0,8%) van de totale jaarlijkse emissie van microplastics in Nederland. Deze schattingen kennen echter grote onzekerheden en geven nog onvoldoende beeld van de lokale situatie rondom een turbine. Denk hierbij, bijvoorbeeld, aan de hoeveelheid microplastics die op de omringende landbouwgrond belandt. Het is daarom wenselijk om de beoordeling te verfijnen met betere gegevens over de erosie van de turbinebladen. Tegenwoordig bestaan er materialen en technieken om te erosie van de bladen te beperken, zoals speciaal ontwikkelde coatings of het aanpassen van de snelheid van de bladen tijdens extreem weer. Er is op dit moment geen overzicht in hoeverre deze technieken in Nederland worden toegepast. Het stimuleren hiervan zou de emissie van plastic deeltjes van windturbines sterk kunnen verminderen.

Van andere onderdelen van de turbine wordt weinig tot geen emissie verwacht, met uitzondering van het isolatiegas SF₆ in de schakelapparatuur. Hoewel het aannemelijk is dat er enige vorm van lekkage is van SF₆, worden hier geen schadelijke effecten op het milieu of de mense-

lijke gezondheid door verwacht. Het geschatte broeikaseffect door het lekken van SF₆ uit windturbines op land wordt geschat op <0,01% van de klimaatwinst door de opwekking van energie. Hoewel de klimaatimpact van gebruik van SF₆ in windturbines klein geschat wordt vergeleken de klimaatwinst, is het vanwege de trage afbreeksnelheid van de stof wenselijk om de emissie zo veel mogelijk te beperken. Dit sluit aan bij vigerend beleid van de EU. De windsector werkt momenteel aan alternatieven voor SF₆. Het verdient aanbeveling om deze ontwikkelingen nauwlettend te volgen om zo het gebruik van SF₆ op termijn terug te kunnen dringen.

Om meer inzicht te verkrijgen in mogelijke risico's door uitloging en slijtage van coatings bij windturbines op land zijn er diverse opties voor vervolgonderzoek:

- Meer specifieke informatie over de samenstelling van de coatings die daadwerkelijk op Nederlandse windturbines worden gebruikt.
- Op basis van *modelleren* een risicobeoordeling maken voor de stoffen die kunnen uitloggen uit de specifieke turbine coatings (zie bovenstaande bullet). Het is mogelijk om een schatting te maken van de hoeveelheid stof die uitloopt. Met behulp van verspreidingsmodellen kan vervolgens een concentratie in het milieu worden berekend. Deze concentraties kunnen dan worden vergeleken met normen om de risico's voor mens en milieu te beoordelen.
- Uitlogingstesten van coatings gebruikt bij windturbines op land.
- Bioassays met water van uitlogingstesten met coatings gebruikt bij windturbines.
- Inzicht in welke mate leading edge protection (LEP) in Nederland wordt toegepast.
- Meten van erosie en emissie (gewicht, aantal deeltjes, deeltjesgrootte) van coatings op turbinebladen (inclusief emissie door onderhoud).
- Metingen van in coatings gebruikte stoffen in water en bodem in een gradiënt rondom windturbines.
- Metingen van (micro)plastics in water en bodem in een gradiënt rondom windturbines.

7 Dankwoord

De auteurs bedanken hun RIVM-collega's Willie Peijnenburg, Joost Bakker, Piet Otte, Johannes Lijzen en Meinie Naus voor hun bijdragen aan dit rapport.

8 Bronnen

- Bell, A. M., Baier, R., Kocher, B., Reifferscheid, G., Buchinger, S., & Ternes, T. (2020). Ecotoxicological characterization of emissions from steel coatings in contact with water. *Water research*, *173*, 115525.
- Bell, A. M., Keltsch, N., Schweyen, P., Reifferscheid, G., Ternes, T., & Buchinger, S. (2021). UV aged epoxy coatings–Ecotoxicological effects and released compounds. *Water Research X*, *12*, 100105.
- BIPRO. (2015). *Epoxy resins in wind energy applications*. https://epoxy-europe.eu/wp-content/uploads/2015/07/epoxy_erc_bpa_whitepapers_wind-energy-2.pdf
- Bruchet, A., Elyasmino, N., Decottignies, V., & Noyon, N. (2014). Leaching of bisphenol A and F from new and old epoxy coatings: Laboratory and field studies. *Water Science and Technology: Water Supply*, *14*(3), 383-389.
- Burges, K. D., Michael; Hussy, Charlotte; Rhiemeier, Jan-Martin; Franck, Christian; Rabie, Mohamed. (2018). *Concept for SF6-free transmission and distribution of electrical energy*.
- Cantoni, B., Riguzzi, A. C., Turolla, A., & Antonelli, M. (2021). Bisphenol A leaching from epoxy resins in the drinking water distribution networks as human health risk determinant. *Science of The Total Environment*, *783*, 146908.
- CBS. *Hoeveel uitstoot veroorzaakt het Nederlandse vervoer over land?* Retrieved 01-12-2022 from <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/uitstoot-en-brandstofverbruik/uitstoot-vervoer-over-land>
- CBS. *Vermeden verbruik fossiele energie en emissie CO2*. Retrieved 01-12-2022 from <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/84918NED>
- coating.co.uk. *Wind Turbine Coatings*. Retrieved 30-11-2022 from <https://www.coating.co.uk/wind-turbine-coatings/>
- Groshart, C. P., Okkerman, P. C., & Pijnenburg, A. M. C. M. (2001). *Chemical study on Bisphenol A* (RIKZ/2001.027).
- IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3: Industrial Processes and Product Use*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>
- Mishnaevsky Jr, L. (2019). Repair of wind turbine blades: Review of methods and related computational mechanics problems. *Renewable energy*, *140*, 828-839.
- Mishnaevsky Jr, L., Branner, K., Petersen, H. N., Beauson, J., McGugan, M., & Sørensen, B. F. (2017). Materials for wind turbine blades: An overview. *Materials*, *10*(11), 1285.
- Mishnaevsky Jr, L., Fæster, S., Mikkelsen, L. P., Kusano, Y., & Bech, J. I. (2020). Micromechanisms of leading edge erosion of wind turbine blades: X-ray tomography analysis and computational studies. *Wind Energy*, *23*(3), 547-562.
- Momber, A. W., & Marquardt, T. (2018). Protective coatings for offshore wind energy devices (OWEAs): a review. *Journal of Coatings Technology and Research*, *15*(1), 13-40. <https://doi.org/10.1007/s11998-017-9979-5>

- Pugh, K., & Stack, M. (2021). Rain erosion maps for wind turbines based on geographical locations: A case study in Ireland and Britain. *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*, 7(1), 1-7.
- Razdan, P., & Garrett, P. (2015). *Life Cycle Assessment of electricity production from an onshore V110-2.0 MW wind plant*.
- Razdan, P., & Garrett, P. (2017). *Life Cycle Assessment of electricity production from an Onshore V112-3.45 MW Wind Plant*.
- RIVM. (2022). *Inzicht in emissies van chemische stoffen bij windturbines op zee*. https://www.rivm.nl/sites/default/files/2022-06/Chemische_stoffen_bij_windturbines_op_zee_TG.pdf
- Russ, M. R.-M., Lana. (2020). *Life Cycle Assessment of a Nordex Wind Farm with Delta4000 Turbines*.
- RVO. (2022). *Monitor Wind op Land over 2021*. <https://www.rvo.nl/onderwerpen/windenergie-op-land/monitor>
- Shankar Verma, A., Jiang, Z., Ren, Z., Caboni, M., Verhoef, H., van der Mijle-Meijer, H., Castro, S. G., & Teuwen, J. J. (2021a). A probabilistic long-term framework for site-specific erosion analysis of wind turbine blades: A case study of 31 Dutch sites. *Wind Energy*, 24(11), 1315-1336.
- Shankar Verma, A., Noi, S. D., Ren, Z., Jiang, Z., & Teuwen, J. J. E. (2021b). Minimum Leading Edge Protection Application Length to Combat Rain-Induced Erosion of Wind Turbine Blades. *Energies*, 14(6), 1629. <https://doi.org/10.3390/en14061629>
- Urbanus, J. H., Brunner, A., Boersma, A., Henke, S., Kooter, I., Lensen, S., Parker, L., Schwarz, A., Imhof, P., Dortmans, A., & Wijngaard, M. (2022). *Microplastics are everywhere: 70% reduction achievable*. <https://www.tno.nl/en/newsroom/2022/11/sources-microplastics-the-netherlands/>
- Vermeirssen, E. L., Dietschweiler, C., Werner, I., & Burkhardt, M. (2017). Corrosion protection products as a source of bisphenol A and toxicity to the aquatic environment. *Water research*, 123, 586-593.
- World Health Organization (2017). Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240054608>
- Zhang, S., Kiil, S., Dam-Johansen, K., & Bernad Jr, P. (2014). Accelerated rain erosion of wind turbine blade coatings. Danmarks Tekniske Universitet (DTU).

Bijlagen

Informatievraag producenten (Engels)

In order to gain insight in emissions of (and subsequent potential environmental risks) of substances used in wind turbines in the Netherlands we are looking for the information listed below. We are focusing on emissions during the use-phase of the turbines, so not during production, installation, etc. We are looking for information on multiple types of turbine and are interested in both onshore and offshore turbines (as complete as possible). If this is not feasible, we would like the information for the most commonly used coatings for both land and sea. Furthermore we are interested in any differences in used material, maintenance, or emissions of substances:

- Between turbines on land and offshore
- Between generations (old vs new turbines)
- Between different sizes of turbines
- Between locations (e.g., leading edge erosion near coast or more inland)

We would also like to acknowledge that it might not be possible for every question to be answered in the level of detail requested, but any information that can be given will be very helpful. Preferably we would like to receive the information in digital form (e.g., excel sheet of product composition), and in level of detail according to the following hierarchy:

- Composition of used product
- Presence of substances of very high concern and their concentrations
- Safety data sheets
- Name of product

List of requested information

Material composition information on coatings of wind turbine blades

- What coatings are used?
- What is the layering of the coatings/in what order are the coatings applied on the blade?
- What is their material composition?
- Are any substances used that are listed on the ECHA candidate list of substances of very high concern (SVHC)
- If so, in what amounts?
- Are PFAS/fluoropolymers used in wind turbine blades? Where and in what amounts?

Leading Edge Erosion

We are interested in how much material is emitted due to leading edge erosion. So we are looking on information on the amount of weight over time, and which layers or substances erode/are emitted. Data on mass loss of wind turbine blades or data on how much new material is applied during maintenance could be of use for this.

- How much material (weight) is lost over time? Which layers are affected? (ideally weight loss per layer/time unit)
- Alternatively, information of thickness and density of the layers in addition to loss of volume can give an indication of mass loss.
- How often is maintenance performed and are coatings reapplied?
- How much material is reapplied during maintenance?

Material composition coatings mast and (for offshore turbines) monopile

- What coatings are used?
- What is the layering of the coatings/in what order are the coatings applied?
- What is their material composition?
- Are any substances used that are listed on the ECHA candidate list of substances of very high concern (SVHC)
- If so, in what amount are they in the final product?

Insight in emission rates

- Are there any available leaching rates for substances of very high concern out of the outer applied coatings (especially monopile coatings which are continuously exposed to seawater)?
Leaching data preferable in weight per surface area per time
- Data on material loss of coatings (weight loss/m² over time)
- Frequency of maintenance of masts
- How much product is reapplied during maintenance?

Internals

Hydraulic oil

- Does leakage of hydraulic oil occur? If so, in what amounts and how quickly?
- Are any substances used that are listed on the ECHA candidate list of substances of very high concern (SVHC)
- in what amounts are they in the final product?

Electronic systems (e.g., transformers and distribution (sub)stations, cooling equipment)

- How often are (parts of) electronic systems replaced? What SVHCs are present in those parts and in what amounts?
- What kind of wear and tear are electronic systems exposed to? What are expected emissions for these parts?
- What substances/formulations (mainly focused on SVHC-containing formulations) are used in maintenance activities of electronic systems?
- in what amounts are they in the final product?
- For cooling systems specifically: what coolants are used and is information available on leakage over time? Do coolants contain SF₆ or other F-gases?

Use of galvanic anode cathodic protection for offshore turbines

- Is galvanic anode cathodic protection still being used? Where?
- What and how much metal is used?
- What is the expected loss of material per year?

Tabel gevaarlijke stoffen in coatings

Tabel S1 Gevaarlijke stoffen in coatings die gebruikt worden bij windturbines. Stoffen staan genoemd per coating en staan hierdoor vaak meerdere keren in de lijst. De betekenissen van de gevaarsklassen zijn te vinden op de website van UNECE:

<https://unece.org/transport/standards/transport/dangerous-goods/ghs-rev9-2021>

CAS	Naam	Aandeel in product (min %)	Aandeel in product (max %)	Lijst ZZS	Gevaarsklassen
Polyurethaan coating voor de bladen					
136210-30-5	tetraethyl-N,N'-(methyleendicyclohexaan-4,1-diyl)bis-DL-aspartaat	25	30	nee	Skin sens. 1 H317, Aquatic Chronic 3 H412
623-91-6	diethyl fumaraat	1	5	nee	Acute Tox 4. H302, Skin Irrit. 2 H315, Eye Dam. 1 H318, STOT SE 3 H335
NA	2-(2-Hydroxyphenyl)-2H-benzotriazoles	1	5	nee	Skin Sens 1 H317, Aquatic Chronic 2 H411
41556-26-7	bis(1,2,2,6,6-pentamethyl-4-piperidyl) sebacaat	0	1	nee	Skin Sens 1 H317, Aquatic Acute 1 H400, Aquatic Chronic 1 H410
82919-37-7	methyl-1,2,2,6,6-pentamethyl-4-piperidylsebacaat	0	1	nee	Skin Sens. 1 H317, Aquatic Acute 1 H400, Aquatic Chronic 1 H410
CAS	Naam	Aandeel in product (min %)	Aandeel in product (max %)	Lijst ZZS	Gevaarsklassen
Primer/grondverf voor de bladen					
1330-20-7	xyleen	40	100	nee	Flam. Liq.3 H226, Acute Tox.4 H332, Acute Tox.4 H312, Skin Irrit.2 H315, Eye Irrit.2 H319, STOT SE3 H335, STOT RE2 H373, Asp. Tox.1 H304, Aquatic Chronic3 H412
100-41-4	ethylbenzeen	20	25	nee	Flam. Liq.2 H225, Acute Tox.4 H332, STOT RE2 H373, Asp. Tox.1 H304, Aquatic Chronic3 H412

CAS	Naam	Aandeel in product (min %)	Aandeel in product (max %)	Lijst ZZS	Gevaarsklassen
13822-56-5	3-(trimethoxysilyl)propylamine	1	3	nee	Skin Irrit.2 H315, Eye Dam.1 H318
5131-66-8	1-butoxy-2-propanol	1	5	nee	Skin Irrit. 2 H315, Eye Irrit. 2 H319
34590-94-8	dipropyleenglycolmethylether	1	5	nee	EUH019
CAS	Naam	Aandeel in product (min %)	Aandeel in product (max %)	Lijst ZZS	Gevaarsklassen
Polyacrylate coating voor op bladen, topcoat					
41556-26-7	bis(1,2,2,6,6-pentamethyl-4-piperidyl) sebacaat	0	1	nee	Skin Sens 1 H317, Aquatic Acute 1 H400, Aquatic Chronic 1 H410
82919-37-7	methyl-1,2,2,6,6-pentamethyl-4-piperidylsebacaat	0	1	nee	Skin Sens. 1 H317, Aquatic Acute 1 H400, Aquatic Chronic 1 H410;
2634-33-5	1,2-benzo-isothiazoline-3-on	0	0.1	nee	Acute Tox. 2 H330, Acute Tox. 4 H302, Skin Irrit. 2 H315, Eye Dam. 1 H318, Skin Sens. 1 H317, Aquatic Acute 1 (M-Factor = 1) H400, Aquatic Chronic 2 H411
55965-84-9	reactie massa van 5-chloro-2-methyl-4-isothiazolin-3-eeen en 2-methyl-2H -isothiazol-3-eeen	0	0.1	nee	Acute Tox. 2 H330, Acute Tox. 2 H310, Acute Tox. 3 H301, Skin Corr. 1C H314, Eye Dam. 1 H318, Skin Sens. 1A H317, Aquatic Acute 1 (M-Factor = 100) H400, Aquatic Chronic 1 H410 (M-Factor = 100), EUH071

CAS	Naam	Aandeel in product (min %)	Aandeel in product (max %)	Lijst ZZS	Gevaarsklassen
Polyurethaan coating voor op de bladen					
136210-30-5	tetraethyl-N,N'-(methyleendicyclohexaan-4,1-diyl)bis-DL-aspartaat	40	45	nee	Skin sens. 1 H317, Aquatic Chronic 3 H412
623-91-6	diethyl fumaraat	1	5	nee	Acute Tox 4. H302, Skin Irrit. 2 H315, Eye Dam. 1 H318, STOT SE 3 H335
NA	2-(2-Hydroxyphenyl)-2H-benzotriazoles	1	5	nee	Skin Sens 1, Aquatic Chronic 2; H317 H411
41556-26-7	bis(1,2,2,6,6-pentamethyl-4-piperidyl) sebacaat	0	1	nee	Skin Sens 1 H317, Aquatic Acute 1 H400, Aquatic Chronic 1 H410
82919-37-7	methyl-1,2,2,6,6-pentamethyl-4-piperidylsebacaat	0	1	nee	Skin Sens. 1 H317, Aquatic Acute 1 H400, Aquatic Chronic 1 H410
CAS	Naam	Aandeel in product (min %)	Aandeel in product (max %)	Lijst ZZS	Gevaarsklassen
Polyurethaan kit voor op de bladen					
14464-46-1	silicium(di)oxide - cristoballiet	5	10	ja	STOT RE 2 H373
123-26-2	N,N'-ethane-1,2-diylbis(12-hydroxyoctadecan-1-amide)	0	1	nee	Skin Sens. 1B H317, Aquatic Chronic 3 H412
51287-84-4	Bis(dodecylthio)dimethylstannane	0	1	nee	Acute Tox. 4 H302, Skin Sens. 1A H317, Aquatic Chronic 3 H412

CAS	Naam	Aandeel in product (min %)	Aandeel in product (max %)	Lijst ZZS	Gevaarsklassen
Verharder voor polyurethaan kit					
28182-81-2	hexamethylene di-isocyanate homopolymeer	95	100	nee	Acute Tox. 4 H332, Skin Sens. 1 H317, STOT SE 3 H335
822-06-0	hexamethylene di-isocyanate	0	1	nee	Acute Tox. 1 H330, Acute Tox. 4 H302, Skin Irrit. 2 H315, Eye Irrit. 2 H319, Resp. Sens. 1 H334, Skin Sens. 1 H317, STOT SE 3 H335
CAS	Naam	Aandeel in product (min %)	Aandeel in product (max %)	Lijst ZZS	Gevaarsklassen
Epoxy primer met zink voor op mast					
7440-66-6	zinkpoeder - zinkstof (gestabiliseerd)	50	75	nee	Aquatic Acute 1 H400 (M=1), Aquatic Chronic 1 H410 (M=10)
25068-38-6	epoxyhars met medium moleculair gewicht	5	10	nee	Skin Irrit. 2 H315, Eye Irrit. 2 H319, Skin Sens. 1 H317, Aquatic Chronic 2 H411
1330-20-7	xyleen	5	10	nee	Flam. Liq.3 H226, Acute Tox.4 H332, Acute Tox.4 H312, Skin Irrit.2 H315, Eye Irrit.2 H319, STOT SE3 H335, STOT RE2 H373, Asp. Tox.1 H304, Aquatic Chronic3 H412
1314-13-2	zinkoxide	3	5	nee	Aquatic Acute 1 H400, (M=1) Aquatic Chronic 1 H410 (M=1)
71-36-3	butanol	1	3	nee	Flam. Liq. 3 H226, Acute Tox. 4 H302, Skin Irrit. 2 H315, Eye Dam. 1 H318, STOT SE 3 H335, STOT SE 3 H336

CAS	Naam	Aandeel in product (min %)	Aandeel in product (max %)	Lijst ZZS	Gevaarsklassen
100-41-4	ethylbenzeen	1	3	nee	Flam. Liq.2 H225, Acute Tox.4 H332, STOT RE2 H373, Asp. Tox.1 H304, Aquatic Chronic3 H412
68609-97-2	oxiraan	1	3	nee	Skin Irrit. 2 H315, Skin Sens. 1 H317
CAS	Naam	Aandeel in product (min %)	Aandeel in product (max %)	Lijst ZZS	Gevaarsklassen
Verharder voor epoxy primer					
1330-20-7	xyleen	25	50	nee	Flam. Liq.3 H226, Acute Tox.4 H332, Acute Tox.4 H312, Skin Irrit.2 H315, Eye Irrit.2 H319, STOT SE3 H335, STOT RE2 H373, Asp. Tox.1 H304, Aquatic Chronic3 H412
107-98-2	1-methoxy-2-propanol	5	10	nee	Flam. Liq. 3 H226, STOT SE 3 H336
100-41-4	ethylbenzeen	5	10	nee	Flam. Liq.2 H225, Acute Tox.4 H332, STOT RE2 H373, Asp. Tox.1 H304, Aquatic Chronic3 H412
90-72-2	2,4,6-tri(dimethylaminomethyl)fenol	5	10	nee	Acute Tox. 4 H302, Skin Irrit 2 H315, Eye Irrit 2 H319
112-24-3	triethyleentetramine	1	2	nee	Acute Tox. 3 H311, Skin Corr. 1B H314, Eye Dam. 1 H318, Skin Sens. 1 H317, Aquatic Chronic 3 H412
108-88-3	tolueen	0	1	nee	Flam. Liq. 2 H225, Skin Irrit. 2 H315, Repr. 2 H361d, STOT SE 3 H336, STOT RE 2 H373, Asp. Tox. 1 H304

CAS	Naam	Aandeel in product (min %)	Aandeel in product (max %)	Lijst ZZS	Gevaarsklassen
Epoxy coating mast, middenlaag					
1675-54-3	bisfenol-A-epichloorhydrine (BADGE)	10	25	nee	Skin Irrit. 2 H315, Eye Irrit. 2 H319, Skin Sens. 1 H317, Aquatic Chronic 2 H411
1330-20-7	xyleen	5	10	nee	Flam. Liq.3 H226, Acute Tox.4 H332, Acute Tox.4 H312, Skin Irrit.2 H315, Eye Irrit.2 H319, STOT SE3 H335, STOT RE2 H373, Asp. Tox.1 H304, Aquatic Chronic3 H412
68512-30-1	Methylstyrenated phenol	5	10	nee	Skin Irrit. 2 H315, Skin Sens. 1B H317, Aquatic Chronic 3 H412
13463-67-7	titaniumdioxide	3	5	nee	Carc. 2 H351 (inademing)
100-51-6	fenylmethanol	1	3	nee	Acute Tox. 4 H302, Acute Tox. 4 H332, Eye Irrit. 2 H319
100-41-4	ethylbenzeen	1	3	nee	Flam. Liq.2 H225, Acute Tox.4 H332, STOT RE2 H373, Asp. Tox.1 H304, Aquatic Chronic3 H412
NA	1,3-bis(12-hydroxyoctadecanamide-N-mathyle) benzene	0	1	nee	Skin Sens. 1B H317, Aquatic Chronic 4 H413
108-88-3	tolueen	0	0.3	nee	Flam. Liq. 2 H225, Skin Irrit. 2 H315, Repr. 2 H361d, STOT SE 3 H336, STOT RE 2 H373, Asp. Tox. 1 H304

CAS	Naam	Aandeel in product (min %)	Aandeel in product (max %)	Lijst ZZS	Gevaarsklassen
Verharder voor epoxy coating					
1330-20-7	xyleen	10	25	nee	Flam. Liq.3 H226, Acute Tox.4 H332, Acute Tox.4 H312, Skin Irrit.2 H315, Eye Irrit.2 H319, STOT SE3 H335, STOT RE2 H373, Asp. Tox.1 H304, Aquatic Chronic3 H412
68512-30-1	Methylstyrenated phenol	10	25	nee	Skin Irrit. 2 H315, Skin Sens. 1B H317, Aquatic Chronic 3 H412
71-36-3	butanol	5	10	nee	Flam. Liq. 3, H226 Acute Tox. 4, H302 Skin Irrit. 2, H315 Eye Dam. 1, H318 STOT SE 3, H335 STOT SE 3, H336
90-72-2	2,4,6-tri(dimethylaminomethyl)fenol	5	10	nee	Acute Tox. 4 H302, Skin Corr. 1C H314, Eye Dam. 1 H318
100-51-6	fenylmethanol	3	5	nee	Acute Tox. 4 H302, Acute Tox. 4 H332, Eye Irrit. 2 H319
100-41-4	ethylbenzeen	1	3	nee	Flam. Liq.2 H225, Acute Tox.4 H332, STOT RE2 H373, Asp. Tox.1 H304, Aquatic Chronic3 H412
107-15-3	ethyleendiamine	0	1	Ja	Flam. Liq. 3 H226, Acute Tox. 4 H302, Acute Tox. 3 H311, Acute Tox. 4 H332, Skin Corr. 1B H314, Eye Dam. 1 H318, Resp. Sens. 1B H334, Skin Sens. 1 H317, Aquatic Chronic 3 H412
112-24-3	triethyleentetramine	0	1	nee	Acute Tox. 3 H311, Skin Corr. 1B H314, Eye Dam. 1 H318, Skin Sens. 1 H317, Aquatic Chronic 3 H412

CAS	Naam	Aandeel in product (min %)	Aandeel in product (max %)	Lijst ZZS	Gevaarsklassen
Polyurethaan coating mast, topcoat					
13463-67-7	titaniumdioxide	10	25	nee	Carc. 2, H351 (inademing)
64742-95-6	solvent-nafta (aardolie), licht aromatisch	15	20	Ja	Asp. Tox 1 H304, Muta. 1B H340, Carc. 1B
1330-20-7	xyleen	10	25	nee	Flam. Liq.3 H226, Acute Tox.4 H332, Acute Tox.4 H312, Skin Irrit.2 H315, Eye Irrit.2 H319, STOT SE3 H335, STOT RE2 H373, Asp. Tox.1 H304, Aquatic Chronic3 H412
100-41-4	ethylbenzeen	1	3	nee	Flam. Liq.2 H225, Acute Tox.4 H332, STOT RE2 H373, Asp. Tox.1 H304, Aquatic Chronic3 H412
7779-90-0	trizinkbis(orthofosfaat)	1	3	nee	Aquatic Acute 1, H400 (M=1) Aquatic Chronic 1, H410 (M=1)
123-86-4	butylacetaat	1	3	nee	Flam. Liq. 3 H226, STOT SE 3 H336, EUH066
1065336-91-5	Reactie massa van bis (1,2,2,6,6-pentamethyl4-piperidyl) sebacate en methyl 1,2,2,6,6-pentamethyl4-piperidyl sebaaat	0	1	nee	Skin Sens. 1A H317, Repr. 2 H361, Aquatic Acute 1 H400 (M=1), Aquatic Chronic 1 H410 (M=1)
77-99-6	1,1,1-trimethylolpropane	0	0.3	nee	Repr. 2 H361fd

CAS	Naam	Aandeel in product (min %)	Aandeel in product (max %)	Lijst ZZS	Gevaarsklassen
Verharder voor polyurethaan topcoat					
28182-81-2	hexamethylene di-isocyanate homopolymeer	75	90	nee	Acute Tox. 4 H332, Skin Sens. 1 H317, STOT SE 3 H335
123-86-4	butylacetaat	5	10	nee	Flam. Liq. 3 H226, STOT SE 3 H336, EUH066
64742-95-6	oplosmiddel-nafta (aardolie), licht aromatisch	15	20	Ja	Flam. Liq. 3 H226, STOT SE 3 H335, STOT SE 3 H336, Asp. Tox. 1 H304, Aquatic Chronic 2 H411
822-06-0	hexamethylene di-isocyanate	0	0.3	nee	Acute Tox. 1 H330, Acute Tox. 4 H302, Skin Irrit. 2 H315, Eye Irrit. 2 H319, Resp. Sens. 1 H334, Skin Sens. 1 H317, STOT SE 3 H335

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

www.rivm.nl

maart 2023

De zorg voor morgen
begint vandaag