



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

Verkenning milieueffecten rubbergranulaat bij kunstgrasvelden

RIVM Briefrapport 2018-0072
A.J. Verschoor | C.W.M. Bodar | R.A. Baumann



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

Verkenning milieueffecten rubbergranulaat bij kunstgrasvelden

RIVM Briefrapport 2018-0072

A.J. Verschoor | C.W.M. Bodar | R.A. Baumann

Colofon

© RIVM 2018

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.

DOI 10.21945/RIVM-2018-0072

A.J. Verschoor (auteur), RIVM
C.W.M. Bodar (auteur), RIVM
R.A. Baumann (auteur), RIVM

Contact:
Anja Verschoor
Centrum voor Veiligheid van Stoffen en Producten
anja.verschoor@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Beleidsdirectie Water en Bodem.

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

Publiekssamenvatting

Verkenning milieueffecten rubbergranulaat bij kunstgrasvelden

Het gebruik van rubbergranulaat op kunstgrasvelden kan schadelijk zijn voor het milieu in de directe omgeving van de velden. Uit de rubberkorrels kunnen stoffen lekken die terecht komen in de grond om de velden heen (de bermgrond) en in de bagger in sloten. Dat is slecht voor het ecosysteem omdat het de biodiversiteit aantast. Spelende kinderen en huisdieren die per ongeluk bermgrond binnenkrijgen lopen geen gevaar. Sloopwater en grondwater in de natuurlijke ondergrond zijn niet verontreinigd door het rubbergranulaat op de velden. Dit water kan dus naar verwachting zonder bezwaar gebruikt worden om bijvoorbeeld moestuinen mee te besproeien.

Dit blijkt uit onderzoek van het RIVM rond 10 kunstgrasvelden van voetbalclubs in Nederland die zijn ingestrooid met rubbergranulaat van autobanden. In het onderzoek is de kwaliteit van het milieu rondom kunstgrasvelden met rubbergranulaat van autobanden vergeleken met de milieukwaliteit rondom echte grasvelden. Op diverse locaties overschrijden de concentraties zink, kobalt en minerale olie bij kunstgrasvelden de geldende normen voor bodem en waterbodem (Besluit bodemkwaliteit), terwijl dat bij echte grasvelden niet het geval is. Het milieu is vooral gevoelig voor hoge concentraties zink; voor de mens vormt zink geen gezondheidsrisico.

De milieubelasting ontstaat doordat rubbergranulaatkorrels worden meegesleept door mensen of bijvoorbeeld door bladblazers tot enkele meters naast het veld op de bermgrond terechtkomen. Daarnaast lekken stoffen uit rubbergranulaat weg naar het drainagewater: dat is regenwater dat via de sportvelden in de bodem terechtkomt en van daaruit via buizen wordt afgevoerd naar een sloot. In het slootwater worden de concentraties zodanig verdund dat ze geen schade veroorzaken. Wel binden de meeste stoffen zich vervolgens aan deeltjes die neerslaan als bagger op de slootbodem, waarin wel effecten zijn gemeten.

Kobalt, zink en minerale olie die uit rubbergranulaat weglekken, kunnen zich ook ophopen in de technische onderlagen van het kunstgrasveld. Vandaaruit kunnen ze zich, op korte of lange termijn, verder verspreiden naar de omgeving. Dat bleek uit onderzoeken van verschillende gemeentes, die het RIVM als onderdeel van deze studie heeft geëvalueerd.

De conclusies uit dit onderzoek worden grotendeels bevestigd door een studie van de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), het kenniscentrum van regionale waterbeheerders in Nederland. Hierin zijn in een deel van de monsters van drainagewater en waterbodem effecten op levende organismen gevonden.

Het RIVM beveelt aan om maatregelen te treffen om de verspreiding van rubberkorrels naar de bermgrond te voorkomen en om de uitstoot van stoffen via het drainagewater te beperken.

Kernwoorden: rubbergranulaat, drainage, bodem, rubberkorrels, kunstgrasvelden

Synopsis

The environmental impact of rubber infill near artificial turf fields

The use of rubber granules, sourced from car tyres, on synthetic turf fields can be harmful to the environment in the close vicinity of these fields. It concerns risks to the ecosystem in soil and sediment. Children at play and pets or cattle that occasionally ingest soil containing rubber granules are not at risk. Ditch water and groundwater in the natural soil are not contaminated by the rubber granules on the fields. This water is expected to be sufficiently suitable, for example, for spraying vegetable gardens. This is shown by an exploratory research project conducted by the RIVM around 10 synthetic turf pitches of football clubs in the Netherlands.

In the study, the quality of the environment around artificial turf fields containing rubber granules from car tyres was compared with the environmental quality around real grass fields. At various locations, the concentrations of zinc, cobalt and mineral oil exceed the environmental quality standards for soil and sediment (Soil Quality Decree). The environment is particularly sensitive to high concentrations of zinc, zinc is not a health issue for humans.

The environmental impact is caused by the fact that rubber granules are dragged along by athletes or the public or in some other way reach the soil borders up to a few meters distance from the field. In addition, substances from rubber granulate leach into the drainage water: that is rainwater that passes the sport fields and ends up in the field borders via drainpipes to a ditch. In the measured ditch water samples, the concentrations were diluted so that they did not cause any harmful effects. However, most substances bind to particles that precipitate into the sediment, in which effects have been measured.

Cobalt, zinc and mineral oil leaching from rubber granules can accumulate in the technical sublayers of the artificial turf. From there they can, in the short or long term, further leach to the environment. This was shown by studies by various municipalities, which the RIVM additionally evaluated as part of this study.

The conclusions from this research are largely confirmed by a study of the Foundation for Applied Water Research (STOWA), the knowledge center of regional water managers in the Netherlands. In this study, effects on living organisms were found in a part of the samples of drainage water and sediment.

The RIVM recommends that measures be taken to prevent the spreading of rubber granules to the field borders and to limit the emission of substances via the drainage water.

Key words: rubber granulate, drainage, soil, rubber granules, synthetic turf fields

Dankwoord

De auteurs van dit rapport bedanken de leden van de Wetenschappelijke Klankbordgroep voor hun waardevolle adviezen. Verder gaat dank uit naar de RIVM-ploeg die de monsters in het veld heeft genomen en de gemeenten en sportverenigingen die 'hun veld' ter beschikking stelden voor dit onderzoek. Tot slot zijn we de volgende personen erkentelijk voor hun bijdragen: Bertwin Stoffelsen, Niels Masselink, Jos Theeuwen, Els Smit, Christine van der Krol, Jan Roels, Ellen Brand, Frank Swartjes, Joke Wezenbeek, Petra Loeff, Margit Govers, Sanne van Wijk, Willem Verdouw, Lise de Boer en Connie Posthuma.

Inhoudsopgave

Samenvatting — 11

1 Achtergrond — 15

- 1.1 Aanleiding — 15
- 1.2 Doel onderzoek — 15
- 1.3 Reikwijdte en afbakening onderzoek — 16
- 1.4 Relatie milieuonderzoek met andere RIVM-activiteiten — 17
- 1.5 Kwaliteitsborging — 17

2 Onderzoeksopzet en uitvoering — 19

- 2.1 Onderzoekslocaties — 19
- 2.2 Monsternamen — 21
- 2.3 Chemische analyses — 21
- 2.4 Analysemethoden — 23
- 2.5 Relatie met STOWA-onderzoek — 23
- 2.6 Beoordeling van de resultaten — 24

3 Resultaten — 29

- 3.1 Bermgrond — 29
- 3.2 Drainagewater — 37
- 3.3 Oppervlaktewater — 43
- 3.4 Waterbodem — 46
- 3.5 Grondwater — 53

4 STOWA onderzoek: bioassays — 55

- 4.1 Inleiding — 55
- 4.2 Bioassays drainagewater — 55
- 4.3 Bioassays waterbodem — 58

5 Discussie — 59

- 5.1 Beknopte samenvatting — 59
- 5.2 Onderscheid rubbergranulaat en technische steunlaag — 59
- 5.3 Biologische beschikbaarheid van zink in bermgrond met rubberkorrels — 60
- 5.4 Representativiteit en extrapolatie naar andere velden — 61
- 5.5 Overeenkomsten en verschillen tussen chemische en biologische beoordeling — 63
- 5.6 Risicobeoordeling dieren — 64
- 5.7 Relatie met andere onderzoeken — 65
- 5.8 Rubberdeeltjes / microplastics — 69

6 Conclusies en aanbevelingen — 71

- 6.1 Conclusies — 71
- 6.2 Aanbevelingen — 74

7 Referenties — 77

Bijlage 1. Samenstelling klankbordgroepen — 79

Bijlage 2. Locatie omschrijvingen — 80

Bijlage 3. Bemonsteringsprocedure — 90

Bijlage 4. Standaard analysemethoden — 94

Bijlage 5. Kwantificeren benzothiazolen — 98

Bijlage 6. Kwantificeren rubberkorrels — 101

Bijlage 7. Samenstelling van rubbergranulaat — 104

Bijlage 8. P-waarden test op significante verschillen — 105

Bijlage 9. Drainagewater: 1^e en 2^e bemonsteringsronde — 107

Bijlage 10. Overzicht van andere onderzoeken — 108

Samenvatting

Aanleiding

Het RIVM voerde in 2016 het onderzoek 'Beoordeling gezondheidsrisico's door sporten op kunstgrasvelden met rubbergranulaat' uit (Oomen en De Groot, 2017). De focus lag op de gezondheidsrisico's voor mensen die sporten op velden met ingestrooid rubbergranulaat. De milieurisico's van rubbergranulaat op sportvelden bleven in die studie buiten beschouwing, maar het RIVM wees hierin, net als in 2007, wel op risico's voor verspreiding van stoffen naar bodem en water. Jaarlijks verdwijnt per veld maximaal 400 kg rubbergranulaat in de omgeving van kunstgrasvelden (Weijer et al., 2017). Het is niet bekend in welke mate de deeltjes en de vele verschillende stoffen in rubbergranulaat effect hebben op de bodem- en waterkwaliteit in de nabijheid van kunstgrasvelden.

Doel

Het doel van het voorliggende onderzoek is om te verkennen in welke mate de omgeving van kunstgrasvelden wordt belast door rubberdeeltjes gemaakt van oude banden en door de stoffen uit rubbergranulaat en of dat effecten heeft voor het ecosysteem en voor de mens. Het onderzoek richt zich op bermgrond, drainagewater, slootwater, grondwater en de waterbodem. Het doel van het onderzoek was niet om antwoord te geven op de vraag of locaties om milieuhygiënische redenen gesaneerd moeten worden. Dat is ook niet aan de orde, omdat voor bodemverontreinigingen na 1987 de 'zorgplicht' geldt. Het veld mag de bodem niet verontreinigen. Als dit toch gebeurt, moet die verontreiniging (op enig moment) worden verwijderd.

Opzet

Het RIVM heeft de concentraties van een aantal stoffen gemeten rondom 10 kunstgrasvelden in Nederland met rubbergranulaatkorrels van oude autobanden. Bij de selectie is gezocht naar velden waar de kans op een waarneembaar effect groot is: oude velden (10-28 jaar oud) en met een drainagesysteem dat afwatert op een sloot in de nabije omgeving. Voor een verkenning, op zoek naar mogelijke effecten, is dit een relatief snelle en kosteneffectieve manier om het onderzoek op te zetten. Daarnaast is informatie afkomstig van brancheverenigingen, onderzoeksbureaus en gemeentes over de milieukwaliteit onder en naast kunstgrasvelden in het onderzoek betrokken. Parallel aan de chemische beoordeling van het RIVM heeft de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) onderzoek gedaan naar biologische effecten in drainagewater- en waterbodemmonsters van dezelfde locaties.

Om de bijdrage van het kunstgras aan de kwaliteit van het milieu te kunnen onderscheiden van de lokale achtergrondconcentraties zijn ook metingen gedaan rondom voetbalvelden van echt gras. Elk kunstgrasveld heeft een controleveld van echt gras dat zich op hetzelfde sportcomplex bevond.

De kunstgrasvelden verschillen in type sporttechnische onderlaag. De sporttechnische laag is een laag van circa 10 cm dik die net onder de kunstgrasmat ligt en is bedoeld om een juiste vering en een goede waterafvoer te bewerkstelligen. Op twee van de tien velden was ook rubbergranulaat in de sporttechnische laag verwerkt. In deze studie is het effect van rubbergranulaat op twee locaties een optelsom van rubber óp en rubber ónder het veld. Andere materialen die in de sporttechnische laag waren verwerkt zijn lava, zand, betongranulaat, granulight en/of steagran.

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden staat een mogelijk oorzakelijk verband met het effect van rubbergranulaat voorop. Er is gekozen voor een statistische analyse om de beoordeling zoveel mogelijk objectief en transparant te maken.

Risico's zijn beoordeeld aan de hand van geldende normen en methodieken uit het Besluit Bodemkwaliteit.

Resultaten bermgrond

Het gebruik van rubbergranulaat op kunstgrasvelden heeft op alle 10 de locaties geleid tot duidelijk verhoogde concentraties kobalt, zink en minerale olie in de bermgrond. Ook PAK's en enkele benzothiazolen zijn frequent verhoogd. De toename is te verklaren uit de hoeveelheid rubberkorrels die is aangetroffen in de bermgrond (gemiddeld 17 gram/kg grond). Het is niet bekend of de stoffen nog aan de rubber matrix gebonden zijn en wat de biobeschikbaarheid van de stoffen is. Van zink is bekend dat het uit de rubbermatrix loskomt, en dus beschikbaar wordt voor organismen, als het in contact komt met water. Er zijn geen risico's voor spelende kinderen die grond met korrels via de mond binnen krijgen, deeltjes inhaleren of deeltjes op hun huid krijgen. Er zijn wél ecologische risico's te verwachten.

Resultaten drainagewater, slootwater en grondwater

Er zijn sterke aanwijzingen dat rubbergranulaat (óp het veld en onder het veld in de technische onderlaag) invloed heeft op het drainagewater. Uit de chemische analyses blijkt dat pyreen, benzothiazol en 2-hydroxybenzothiazol significant hogere concentraties hebben in drainagewater bij kunstgrasvelden. Op het oudste veld, waar rubbergranulaat ook in de sporttechnische onderlaag is verwerkt, zijn de zinkconcentraties 200x hoger en de kobaltconcentraties meer dan 10x hoger dan bij het referentieveld. Een bioassay (PXR-assay), die aangeeft dat het metabolisme voor omzetting van milieuvreemde verbindingen is geactiveerd, geeft een signaal in alle drainagewater monsters. Testen met watervlooiën laten op het oudste veld, met de hoogste zinkconcentraties een acute toxiciteit zien. In de sloot treedt verdunning van het drainagewater op. Als gevolg daarvan is slootwater is geen invloed van kunstgrasvelden waarneembaar. Wel binden de meeste stoffen zich vervolgens aan deeltjes die neerslaan als bagger op de slootbodem, waarin wel effecten zijn gemeten. In grondwater is geen invloed van rubbergranulaat waarneembaar.

Resultaten waterbodem

De hoeveelheid rubberdeeltjes in de waterbodem is gering. De waterbodemkwaliteit hangt echter aantoonbaar samen met de

drainagewaterkwaliteit. In het drainagewater is door de aanwezigheid van benzothiazol en 2-hydroxybenzothiazol een verband met rubbergranulaat te leggen. Op zes locaties zijn aanwijzingen gevonden voor een invloed van rubbergranulaat op de waterbodems bij kunstgrasvelden, doordat het mengsel van stoffen dat aan rubbergranulaat gerelateerd kan worden op deze locaties significant verhoogd is. Op twee locaties leidt dat tot een indeling van de bagger in Kwaliteitsklasse B, wat betekent dat de bagger alleen onder bepaalde voorwaarden verspreidbaar is. Risico's voor het waterbodemplaan zijn aanwezig op twee locaties. Op twee locaties heeft het kunstgrasveld een effect op de groei van dansmuggen (twee locaties) en vlokreeften (één locatie) in waterbodemonsters.

Eindconclusies en aanbevelingen

Deze verkennende studie duidt erop dat de verspreiding van korrels naar de bermgrond de belangrijkste bron van milieubelasting rondom kunstgrasvelden is. Daarnaast is er een geleidelijke, en moeilijker te beheersen lekkage van stoffen vanuit het veld naar het drainagewater, en via het drainagewater naar de waterbodem. Dit kan leiden tot sterke verontreiniging van de bermgrond met zink en minerale olie en een matige verontreiniging van de waterbodem met zink. Hierdoor zijn effecten op het ecosysteem te verwachten. Er zijn geen risico's voor spelende kinderen en (huis)dieren. De geschiktheid van het slootwater voor het besproeien van moestuinen wordt niet nadelig beïnvloed door de aanwezigheid van een kunstgrasveld.

Het RIVM beveelt aan om maatregelen te treffen om de verspreiding van rubberkorrels naar de bermgrond te voorkomen en om de uitstoot en verspreiding van stoffen via het drainagewater te beperken. Het is aan de betrokken stakeholders om hiervoor oplossingen aan te dragen. Deze studie richt zich hier niet op.

De andere studies, afkomstig van individuele gemeenten, geven aan dat de technische onderlaag vaak verontreinigd is met stoffen uit rubbergranulaat. De verwerking van rubbergranulaat in de technische steunlaag kan een risicofactor zijn. Een inventarisatie van de mate waarin rubbergranulaat in de technische steunlaag is verwerkt bij Nederlandse kunstgrasvelden, en metingen in het drainagewater van dergelijke velden wordt daarom aanbevolen.

De focus van dit onderzoek lag bij rubbergranulaat gemaakt uit oude autobanden. Het verdient aanbeveling om ook de milieubelasting van andere infill-materialen, zoals EPDM, TPE en kurk, te onderzoeken. Daarnaast pleit het RIVM voor een geïntegreerde beoordeling van de aspecten veiligheid, duurzaamheid én circulariteit van rubbergranulaat en andere infill-materialen.

1 Achtergrond

1.1 Aanleiding

Het RIVM voerde in 2016 het onderzoek 'Beoordeling gezondheidsrisico's door sporten op kunstgrasvelden met rubbergranulaat' uit (Oomen en De Groot, 2017). De focus lag op de gezondheidsrisico's voor mensen die sporten op velden met ingestrooid rubbergranulaat. De milieurisico's van rubbergranulaat op sportvelden bleven in die studie buiten beschouwing, maar het RIVM wees hierin wel (opnieuw) op deze milieurisico's. Het onderzoek bevestigde immers eerdere inzichten, namelijk dat het rubbergranulaat metalen en andere stoffen bevat, die in de omgeving terecht kunnen komen via uitloging (Verschoor 2007). Er blijkt vooral zink vrij te kunnen komen. Dit metaal is alleen bij zeer hoge concentraties schadelijk voor de mens, maar kan al bij lage concentraties gevolgen hebben voor organismen in de bodem en het oppervlaktewater.

Een recente, indicatieve studie van SWECO (Weijer et al., 2017) laat zien dat rubbergranulaat op kunstgrasvelden onbedoeld verspreid wordt naar het milieu. Jaarlijks verdwijnt per veld maximaal 400 kg rubbergranulaat in de omgeving van kunstgrasvelden. Dat is gelijk aan het equivalent van ongeveer 50 autobanden. De SWECO-onderzoekers troffen rubberdeeltjes aan in nabijgelegen berm, in oppervlaktewater en waterbodems. Het aantal onderzochte velden in de SWECO-studie was echter beperkt (vier). Het is niet bekend in welke mate de vele verschillende stoffen in rubbergranulaat zich vervolgens verder in het milieu verspreiden en effect hebben op de bodem- en waterkwaliteit in de nabijheid van kunstgrasvelden. Ook de milieueffecten van de rubberdeeltjes zelf bleven onbelicht.

Burgers, sportclubs, gemeenten en media stellen vragen aan het RIVM over mogelijke effecten van rubbergranulaat op het milieu en de indirecte blootstelling van mensen als gevolg van milieubelasting uit rubberkorrels. Bijvoorbeeld, of het slootwater nabij sportvelden veilig is om de moestuin mee te besproeien, en of er bodemverontreiniging ontstaat onder en naast het veld. Omdat informatie ontbreekt over milieurisico's van rubbergranulaat kon het RIVM tot op heden voornamelijk aannames doen over de verspreiding van rubberdeeltjes en stoffen, de voorkomende concentraties van stoffen uit het rubbergranulaat en de mogelijke effecten. Deze aannames gaan gepaard met onzekerheden, terwijl de maatschappelijke ongerustheid vraagt om heldere en betrouwbare antwoorden. Om deze redenen heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) het RIVM opdracht gegeven voor een verkennend onderzoek naar de milieueffecten van het gebruik van rubbergranulaat van gerecyclede autobanden op kunstgrasvelden.

1.2 Doel onderzoek

Het doel van het onderzoek is om te verkennen in welke mate de omgeving van kunstgrasvelden wordt belast door rubberdeeltjes gemaakt van oude banden en door de stoffen die voorkomen in dat

rubbergranulaat en of dat effecten heeft voor het ecosysteem en voor de mens. Het onderzoek richt zich op bermgrond, drainagewater, slootwater, grondwater en de waterbodem.

De volgende onderzoeksvragen zullen worden beantwoord:

1. Wat zijn concentraties rubbergranulaatdeeltjes in grond en waterbodem rondom kunstgrasvelden?
2. In welke mate komen stoffen afkomstig uit rubbergranulaat voor in (grond)water en (water)bodem rondom kunstgrasvelden?
3. Zijn er risico's voor bodem- en waterorganismen?
4. Zijn er risico's voor de mens door consumptie van moestuingewassen die besproeid zijn met slootwater nabij kunstgrasvelden, of door andere blootstellingsroutes via het milieu?
5. Zijn er risico's voor andere dieren dan in water en bodem levende organismen, zoals vogels, en (landbouw)huisdieren?

1.3

Reikwijdte en afbakening onderzoek

Het RIVM heeft de concentraties van een aantal stoffen gemeten rondom 10 kunstgrasvelden met rubbergranulaatkorrels in Nederland. Voor een verkenning, op zoek naar mogelijke effecten, is dit een relatief snelle en kosteneffectieve manier om het onderzoek op te zetten. Dit aantal onderzoeksvelden is voldoende om een indruk te kunnen geven van de aard en hoeveelheid stoffen die rond voetbalvelden met rubbergranulaat gevonden kunnen worden (zie paragraaf 2.1). Afhankelijk van de uitkomsten kan nader onderzoek nodig zijn. Het onderzoek moet primair bijdragen aan het beantwoorden van de maatschappelijke vraag of er milieurisico's kunnen optreden als gevolg van het gebruik van rubbergranulaat als infill-materiaal. Het RIVM heeft niet opnieuw de samenstelling van de rubberkorrels gemeten. De concentraties van stoffen en de variatie daarin is bekend uit het RIVM-onderzoek naar de samenstelling van rubbergranulaat op 100 velden (Oomen et al., 2017).

Het RIVM heeft metingen gedaan in bermgrond en grondwater *naast* en niet *onder* de kunstgrasvelden. De uitloging van stoffen uit het kunstgrasveld **inclusief** de onderlagen, die zich vervolgens via drainagewater en/of grondwater verder kunnen verspreiden, is wel onderzocht. Daarnaast is informatie afkomstig van brancheverenigingen, onderzoeksbureaus en gemeentes over de milieukwaliteit onder en naast kunstgrasvelden in het onderzoek betrokken. Deze gegevens kunnen gebruikt worden om eventuele opvallende stofconcentraties en effecten te verklaren die niet veroorzaakt kunnen zijn door de aanwezigheid van rubbergranulaatkorrels, maar die mogelijk wél te koppelen zijn aan de samenstelling van de ondergrond van de kunstgrasvelden.

Rubbergranulaat bevat honderden verschillende stoffen. Door de selectie van een aantal belangrijke 'gidsstoffen', zoals metalen (onder andere zware metalen zoals zink, kobalt, cadmium), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), minerale oliën en benzothiazolen, werd een verkenning gemaakt van de verspreidingsroutes en milieubelasting van de meest voorkomende stoffen in rubbergranulaat.

Gelijktijdig met het RIVM-onderzoek voerde STOWA een effectgericht onderzoek uit (zie paragraaf 2.5). Dit zorgde ervoor dat de eventuele effecten van onbekende stoffen die in het chemische onderzoek van het RIVM niet zijn meegenomen, via bioassays alsnog worden opgemerkt. Het STOWA-onderzoek borgde hiermee ook het meenemen van mengseltoxiciteit.

Het RIVM geeft in dit onderzoek niet aan hoe de verspreiding van rubberkorrels en van stoffen uit rubbergranulaat kan worden verminderd. Duurzaamheid en hergebruik van afval zijn eveneens relevante milieuaspecten rond het gebruik van rubbergranulaat afkomstig van gebruikte autobanden. Deze aspecten vallen buiten dit onderzoek.

1.4 Relatie milieuonderzoek met andere RIVM-activiteiten

Het huidige verkennende milieuonderzoek is een aanvulling op het RIVM-onderzoek uit 2016 dat zich uitsluitend richtte op de gezondheid van sporters (zie paragraaf 1.1).

Een andere vervolgactiviteit van het 2016-onderzoek is het opstellen van een zogenoemd 'REACH-restrictiedossier'. In 2017 zijn het RIVM en ECHA (European Chemicals Agency) gestart met een restrictievoorstel voor PAK's in rubbergranulaat. Het restrictiedossier dat RIVM en ECHA gaan opstellen, richt zich op het Europees vaststellen van een veiliger norm voor PAK's in rubbergranulaat gebaseerd op gezondheidseffecten. De gezondheid van de sporters heeft hierbij de hoogste prioriteit. Het voorstel richt zich op de PAK's, omdat het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport en het RIVM van mening zijn dat de bestaande wettelijke mengselnorm onvoldoende gezondheidsbescherming biedt als het gaat om het PAK-gehalte in rubbergranulaat. Het doel van het restrictievoorstel is om in de wet kwaliteitsnormen voor granulaat op te nemen die wel voldoende beschermend zijn.

1.5 Kwaliteitsborging

De chemische analyses zijn verricht door geaccrediteerde onderzoeks- en analyselaboratoria (Synlab, TNO en Aquon).

Het RIVM liet zich bij het onderzoek naar rubbergranulaat op kunstgrasvelden adviseren door twee klankbordgroepen: een maatschappelijke en een wetenschappelijke klankbordgroep. De klankbordgroepen hebben beide op verschillende manieren bijgedragen aan de kwaliteit van het onderzoek. Via de maatschappelijke klankbordgroep werden signalen uit het maatschappelijke veld meegenomen in het onderzoek en werd informatie over het onderzoek gedeeld.

De wetenschappelijke klankbordgroep bestond uit vijf experts met uiteenlopende expertises en droeg bij aan de wetenschappelijke kwaliteit en borging van de onderzoeksresultaten. De verslagen van de klankbordgroepen zijn openbaar en zijn op de RIVM-website gepubliceerd. ⁰ geeft de namen van de leden van de wetenschappelijke klankbordgroep en de namen van de leden en organisaties die deel uitmaakten van de maatschappelijke klankbordgroep.

2 Onderzoeksopzet en uitvoering

2.1 Onderzoekslocaties

Er zijn 10 velden geselecteerd waar al langere tijd rubbergranulaat op wordt toegepast. Omdat het praktisch onmogelijk was om alle 2000 velden in Nederland (of een representatieve steekproef daarvan) in dit verkennend onderzoek op te nemen, is bewust gezocht naar een aantal 'worst-case' situaties. Eén van de belangrijkste selectiecriteria was daarom de ouderdom van het veld. Op oudere velden heeft immers al langere tijd uitloging en verspreiding van stoffen plaats kunnen vinden en dit zou dan terug te vinden moeten zijn in (verhoogde) concentraties in de ontvangende milieucompartmenten. Als er, op basis van de gemeten concentraties, bij deze velden geen normoverschrijdingen zijn dan is het aannemelijk dat zich op de overige velden in Nederland (mits vergelijkbaar van opbouw) ook geen overschrijdingen zullen voordoen. Zijn er wél normoverschrijdingen dan kunnen op termijn ook op 'jongere' velden problemen optreden.

Voor de selectie werd in eerste instantie gebruik gemaakt van de data die zijn verzameld van 100 velden in het RIVM-onderzoek uit 2016, toen van die velden de samenstelling van het rubbergranulaat is bepaald.

Primaire selectiecriteria waren:

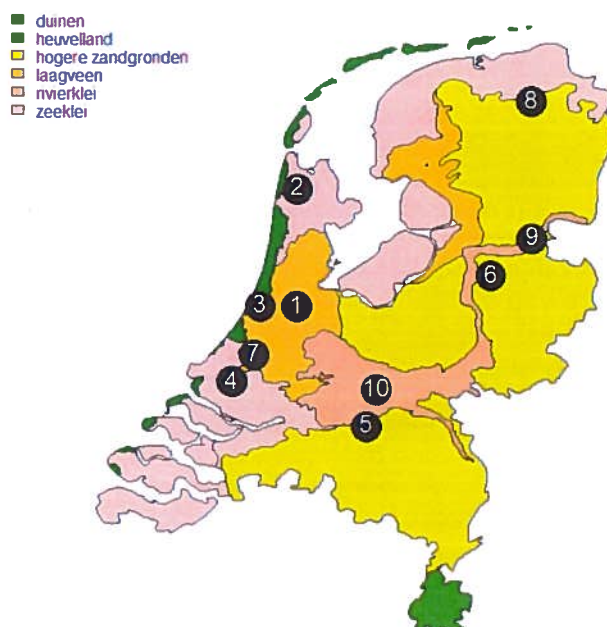
- a. ouderdom (veld aangelegd vóór 2010),
- b. nabijheid van een sloot,
- c. aanwezigheid van een drainagesysteem

Daarnaast werd gestreefd naar een goede representatie van verschillende bodemtypen en een geografische spreiding over verschillende waterschappen. Er is bij de selectie geen rekening gehouden met de aard van sporttechnische onderlaag.

Uit de 100 velden die in het RIVM 2016 onderzoek voorkwamen konden slechts 6 velden worden geselecteerd die én voldoende oud waren én in de nabijheid van een sloot waren gelegen. Daarom zijn er in overleg met waterschappen 4 velden toegevoegd¹, die ook aan bovenstaande selectiecriteria voldeden. De 10 geselecteerde kunstgrasvelden lagen op sportcomplexen waar ook voetbalvelden van echt gras aanwezig waren. Deze echte grasvelden dienden als referentielocaties, die niet zijn belast door het rubbergranulaat van het kunstgrasveld. Per locatie is een bemonsteringsplan gemaakt.

De globale ligging van de 10 geselecteerde velden is weergegeven op het kaartje in Figuur 1.

¹ Van deze velden is de samenstelling van het rubbergranulaat niet bekend. Aangenomen wordt dat de concentraties van stoffen binnen de range ligt van de 100 velden die door RIVM in 2016 zijn onderzocht.



Figuur 1 Globale ligging van de geselecteerde sportcomplexen.

Karakteristieken van de geselecteerde kunstgrasvelden, zoals de aard van de technische steunlaag, de natuurlijke ondergrond, de gemiddelde afstand tot de sloot, het eventuele gebruik van biociden en de diepte van het grondwater waren geen selectiecriteria. Informatie over deze aspecten is tijdens het onderzoek verzameld (zie Tabel 1 en 0) en is betrokken bij de interpretatie van de resultaten. Over biocidengebruik bij kunstgrasvelden is recentelijk een rapport verschenen (de Wit et al., 2018).

Tabel 1 Karakteristieken van de geselecteerde kunstgrasvelden

Nr	Plaatsnaam	Jaar van aanleg	Technische steunlaag	Natuurlijke ondergrond	Gemiddelde afstand tot sloot (m)	Diepte grondwater (cm-mv) ²
1	Uithoorn	2009	Lava	laagveen	21	50-70
2	Schagen	2006	Zand-Steagran ³	zeeklei	12	60-90
3	Lisse	2008	Lava	zand	10	65-80
4	Vlaardingen	2006	Lava- zand	zeeklei	21	60
5	Den Bosch	2008	Betonggranulaat	zand	72	150-160
6	Raalte	2009	Granulight ⁴	zand	26	90-100
7	Zoetermeer	2006	Granulight	laagveen	10	110-190
8	Groningen	1990	Zand-rubber	zand	16	60-90
9	Hardenberg	2009	Lava-zand	rivierklei	9	120-160
10	Tiel	2003	Lava-rubber	rivierklei	8	75-140

² Centimeters beneden maaiveld

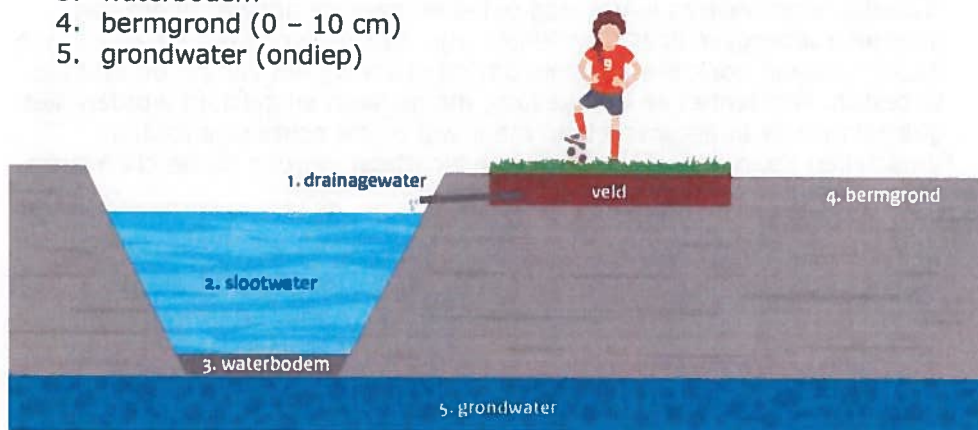
³ Steagran is een handelsnaam van een product dat bestaat uit hoogoven verbrandingsresten.

⁴ Granulight is een handelsnaam van een product dat bestaat uit E-bodemas ook wel ketelzand genoemd (verbrandingsas uit elektriciteitscentrales).

2.2 Monstername

In de periode van 30 januari tot 14 februari 2018 heeft het RIVM in samenwerking met STOWA (zie paragraaf 2.5) op zowel de 10 kunstgrasvelden als op de 10 referentievelden monsters genomen van:

1. drainagewater
2. slootwater
3. waterbodem
4. bermgrond (0 – 10 cm)
5. grondwater (ondiep)



Figuur 2 Dwarsdoorsnede kunstgrasveld met afwatering naar sloot en grondwater.

Omdat concentraties van stoffen in het drainagewater erg beïnvloed kunnen worden door recente regenval of droogte zijn in de periode 12 tot 15 maart 2018 herhalingsmonsters van het drainagewater genomen. Andere compartimenten zijn minder gevoelig voor dergelijk fluctuaties. Tevens is deze extra monstername benut om drainagewatermonsters van het referentieveld te nemen, en minerale olie en opgeloste metalen te analyseren die bij de eerste monsternameronde niet in het pakket voor drainagewater waren opgenomen.

Een gedetailleerd overzicht van de locaties en de monsternamepunten is gegeven in 0. Verdere details van de monstername zijn beschreven in 0.

De bemonsteringsprocedure was afgestemd op de eisen die dit specifieke onderzoek stelde. Deze volgt grotendeels de monsternameprotocollen die het RIVM toepast bij de monitoring van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid. Om locatiespecifiek vast te stellen wat er bij eventuele werkzaamheden rond de velden met partijen grond of bagger dient te gebeuren is aanvullend onderzoek nodig conform de eisen uit het Besluit bodemkwaliteit. Dit valt buiten het doel en de reikwijdte van dit rapport.

2.3 Chemische analyses

2.3.1 Selectie van stoffen

Het is bekend dat rubbergranulaat veel verschillende chemische stoffen bevat (zie 0). Dit onderzoek richt zich op een aantal belangrijke 'gidsstoffen' die kenmerkend zijn voor rubbergranulaat (zie 0) en waarvan bekend is dat deze stoffen schadelijk kunnen zijn voor mens en/of milieu. Kunstgrasdeeltjes (sprietjes of delen daarvan) zijn niet geanalyseerd in dit onderzoek.

Alle monsters zijn geanalyseerd op een standaard metalenpakket met daarin onder andere het voor rubbergranulaat kenmerkende zink, en op benzothiazolen. De aanwezigheid van benzothiazolen kan een aanwijzing zijn voor een milieubelasting door rubber. Alle bermgrond-, waterbodemmonsters en drainagewatermonsters zijn bovendien geanalyseerd op PAK's en minerale olie. Bij de bermgrond- en waterbodemmonsters is ook nog gekeken naar de aanwezigheid van deeltjes rubbergranulaat. Nutriënten zijn meegenomen omdat ze kunnen dienen als een positieve controle om de gevoeligheid van de proefopzet te testen. Nutriënten en ook kalium, magnesium en calcium worden niet gebruikt op de kunstgrasvelden maar wel op de echte grasvelden. Verschillen daarin moeten in principe zichtbaar worden bij de chemische analyses.

In Tabel 2 staan de afzonderlijke geanalyseerde stoffen vermeld. Voor de geselecteerde PAK's geldt dat deze ook in rubbergranulaat zijn aangetroffen in het RIVM-onderzoek uit 2016. Andere PAK-verbindingen die in het meetpakket Besluit bodemkwaliteit of in REACH (bijlage XVII) worden genoemd zijn niet gemeten, omdat die in 2016 niet of nauwelijks in rubbergranulaat zijn aangetroffen.

Tabel 2 Specificatie van de geanalyseerde stoffen

Breed pakket chemie water Cl, NO ₃ , PO ₄ , Al, NH ₄ , Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, SO ₄ , N-totaal, P-totaal, pH, opgeloste organische stof
Breed pakket chemie grond droge stof, Cl, NO ₃ , PO ₄ , Al, NH ₄ , Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, SO ₄ , N-totaal, P-totaal, pH-KCl, pH-H ₂ O, lutum, organische stof
Metalen en metalloiden (alle compartimenten) antimoon, arseen, barium, cadmium, chroom, kobalt, koper, kwik, lood, molybdeen, nikkel, tin, vanadium en zink
Benzothiazolen (alle compartimenten) benzothiazole N-cyclohexyl-2-benzothiazolsulfenamide 2-mercaptobenzothiazole 2,2-dithiobis(benzothiazole) 2-methoxybenzothiazole 2-hydroxybenzothiazole 5,6-dimethyl-1H-benzotriazole 2-aminobenzothiazole benzotriazole N-cyclohexyl-1,3-benzothiazol-2-amine 1-hydroxybenzotriazole tolyltriazole

PAK's (niet in grondwater en slootwater)

antraceen
 benzo(a)antraceen
 benzo(a)pyreen
 benzo(b)fluoranteen
 benzo(ghi)peryleen
 chryseen
 fenantreen
 fluoranteen
 pyreen

Minerale olie (niet in grondwater en slootwater)

Totaal olie C10-C40
 Fractie C10-C12
 Fractie C12-C22
 Fractie C22-C30
 Fractie C30-C40

In de watermonsters zijn de totaalgehalten bepaald. Bij de tweede bemonstering van het drainagewater zijn zowel totaalgehalten als gehalten van opgeloste metalen bepaald. Aanvullend zijn de opgeloste metaalconcentraties ook bepaald in de drainagewater monsters tijdens het uitvoeren van de bioassays in het STOWA onderzoek (zie paragraaf 2.5).

2.4 Analysemethoden

De meeste parameters zijn volgens standaardmethoden geanalyseerd (zie 0).

Voor de rubberkorrels bestaat geen standaardmethode en daarom is door Synlab een analysemethode ontwikkeld. De concentratie van de korrels, in aantal en gewicht, is met behulp van een fysieke scheiding bepaald in de verzamelde grond- en waterbodemmonsters. Omdat deze matrices aanzienlijk van elkaar verschillen zijn er twee verschillende bepalingsmethoden ontwikkeld en toegepast. De methoden zijn gebaseerd op het verschil in dichtheid van de korrels ten opzichte van de organische, respectievelijk, anorganische fractie van de monsters. De korrels zijn na de fysieke scheiding vervolgens gewogen en geteld. Een gedetailleerde beschrijving van de analysemethode is te vinden in 0).

Ook voor benzothiazolen bestaat geen standaard analysemethode. Deze is ontwikkeld door TNO. De bermgrond en waterbodem monsters zijn gevriesdroogd en vervolgens geëxtraheerd met Accelerated Solvent Extraction (ASE). De watermonsters zijn direct geëxtraheerd met dichloormetaan. De geconcentreerde extracten zijn geanalyseerd met vloeistof chromatografie-massa spectrometrie (LC-MS). Een gedetailleerde beschrijving van deze analysemethode is ook te vinden in 0.

2.5 Relatie met STOWA-onderzoek

Parallel aan het RIVM-onderzoek heeft STOWA een onderzoek opgezet om de ecologische effecten van rubbergranulaat nader te beoordelen (Postma et al., 2018). STOWA voerde hiervoor gelijktijdig met het RIVM

en met monsters van dezelfde locaties bioassays uit in drainagewater- en waterbodemmonsters. Bioassays zijn biologische proeven met levende dieren en planten (*in vivo*) of weefsels en cellen (*in vitro*), waarmee de biologische activiteit of toxiciteit van het mengsel aan stoffen kan worden bepaald.

STOWA heeft de volgende bioassays uitgevoerd:

- waterbodem: chronische testen met muggenlarve *Chironomus riparius* en vlokreeft *Hyalella azteca*;
- drainagewater (totaal): chronische test met watervlo *Daphnia magna*;
- drainagewater (extract): diverse acute *in vivo* en *in vitro* bioassays.

De extracten van het drainagewater zijn verzameld door zogenaamde 'passive samplers' die ruim een maand in drainageputten bij de velden hebben gehangen (zie 0). Organische stoffen in het drainagewater hebben de neiging om zich te binden aan polaire of apolaire materialen waaruit de passive samplers bestaan. Metalen hebben geen bindingsaffiniteit met het materiaal van de 'passive samplers'. In het laboratorium worden de geadsorbeerde stoffen met een geschikt oplosmiddel weer uit de 'passive samplers' vrijgemaakt. De verkregen extracten geven een beeld van de gemiddelde concentraties van stoffen in het drainagewater gedurende een langere periode. Deze monsters zijn dus minder afhankelijk van het moment van monsternamen, omdat toevallige fluctuaties ten gevolge van recente neerslag of droogte zijn verdisconteerd. De extracten bevatten geen metalen, maar alleen organische microverontreinigingen zoals PAK' en benzothiazolen.

Details rond de uitvoering van de bioassays en de uitgebreide resultaten staan beschreven in het STOWA-onderzoeksrapport (Postma et al., 2018). De belangrijkste STOWA-resultaten worden besproken in hoofdstuk 4 en worden uiteindelijk in samenhang met de resultaten van het RIVM-onderzoek meegenomen in de eindconclusies.

2.6 Beoordeling van de resultaten

2.6.1 Statistische beoordeling

Bij het beoordelen van de resultaten staat de onderzoeksvraag "Is er een invloed van rubbergranulaat op het milieu?" centraal. Dit houdt in dat verschillen tussen kunstgrasvelden en hun bijbehorende grasveld als referentie belangrijker zijn dan verschillen tussen locaties. Om de onderzoeksvraag te beantwoorden staat een mogelijk oorzakelijk verband met het rubbergranulaateffect voorop. Er is gekozen voor een statistische analyse om de beoordeling zoveel mogelijk objectief en transparant te maken. Daarbij werden de volgende relaties onderzocht:

- 1) Significantie verschillen in stofconcentraties tussen kunstgrasvelden en referentievelden.
- 2) Correlatie tussen gemeten stoffen in milieucompartimenten en stoffen in rubbergranulaatkorrels of daarin voorkomende indicatorstoffen:
 - a. in de bermgrond en de waterbodem: correlatie met stoffen in rubberkorrels;
 - b. in de watermonsters: correlatie met benzothiazolen.

- 3) Correlatie tussen stoffen in drainagewater en stoffen in de sloot (slootwater en waterbodem).

Alle statistische analyses en presentaties zijn uitgevoerd met R software versie 3.4.3 (<https://www.r-project.org/>).

Bij het berekenen van een somwaarde, het rekenkundig gemiddelde en een percentielwaarde van concentraties van rubbergranulaat en van stoffen worden voor de individuele componenten de resultaten die kleiner zijn dan de rapportagegrens⁵ vermenigvuldigd met 0,7, zoals in het Besluit bodemkwaliteit wordt voorgeschreven.

Keuze significantieniveau

In de statistiek wordt de vraag: "Wat is een significant effect?" vertaald in: "Hoe hoog moet de p-waarde zijn?". De p-waarde geeft aan hoe groot de kans is dat een effect aan toeval te wijten is. Bij elke test wordt de p-waarde berekend, hoe kleiner de p-waarde, hoe kleiner de kans dat het bestudeerde effect aan toeval te wijten is. De p-waarde van 0,05 is een arbitraire afkappgrens voor significantie, maar waarden tussen 0,01 en 0,1 worden ook wel toegepast.

Bij een p-waarde van 0,01 is de kans dat een effect ten onrechte als significant wordt beschouwd (vals-positief) zeer klein. Gezien het belang van de bescherming van mens en milieu is het noodzakelijk de kans op vals-negatieven zo klein mogelijk te houden. Bij vals-negatieve effecten wordt ten onrechte een effect over het hoofd gezien. Bij een p-waarde van 0,1 is de kans op vals-negatieven klein.

De p-waarde bij een statistische test wordt beïnvloed door de proefopzet: de omvang van de steekproef (de hoeveelheid locaties), het verwachte effect (verschil tussen referentieveld en kunstgrasveld) en de variatie van het effect tussen de locaties. Het is moeilijker om significante verschillen aan te tonen als de steekproef kleiner is, het effect geringer is en de variatie groter is.

Dit onderzoek heeft een aantal karakteristieken die het rechtvaardigen om de p-waarde van 0,05 niet te strikt te hanteren, en ruimte te geven voor een ophoging naar 0,1, namelijk:

- 1) De steekproef bestaat uit slechts 10 locaties. Vanuit statistisch oogpunt is dit vrij gering.
- 2) De variatie in het effect is vermoedelijk groot.
- 3) Het is een verkennend onderzoek met als doel mogelijke effecten op te sporen. De mate van het effect is onbekend.

In de praktijk is er geen duidelijke grens tussen significante en niet-significante effecten, maar zijn er meer of minder sterke aanwijzingen voor een bepaald effect. De p-waarde geeft aan hoe sterk die aanwijzing is. In dit rapport wordt de p-waarde als getal gerapporteerd, waarbij p-waarden tot een hoogte van 0,1 worden beschouwd als mogelijk significant, dus mogelijk gerelateerd aan of veroorzaakt door rubbergranulaat (zie paragraaf 0).

⁵ De rapportagegrens is het concentratieniveau dat duidelijk kan worden onderscheiden van het achtergrondsignaal (ruis). De concentratie kan betrouwbaar worden gekwantificeerd.

De plausibiliteit van het gevonden verband met rubbergranulaat wordt daarnaast nog vergeleken met wat er verder bekend is over de samenstelling van rubbergranulaat (zie paragraaf 0).

Toetsen verschillen tussen kunstgrasvelden en referentievelden

Per stof. Om te kunnen zien of stofconcentraties bij kunstgrasvelden anders zijn dan bij de gewone grasvelden als referentie is per stof een t-test uitgevoerd, voor alle velden gecombineerd. Voor drainagewater is er een verdelingsvrije methode (Mann-Whitney) gebruikt aangezien de metingen duidelijk niet normaal verdeeld waren. De p-waarde geeft de plausibiliteit aan dat de waargenomen concentratieverschillen een gevolg zijn van het kunstgras. In principe is dan nog niet meteen duidelijk welk aspect van het kunstgrasveld verantwoordelijk is; het rubbergranulaat op het veld of de onderliggende technische steunlaag. Aangezien rubbergranulaat op alle kunstgrasvelden ligt, terwijl de aard van steunlaag verschilt tussen de bemonsterde velden, is het waarschijnlijk dat een significante invloed gerelateerd is aan rubbergranulaat; variatie in de steunlaag zou voor teveel ruis zorgen om een relatie met de steunlaag aan te kunnen tonen. Er kan in deze benadering overigens geen onderscheid gemaakt worden tussen rubber infill en rubbergranulaat dat in de sporttechnische onderlaag is verwerkt. Op twee locaties is rubbergranulaat in de sporttechnische onderlaag verwerkt.

Per veld. Als er uit bovenstaande analyse (per stof) geen algemeen effect van rubbergranulaat volgde, dan is een aanvullende statistische analyse per veld uitgevoerd. Daarbij werd gekeken naar de gelijktijdige verhoging van stoffen die kenmerkend zijn voor rubbergranulaat. Om te kunnen zien op welke locaties er een invloed is van het kunstgrasveld is er per veld en per compartiment een statistische t-test uitgevoerd naar significante verschillen in concentraties.

Correlaties tussen stoffen en rubberdeeltjes

Om verder aannemelijk te maken dat rubbergranulaat de oorzaak is van de concentratieverhoging in een specifiek compartiment is de correlatie van de concentratieverhoging ($C_{\text{kunstgras}}/C_{\text{referentieveld}}$) met de aanwezigheid van rubberdeeltjes en/of benzothiazolen bepaald. Benzothiazolen zijn stoffen die in hoge concentraties aan bandenrubber worden toegevoegd voor de vulkanisatie. Een contaminant die aan benzothiazolen kan worden gerelateerd is een indicatie voor een herkomst uit rubbergranulaat (op of onder het veld). Net als voor de p-waarde geldt overigens dat er geen afkapping is voor een goede correlatie. Hoe hoger de absolute correlatie des te sterker het verband. Correlaties groter dan 0,6 worden in het algemeen als redelijk beschouwd.

2.6.2 *Toetsing aan milieukwaliteitsnormen*

Om de concentratieverhoging van stoffen die veroorzaakt wordt door rubbergranulaat in perspectief te plaatsen is een vergelijking gemaakt met normen. Normtoetsing is gedaan voor stoffen waarvoor de statistische analyses sterke aanwijzingen opleverden voor een significant verband tussen rubbergranulaat en de gevonden concentraties in de verschillende compartimenten. Het onderzoek en de normtoetsing is niet gedaan om de lokale bodemkwaliteit te bepalen. Daarvoor zou naar meer stoffen moeten worden gekeken en zouden, afhankelijk van de

doelstelling, protocollen uit het Besluit Bodemkwaliteit of Wet Bodembescherming moeten worden toegepast.

De risico-index als volgt bepaald:

$$\text{risico} - \text{index} = \frac{\text{gemeten concentratie}}{\text{norm}}$$

Gebruikte normen zijn afkomstig uit Besluit bodemkwaliteit of de Kaderrichtlijn Water (www.rivm.nl/rvs). Voor bodem is de Risicotoolbox Bodem (www.risicotoolboxbodem.nl) gebruikt en voor waterbodem BoToVa 13.0.0. Beide tools passen een bodemtypecorrectie toe, conform het Besluit bodemkwaliteit. Voor droge bodems, zoals de bermgrond, is getoetst aan de Maximale Waarde-Wonen en de Maximale Waarde-Industrie. Voor waterbodems is getoetst aan normen voor verspreiding op aangrenzend perceel (klasse A en klasse B). Sloopwatermonsters zijn getoetst aan de jaargemiddelde KRW milieukwaliteitsnorm (JG-MKN) en de maximum KRW milieukwaliteitsnorm (MAC-MKN).

De normtoetsing van stoffen in de drainagewatermonsters moet beschouwd worden als een indicatieve worst-case beoordeling. Voor drainagewater bestaan geen wettelijke normen; een indicatie van de kwaliteit wordt gegeven door de vergelijking met de maximum KRW milieukwaliteitsnorm (MAC-MKN). Drainagewater heeft op zich geen ecologische waarde en wordt nog verdund als het in de sloot terecht komt. Alleen voor het verklaren van effecten in bioassays met onverdund drainagewater zijn concentraties vergeleken met de JG-MKN. De JG-MKN komt namelijk overeen met het maximaal toelaatbaar risiconiveau (MTR), en dus met de concentratie waarboven effecten zichtbaar kunnen worden.

Voor waterbodems zijn zowel de normen voor de verspreiding van baggerspecie op aangrenzend perceel, als ook normen voor verspreiding van bagger in oppervlaktewater relevant.

Voor PAK's bestaan er individuele normen en een somPAK norm. De somPAK-norm bevat 10 PAK's, waarvan er 8 zijn gemeten. Naftaleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen ontbreken, omdat uit eerder onderzoek naar de samenstelling van rubbergranulaat op kunstgrasvelden (Oomen et al., 2017) bleek dat deze stoffen niet of nauwelijks voorkwamen. In plaats daarvan is pyreen toegevoegd. Hiermee wordt een beter beeld gekregen van de milieubelasting met PAK's door rubbergranulaat. Vanwege het afwijkende stoffenpakket is de toetsing van PAK's indicatief.

Het Besluit bodemkwaliteit kent aan bodem pas een klasse Industrie toe als meerdere stoffen de MW-Wonen overschrijden (zie Regeling bodemkwaliteit artikel 4.10.2 derde lid). Omdat de voorliggende studie niet gaat over het beoordelen van de bodem maar om het beoordelen van het product rubbergranulaat is deze regel niet toegepast.

2.6.3 Actuele risicobeoordeling

Als aan de milieukwaliteitsnormen wordt voldaan is er in principe geen ecologisch risico, risico voor de volksgezondheid of risico's voor de landbouwproductie. De grondslag van de huidige bodemnormen is beschreven in Dirven-Van Breemen et al. (2007) en Min. VROM (2009).

De normen zijn beleidsmatig vastgestelde toetswaarden, die gebaseerd kunnen zijn op de maximaal toelaatbare blootstelling voor de mens, of voor het milieu (meestal de laagste van die twee). Soms is de achtergrondconcentratie als grondslag voor de norm gekozen. Met alleen een normoverschrijding is niet meteen duidelijk of er ook daadwerkelijk nadelige effecten optreden. Daarom wordt bij overschrijding van normen een beoordeling uitgevoerd van de actuele risico's voor mens en ecosysteem.

Met behulp van de Sanscrit-methode (www.risicotoolboxbodem.nl) zijn de actuele ecologische risico's in de bermgrond ingeschat. Voor de actuele gezondheidsrisico's is CSOIL (versie oktober 2010) gebruikt. CSOIL maakt het mogelijk rekening te houden met minerale oliefracties in plaats van een totaal gehalte aan minerale olie (Brand et al., 2007).

Per locatie zijn de actuele ecologische en humane risico's geschat voor de stoffen die toegerekend kunnen worden aan rubbergranulaat. De ecologische effecten worden getoetst aan het middenniveau (wat in de praktijk meestal neerkomt op MW-Wonen). Met Sanscrit 2.0 is de potentieel aangetaste fractie van soorten (PAF) per stof en voor alle stoffen samen (multi-substance PAF = msPAF). Deze berekening is alleen mogelijk voor stoffen waar veel data voor beschikbaar zijn. De mengseltoxiciteit in waterbodems is door STOWA vastgesteld door middel van bioassays en msPAF berekeningen (Postma et al., 2018).

De risico's voor de volksgezondheid zijn berekend voor het CSOIL scenario "Plaatsen waar kinderen spelen". Het gaat hierbij om de blootstelling van kinderen die de bermgrond per ongeluk via de mond binnenkrijgen, bodemdeeltjes of vluchtige stoffen inademen of stoffen opnemen die met de grond op de huid terecht gekomen zijn. Andere scenario's uit CSOIL, zoals 1) Wonen met tuin, 2) Moestuinen, volkstuinen, 3) Landbouw zonder boerderij en erf, 4) Natuur, 5) Groen met natuurwaarden en 6) Ander groen, bebouwing, infrastructuur en industrie, werden niet relevant beschouwd voor de situatie rond (kunst)grasvelden.

3 Resultaten

Analyseresultaten zijn beschikbaar als afzonderlijke Excel-file via de RIVM website (dossier rubbergranulaat). Dit hoofdstuk doet verslag van de statistische beoordeling en toetsing van deze analyseresultaten.

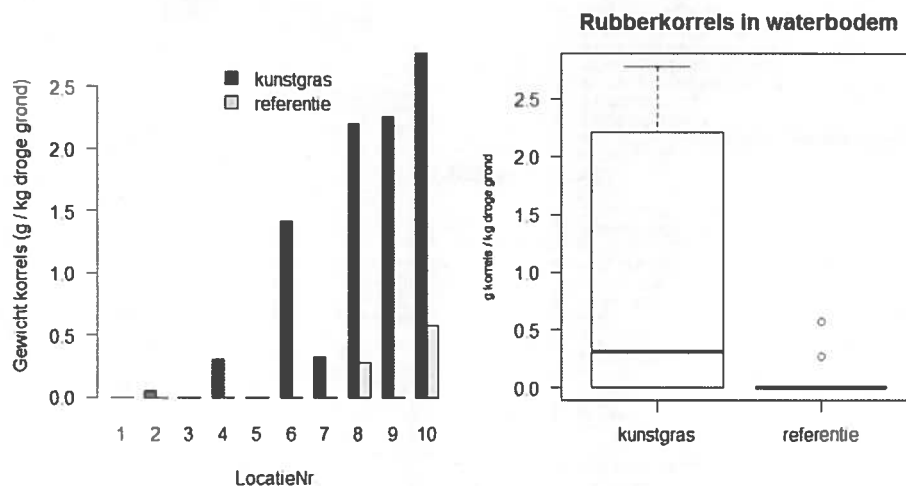
3.1 Bermgrond

3.1.1

Korrels

Figuur 3 geeft de gemiddelde hoeveelheid korrels weer die in de bovenste 10 cm van de bermgrond rondom kunstgras- en referentievelden is aangetroffen. De bermen rondom de geteste kunstgrasvelden bevatten gemiddeld 17 gram rubbergranulaatkorrels per kg droge grond, dit is gemiddeld 4600 korrels per kg droge grond. Het maximum is 35 g/kg. Ook bij de referentievelden zijn kleine hoeveelheden korrels gevonden, gemiddeld 0,22 gram/kg droge grond (220 korrels/kg). Aangezien referentievelden op hetzelfde sportcomplex liggen als de kunstgrasvelden is enige uitloop of verwaaiing van korrels naar nabijgelegen grasvelden te verwachten.

De spreiding tussen de gemeten hoeveelheid korrels op de verschillende locaties is aanzienlijk, wat kan samenhangen met de verschillen in afstand van de monsters tot het veld, de manier waarop het veld wordt onderhouden of eventuele bestrating en beplanting tussen het veld en de bermgrond.

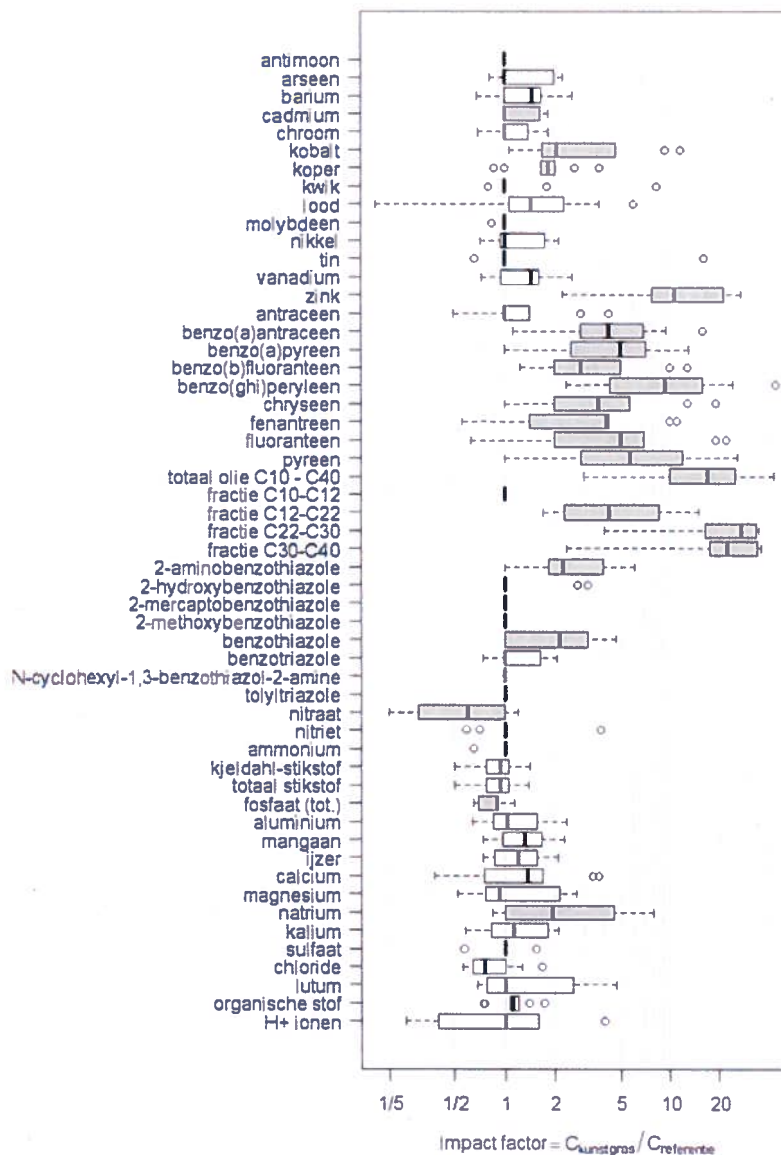


Figuur 3 Rubberkorrels (gram per kilogram droge grond) aangetroffen in de berm rondom 10 kunstgrasvelden en referenties. Links staan de gegevens van de individuele velden, rechts een boxplot⁶ met gegevens van alle velden samen.

⁶ De balken geven de variatie (25-75 percentiel interval, met de mediaan) aan tussen de locaties. De stippellijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval aan.

3.1.2 Stoffen

De aanwezigheid van de korrels resulteert in verhogingen van de concentraties cadmium, kobalt, koper en zink, minerale olie, diverse PAK's en benzothiazolen in de berm van kunstgrasvelden (zie Figuur 4). De hoogste concentratietoenames worden gevonden voor de zwaardere oliefracties (mediaan⁷ factor 20-30), zink (mediaan factor 10) en benzo(ghi)peryleen (mediaan factor 9).



Figuur 4 Overzicht van de impactfactor (de ratio van de concentratie bij het kunstgrasveld ten opzichte van de eigen referentie) voor 10 kunstgrasvelden met rubbergranulaat op de concentraties van stoffen in de berm langs sportvelden. Grijze balken accentueren stoffen waarvoor er mogelijk een oorzakelijk verband is met het kunstgrasveld ($p < 0,1$).

⁷ In de statistiek is de mediaan het midden van een verdeling of gegevensverzameling

Voor andere stoffen worden slechts op enkele meetlocaties hogere concentraties aangetroffen in de berm rondom het kunstgrasveld. Er is niet aangetoond dat die een relatie hebben met het kunstgrasveld.

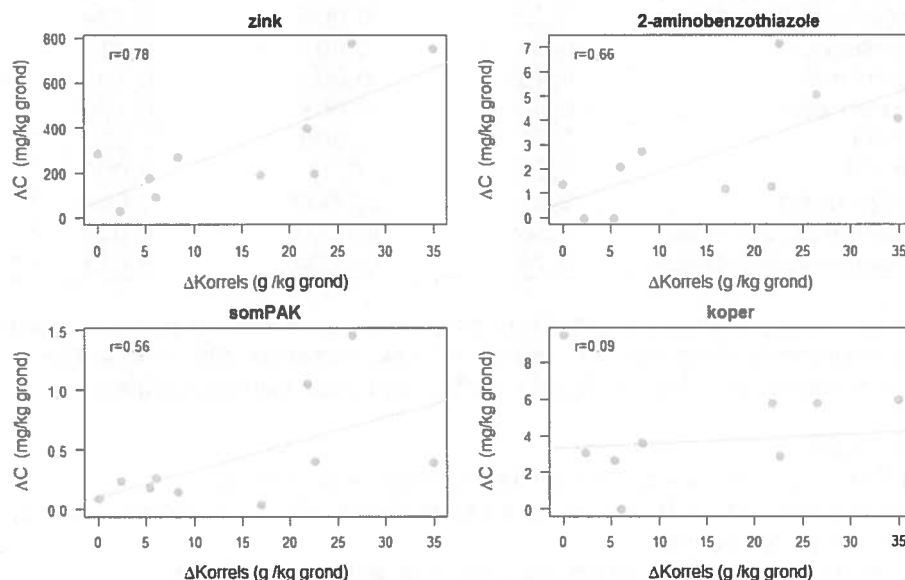
In de bermgrond rondom kunstgrasvelden zijn significant lagere nitraat- en fosfaatconcentraties aangetroffen dan bij de echte grasvelden. Dit is verklaarbaar doordat deze stoffen toegepast worden om grasvoetbalvelden te bemesten. Significant hogere natriumconcentraties bij de kunstgrasvelden zijn mogelijk een gevolg van het gebruik van zout tegen algen of als strooizout. Deze waarnemingen kunnen gezien worden als positieve controles die bevestigen dat de proefopzet voldoende gevoelig is om verschillen tussen velden te toetsen. De p-waarden voor de afzonderlijke stoffen zijn terug te vinden in 0.

3.1.3

Correlaties

Met een lineaire regressie (zie Figuur 5) kan de samenhang (correlatie) tussen korrel- en stofconcentraties worden aangetoond. Als de helling van de regressielijn significant groter is dan 0 dan is dat een indicatie voor een verband tussen rubberkorrels en concentratietoename van stoffen in de bermgrond bij kunstgrasvelden.

De helling geeft aan in welke mate de stofconcentratie in de bermgrond is toegenomen per gram rubbergranulaat; m.a.w. de helling geeft aan wat het gehalte van deze stoffen in rubbergranulaat gemiddeld zou moeten zijn. De geschatte gehalten (helling) liggen in dezelfde ordegrootte als de gehalten in rubbergranulaat die in andere studies zijn bepaald (zie Tabel 3 en 0).



Figuur 5 Correlatie (r) en regressie(lijn): voorbeelden van een zeer goede (zink), een goede (2-aminobenzothiazole), een matige (somPAK) en een slechte (koper) correlatie tussen het aantal rubberkorrels in bermgrond en de concentratie van enkele stoffen.

Tabel 3 geeft de correlaties tussen de concentratie van de korrels in de berm en concentratieverandering van stoffen in de bermgrond tussen

het kunstgrasveld en het referentieveld. Er is een redelijke correlatie ($r > 0,6$) voor cadmium, kobalt, zink, enkele PAK's, minerale olie en enkele benzothiazolen, wat verklaarbaar is uit de samenstelling van de korrels. Opvallend genoeg is er een slechte correlatie tussen concentraties van koper en de concentratie rubberkorrels. Koper komt namelijk wel in rubbergranulaat voor (zie 0). De statistische analyse laat echter zien dat een oorzakelijk verband tussen de verhoogde koperconcentraties en rubbergranulaat onwaarschijnlijk is. Voor de overige parameters is er eveneens geen goede correlatie gevonden.

*Tabel 3 Correlatiecoëfficiënt (r) en regressie (helling) van de concentratie rubberkorrels met de concentratietoename van stoffen in bermgrond bij kunstgrasvelden. Significantie ** zeer goed ($p < 0,01$), * goed ($p < 0,05$), . matig ($p < 0,1$). De helling geeft schatting weer van de gemiddelde samenstelling van het rubbergranulaat op de velden.*

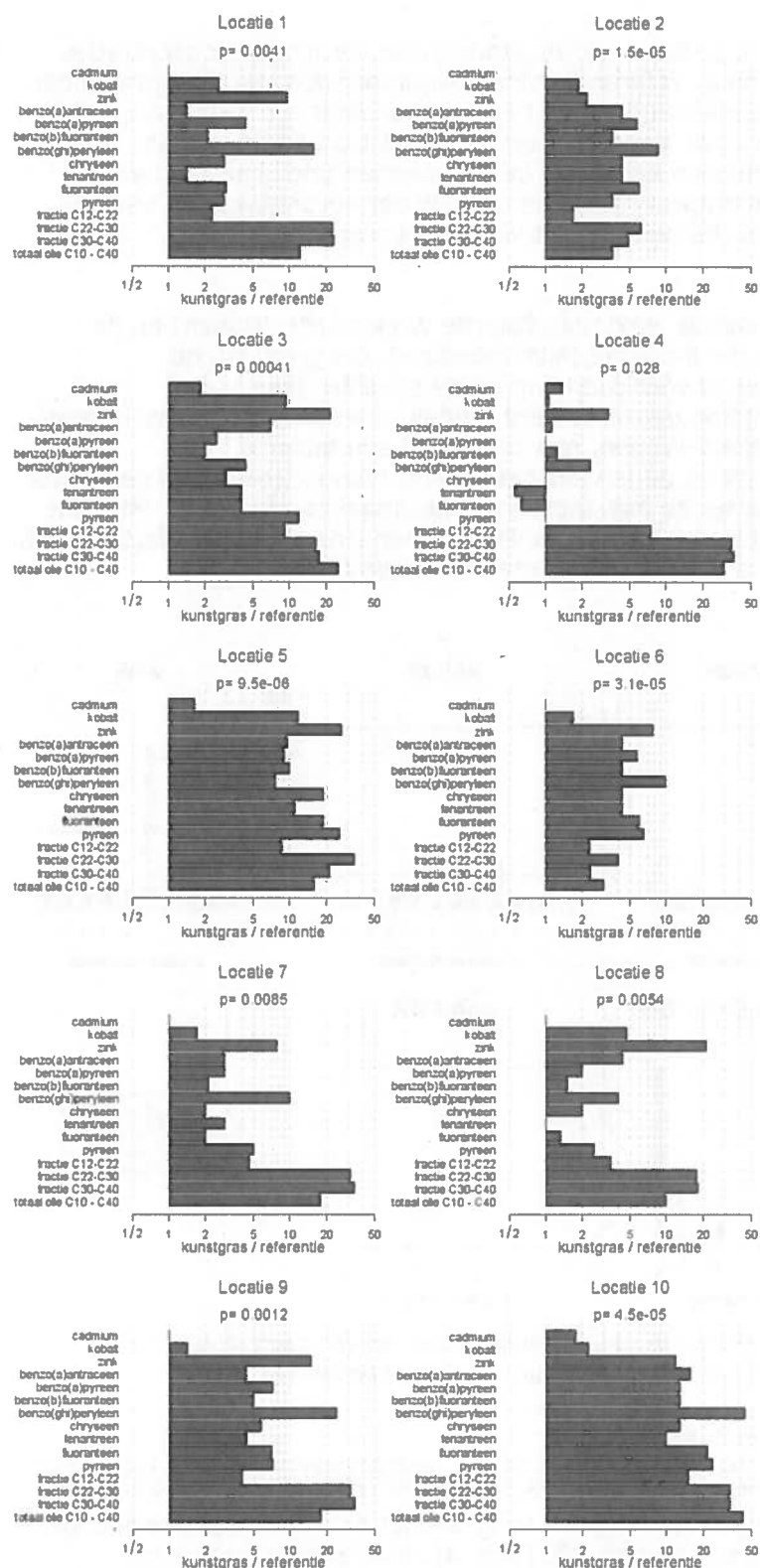
Stofnaam	r	helling [mg/g rubberkorrels]	p-waarde	
cadmium	0,82	0,004	0,005	**
kobalt	0,64	0,35	0,045	*
koper	0,09	0,03	0,80	
zink	0,78	17,1	0,008	**
fractie C12-C22	0,70	0,88	0,024	*
fractie C22-C30	0,67	4,38	0,035	*
totaal olie C10-C40	0,62	8,80	0,057	.
benzo(a)antraceen	0,59	0,003	0,070	.
benzo(a)pyreen	0,48	0,002	0,156	
benzo(ghi)peryleen	0,61	0,004	0,062	.
benzo(b)fluoranteen	0,52	0,004	0,124	
chryseen	0,54	0,002	0,110	
fenantreen	0,45	0,001	0,191	
fluoranteen	0,52	0,005	0,125	
pyreen	0,71	0,008	0,022	*
somPAK	0,56	0,02	0,090	.
benzothiazol	0,81	0,0007	0,005	**
2-aminobenzothiazol	0,66	0,0001	0,038	*
2-hydroxybenzothiazol	0,74	0,0004	0,013	**

Uit de t-tests (paragraaf 3.1.2) en de correlaties in deze paragraaf wordt geconcludeerd dat cadmium, kobalt en zink, minerale olie, enkele PAK's en benzothiazolen kenmerkende stoffen zijn voor rubbergranulaat.

3.1.4 Per locatie

In Figuur 6 is te zien dat de set kenmerkende stoffen uit rubbergranulaat op 9 van de 10 locaties significant is verhoogd. Locatie 4 is een uitzondering.

Op locatie 4 is de bermgrond van het referentieveld relatief verontreinigd. De milieukwaliteit van bermgrond op deze locatie voldoet wel aan de Maximale Waarde Wonen. Het is mogelijk dat bij aanleg van het kunstgrasveld grond is verwijderd en vervangen door grond van een andere kwaliteit. Bij de interpretatie van de resultaten van locatie 4 (ook bij de andere compartimenten) moet rekening worden gehouden met het feit dat locatie 4 een minder goede controlelocatie heeft.

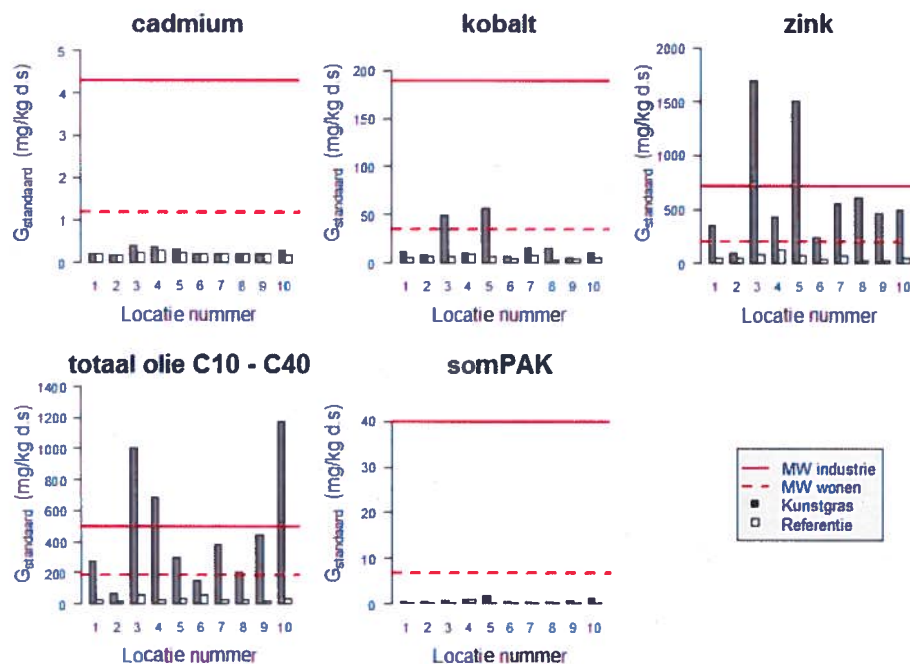


Figuur 6 Locatiespecifieke impactfactoren van stoffen in bermgrond die geassocieerd kunnen worden met rubbergranulaat.

3.1.5 Normtoetsing

Normtoetsing is gedaan voor de stoffen met verhoogde concentraties ten opzichte van de referentievelden, waarvoor dus sterke aanwijzingen bestaan dat ze afkomstig zijn uit rubbergranulaat. Op basis van de waarnemingen in de vorige paragraaf zijn dat cadmium, kobalt, zink, PAK's, minerale oliën en enkele benzothiazolen (zie Figuur 7). Voor benzothiazolen ontbreken normen om de bermgrondkwaliteit aan te kunnen toetsen. Hetzelfde geldt voor de concentratie van rubberdeeltjes.

Er is getoetst aan de Maximale Waarde Wonen (MW-Wonen) en de Maximale Waarde Industrie (MW-Industrie). Op geen van de kunstgrasvelden is voor cadmium en de somPAK geen normoverschrijding geconstateerd. Kobalt overschrijdt op twee locaties de Maximale MW-Wonen, met maximaal een factor 6. Zink overschrijdt op negen locaties de MW-Wonen (maximaal een factor 8) en op 2 locaties de MW-Industrie (maximaal een factor 2). Minerale olie overschrijdt op 8 locaties de MW-Wonen (maximaal een factor 6) en op 3 locaties de MW-Industrie (maximaal een factor 2-3).



Figuur 7 Vergelijking van concentraties in bermen van sportvelden (na bodemtypecorrectie) met normen uit het Besluit bodemkwaliteit.

3.1.6 Actuele risicobeoordeling

Een overzicht van de risico-indexen is weergegeven in Tabel 4 en Tabel 5. De risico-index (ecologie) is op 9 van de 10 locaties voor tenminste een stof groter dan 1, hetgeen aangeeft dat het Maximaal Toelaatbaar Risico wordt overschreden (zie Tabel 4). Voor zink en kobalt kon vervolgens berekend worden wat de invloed is op het ecosysteem. De potentieel door zink aangetaste fractie van soorten (PAF) in de bermgrond van de 10 kunstgrasvelden varieert van 0 tot 46%. Bij de

hogere concentraties heeft zink heeft dus een grote invloed op de ecologische status van de bermgrond en het ecologisch functioneren ervan.

Op de referentielocaties zijn er geen ecologische effecten van zink, kobalt en minerale olie te verwachten. De msPAF voor kobalt en zink is bij de bermgrond van de referentievelden gelijk aan 0.

Tabel 4 Ecologische risico-indexen (berekend met Risicotoolbox) en de msPAF (berekend met Sanscrit) van bermgronden bij kunstgrasvelden. Bij een risico-index van groter dan 1 (vet gedrukt) zijn er risico's voor het ecosysteem te verwachten. PAF= potentieel aangetaste fractie van soorten.

Locatie	Risico-index			Sanscrit msPAF
	som olie	kobalt	zink	zink+kobalt
1	1,42	0,32	1,72	8
2	0,34	0,23	0,43	0
3	5,26	1,41	8,49	46
4	3,62	0,3	2,13	12
5	1,56	1,63	7,54	44
6	0,78	0,18	1,18	3
7	2,02	0,42	2,74	16
8	1,08	0,44	3,02	5
9	2,35	0,15	2,28	13
10	6,19	0,28	2,49	14

Er zijn geen onaanvaardbare gezondheidsrisico's voor spelende kinderen op bermgrond bij kunstgrasvelden: alle berekende risico-indices zijn beduidend (minstens factor 50) kleiner dan 1.

Tabel 5 Volksgezondheidsrisico's (risico-index berekend met CSOIL) voor het scenario 'Plaatsen waar kinderen spelen' in de bermgronden bij kunstgrasvelden.

Locatie	Kobalt	Zink	Minerale olie
1	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00
3	0,01	0,00	0,01
4	0,01	0,00	0,01
5	0,02	0,00	0,01
6	0,00	0,00	0,00
7	0,01	0,00	0,01
8	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,01
10	0,01	0,00	0,01

In de bermgrond op de 10 velden wordt maximaal 35 gram rubberkorrels per kg grond aangetroffen; dat is 3,5%.

Er zijn slechts beperkte studies waarin het effect van rubberkorrels op bodemorganismen is onderzocht. Uit een studie naar de toxiciteit van rubbergranulaat in een mengsel van 50% compost en 50% rubbergranulaat (Pochron et al., 2017) blijkt dat:

- 1) blootstelling aan korrels geen invloed had op de overleving van regenwormen;

- 2) blootstelling aan korrels geen invloed had op stress respons van regenwormen;
- 3) blootstelling aan korrels geen effect had op de bodemademhaling.
- 4) blootgestelde wormen 14% zwaarder waren dan niet-blootgestelde wormen.

Het directe effect (deeltjestoxiciteit) van de hoeveelheid rubberkorrels op regenwormen is naar verwachting verwaarloosbaar.

3.1.7 *Conclusies bermgrond*

Het gebruik van rubbergranulaat op kunstgrasvelden heeft op alle 10 de locaties geleid tot duidelijk verhoogde concentraties kobalt, zink en minerale olie in de bermgrond. Ook PAK's en enkele benzothiazolen zijn frequent verhoogd. De toename is te verklaren uit de hoeveelheid rubberkorrels die is aangetroffen in de bermgrond. Het is niet bekend of de stoffen nog aan de rubber matrix gebonden zijn en wat de biobeschikbaarheid van de stoffen is. Van zink is bekend dat het uit de rubbermatrix loskomt, en dus beschikbaar wordt voor organismen, als het in contact komt met water. De toename van de concentraties kobalt, zink en/of minerale olie leidt op negen locaties tot overschrijding van de MW-Wonen en op 4 locaties tot overschrijding van de MW-Industrie. Dat betreft locaties 3, 4, 5 en 10. Er zijn geen onaanvaardbare risico's voor spelende kinderen die grond met korrels via de mond binnen krijgen, deeltjes inhaleren of deeltjes op hun huid krijgen. Er zijn wél ecologische risico's te verwachten. Het aantal soorten organismen in de bermgrond dat negatieve effecten ondervindt wordt geschat op gemiddeld 16% (maximaal 46%) als gevolg van blootstelling aan zink en kobalt. Het additionele effect van minerale olie op de ecologie is onbekend omdat hiervoor onvoldoende toxiciteitsdata beschikbaar zijn.

Grond die voldoet aan de MW-Industrie mag conform het Besluit bodemkwaliteit worden hergebruikt op locaties met een vergelijkbare kwaliteit en bestemmingen als openbaar groen, bermen en ook sportterreinen. Het gaat dan om groen met 'weinig ecologische waarde' (zie Min. VROM, 2009). Op de 4 locaties waar de MW-Industrie wordt overschreden is de kwaliteit van de grond dus in principe slechter dan gezien de gebruiksfunctie gewenst is. Dit betekent op zich niet dat om milieuhygiënische redenen sanering noodzakelijk is. Voor historische bodemverontreiniging geldt de Circulaire Bodemsanering (Min. IenM, 2013). Hierin is een systematiek opgenomen om vast te stellen of er actuele ecologische risico's zijn. Bij dit gebiedstype moet er dan minstens 5.000 m² onverhard terrein zijn verontreinigd met relatief hoge concentraties (hoge 'Toxische Druk' (TD)). Om te kunnen bepalen of hieraan wordt voldaan zijn veel meer analyseresultaten op verschillende afstanden van het veld nodig, zodat verontreinigingscontouren met een bepaalde TD kunnen worden bepaald. Dit vereist dus nader onderzoek. In dit geval gaat het echter om een nieuwe verontreiniging (na 1987) en dan is de Circulaire Bodemsanering niet van toepassing, maar geldt de zogenaamde 'zorgplicht': als iemand de bodem verontreinigt, is deze verplicht die verontreiniging weer op te ruimen.

3.2 Drainagewater

De totaalgehalten van metalen in de twee bemonsteringsrondes zijn zeer goed vergelijkbaar. De correlatie tussen de eerste en tweede bemonsteringsronde is 0,983 (zie figuur in 0). Omdat bij de eerste bemonsteringsronde geen referentievelden zijn bemonsterd, is de verdere beoordeling van de resultaten gebaseerd op metingen van de tweede bemonsteringsronde. De beoordeling heeft betrekking op de resultaten van zeven locaties (nrs. 1, 2, 3, 5, 7, 8, en 10). Van locatie 4 ontbreekt het referentiemonster voor de chemische analyses⁸, locatie 6 had een drainagesysteem waar water van kunstgras en echt gras werd samengevoegd, en op locatie 9 werd geen drainagesysteem aangetroffen.

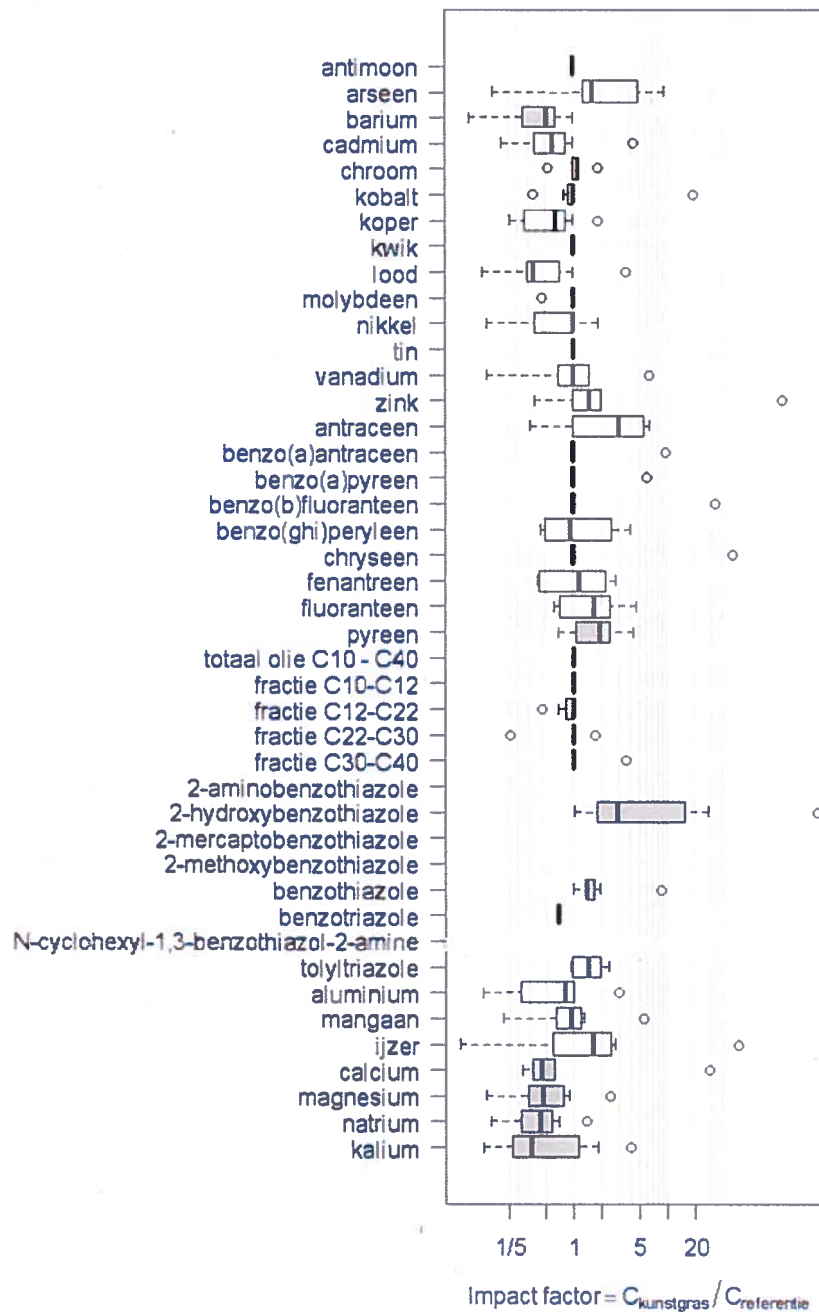
3.2.1 Per stof

Op basis van de metingen op alle 10 locaties worden voor metalen en minerale olie, en de meeste PAK's⁹ in het drainagewater geen verhoogde concentraties gevonden (zie Figuur 8).

Pyreen, benzothiazol en 2-hydroxybenzothiazolconcentraties zijn wel significant verhoogd, hetgeen duidt op een invloed van rubbergranulaat. Voor barium, calcium, magnesium, kalium en natrium zijn de concentraties in het drainagewater bij de kunstgrasvelden veelal lager dan bij de referentievelden. Calcium, magnesium en kalium worden toegepast als meststoffen op gras en dat verklaart de hogere concentraties in drainagewater bij referentievelden. Voor de hogere natriumconcentraties is geen verklaring gevonden; in bermgrond was natrium juist hoger bij het kunstgrasveld. De p-waarden voor de afzonderlijke stoffen zijn terug te vinden in 0.

⁸ In de eerste bemonsteringsronde is op alle locaties alleen het drainagewater van het kunstgrasveld bemonsterd voor chemische analyse. Er zijn wel monsters genomen voor bloassays (zie paragraaf 4.2). In de tweede bemonsteringsronde is het om logistieke redenen niet gelukt een monster bij het referentieveld op locatie 4 te nemen.

⁹ PAK's en benzothiazolen zijn in het drainagewater bepaald door middel van passieve sampling en reflecteren de gemiddelde concentratie over een periode van circa 5 weken.



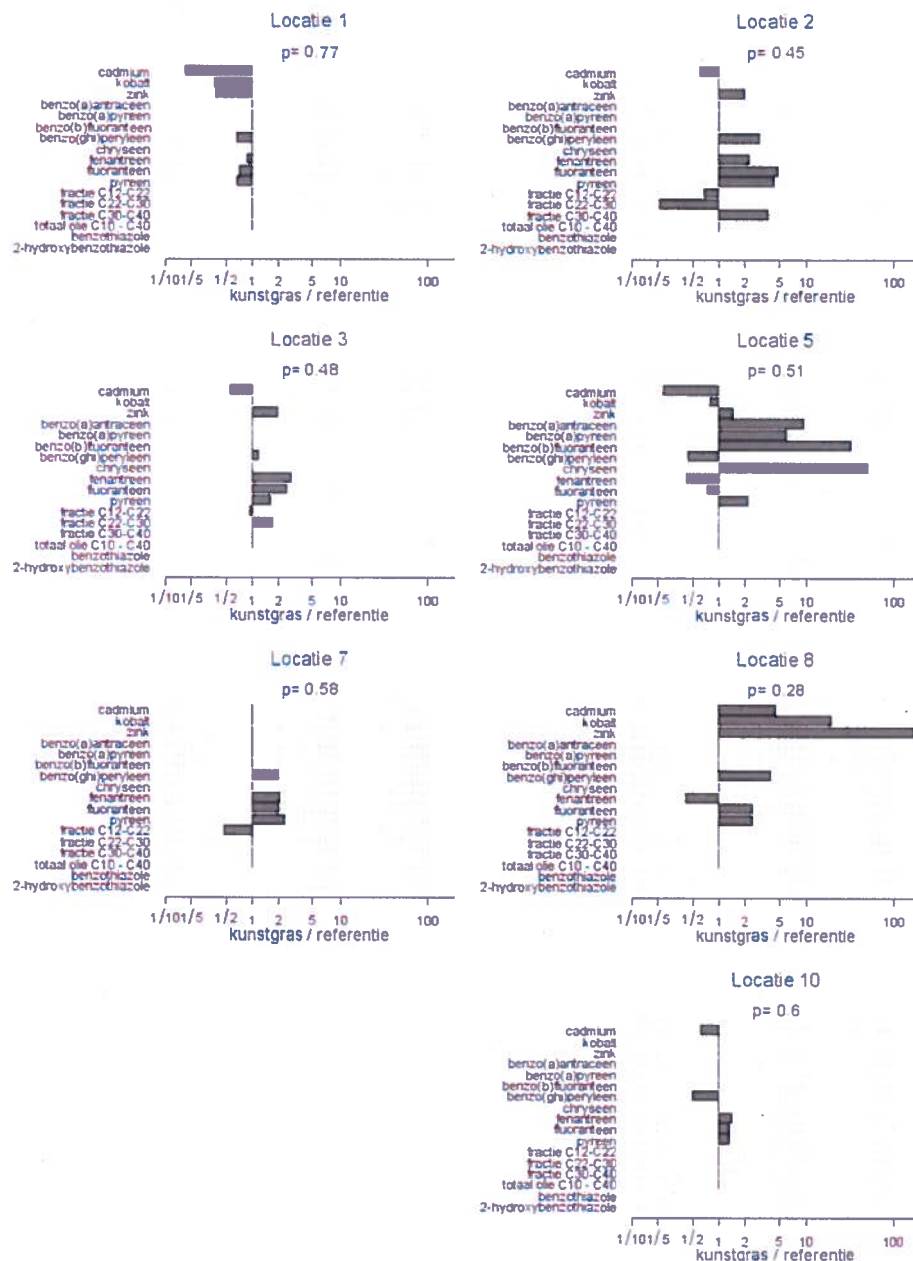
Figuur 8 Overzicht van de impact van 10 kunstgrasvelden met rubbergranulaat op de samenstelling van het drainagewater. Op de X-as staat de ratio van de concentratie bij het kunstgrasveld ten opzichte van de eigen referentie. Grijze balken accentueren stoffen waarvoor er mogelijk een oorzakelijk verband is met het kunstgrasveld ($p < 0,1$).

3.2.2 *Per locatie*

Op individuele locaties zijn wél verhoogde concentraties van PAK's en metalen in het drainagewater gevonden (Figuur 9). De vraag is wat de specifieke omstandigheden zijn op de betreffende locaties die de verhoogde concentraties kunnen verklaren. Op sommige locaties is sprake van een mogelijke invloed van het kunstgrasveld, maar dat vereist een locatiespecifieke beoordeling, waarbij gekeken wordt naar de gelijktijdige verhoging van metalen, benzothiazolen, PAK's en de minerale oliefracties.

De gelijktijdig verhoogde concentraties cadmium, kobalt, en zink in het drainagewater bij kunstgras op locatie 8 zijn een sterke aanwijzing dat er een invloed is van het kunstgrasveld of van rubbergranulaat. Andere metalen die niet direct met rubberkorrels konden worden geassocieerd worden echter ook in verhoogde concentraties in het drainagewater van locatie 8 aangetroffen. Dat betreft arseen, lood, nikkel en vanadium. Mogelijk dat die uit de onderlaag van het kunstgrasveld afkomstig zijn. Op andere locaties is dat niet waargenomen. Mogelijk is op locaties 2, 3 en 5 ook een effect van rubbergranulaat waarneembaar, vanwege de verhoogde zinkconcentraties in combinatie met verhoging van enkele PAK's en minerale olie fracties. Statistisch kan dit verband niet worden aangetoond.

De hoge concentraties van metalen in het drainagewater van locatie 8 zijn bevestigd door eerder uitgevoerde metingen van de Gemeente Groningen en Waterschap Noorderzijlvest (de Vries en van der Maas, 2018). Met 28 jaar behoort locatie 8 tot de oudste velden in Nederland. De ouderdom van het veld in combinatie met de aanwezigheid van rubber onder het veld zou een mogelijke oorzaak voor de zeer hoge concentraties (totaal zink circa 7000 µg/L, opgelost zink 670 µg/L) kunnen zijn. Het veld is aangelegd in 1990 en in 2008 gerenoveerd. De technische onderlaag is toen blijven liggen. In een periode van 28 jaar kan de adsorptiecapaciteit van de zand/rubberlaag verzadigd zijn, waardoor de stoffen nu "doorbreken" naar het drainagewater. Andere bronnen die de hoge concentraties in het drainagewater kunnen verklaren zijn niet gevonden.



Figuur 9 Locatiespecifieke impactfactoren van stoffen in drainagewater die geassocieerd kunnen worden met rubbergranulaat. De figuur heeft betrekking op totaal gemeten concentraties in ongefilterde monsters.

3.2.3

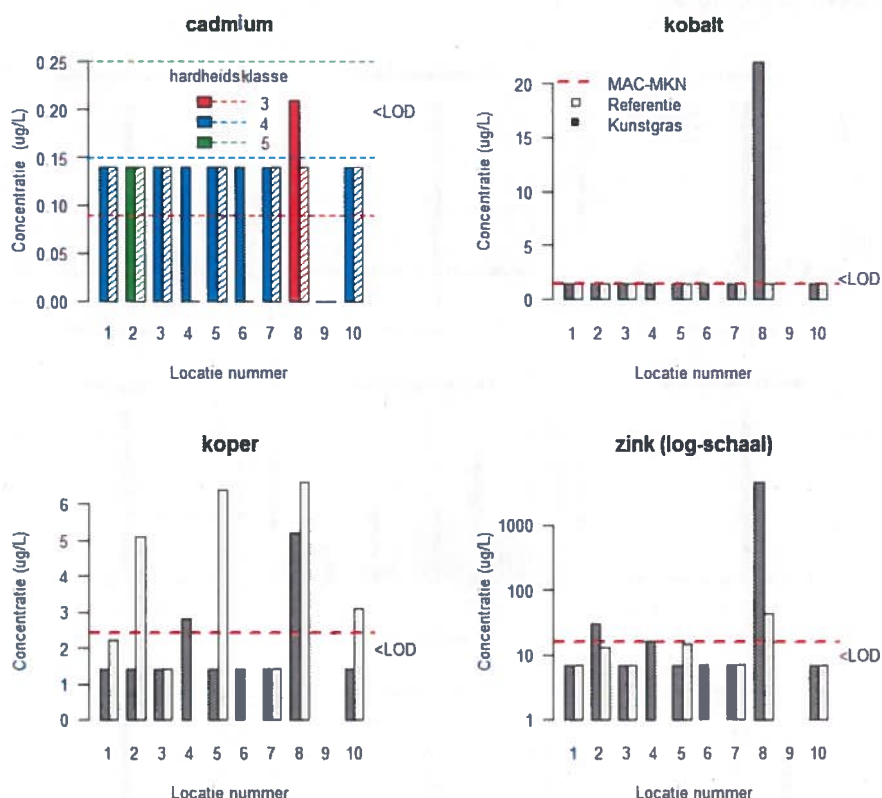
Normtoetsing

Wettelijke normen voor drainagewater bestaan niet. Het bevoegd gezag mag echter eisen stellen aan de kwaliteit van het geloosde water. Het ligt voor de hand om te toetsen aan oppervlaktewaternormen, zoals de maximum aanvaardbare milieukwaliteitsnorm (MAC-MKN) en niet aan de jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm (JG-MKN). Drainagewater komt immers discontinu vrij en wordt verdund in het slotwater. Daarnaast kan het bevoegd gezag rekening houden met het feit dat ook andere

bronnen op het oppervlaktewater lozen en dus een strengere eis stellen dan de wettelijke norm voor oppervlaktewater. Anderzijds is het mogelijk dat er rekening wordt gehouden met verdunning van drainagewater in een stromend oppervlaktewater. De hier getoonde toetsing is daarom indicatief en gaat uit van de maximaal aanvaardbare concentratie (MAC-MKN). De normtoetsing voor metalen gaat uit van opgeloste concentraties (na filtratie).

Voor zink zijn overschrijdingen van MAC-MKN te vinden, namelijk bij locatie 2 en 8. Opvallend zijn de hoge normoverschrijdingen op locatie 8 voor zink (meer dan 250 x MAC-MKN) en kobalt (15 x MAC-MKN).

Voor cadmium is de norm die gehanteerd moet worden afhankelijk van de hardheid van het water. De meeste locaties vallen in hardheidsklasse 4, locatie 8 valt in hardheidsklasse 3 en locatie 2 valt in hardheidsklasse 5. Alle monsters blijven onder de MAC-MKN voor cadmium



Figuur 10 Vergelijking van opgeloste concentraties in drainagewater van sportvelden met normen voor het oppervlaktewater. Gesloten balken geven kunstgras weer, de open of gearceerde balken het referentieveld.

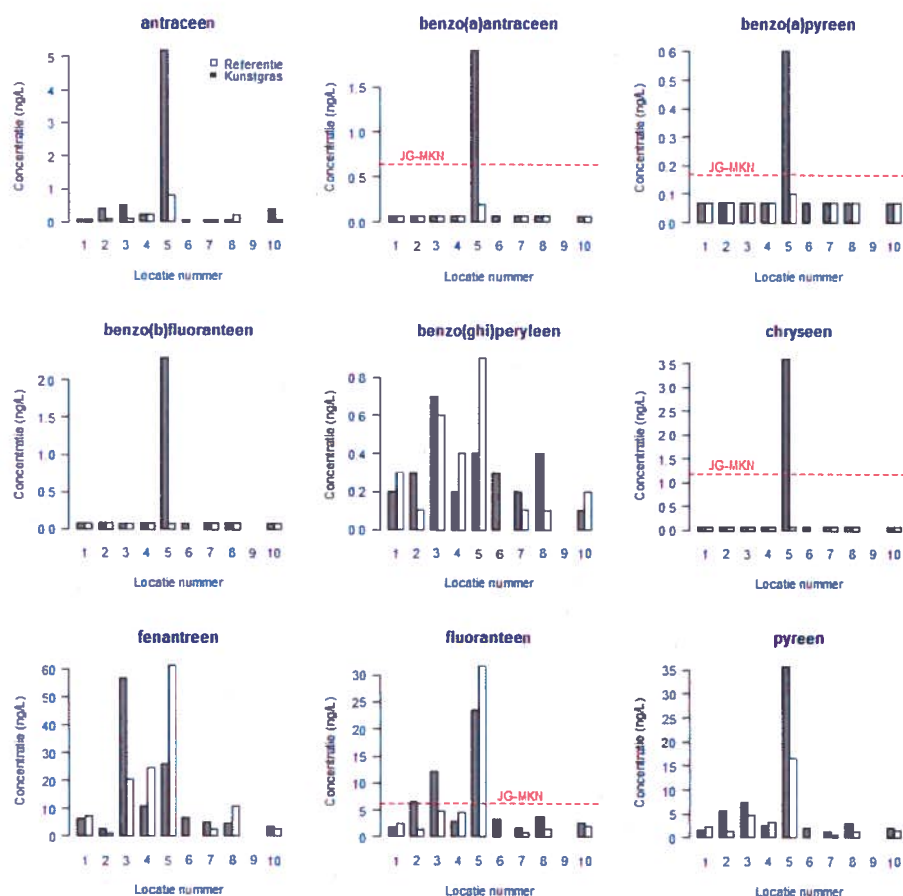
Ook voor koper wordt de MAC-MKN overschreden, maar dat is vooral het geval in het drainagewater van de echte grasvelden. Dit duidt erop dat rubbergranulaat geen belangrijke bijdrage levert aan de verspreiding van koper in het milieu. Dit werd ook al geconstateerd naar aanleiding van de slechte correlatie tussen de toename van de koperconcentraties

in de bermgrond bij kunstgrasvelden en de concentratie rubberkorrels (zie paragraaf 3.1.3).

Er zijn geen normen voor minerale olie in drainagewater of oppervlaktewater, alleen voor grondwater. De grondwater streefwaarde voor opgeloste minerale olie is 50 µg/L. De totale minerale olie concentratie in het drainagewater bleef op alle locaties onder deze streefwaarde.

Voor somPAK bestaat geen waterkwaliteitsnorm, voor individuele PAK's wel. Op alle locaties blijven de PAK-concentraties in drainagewater ver onder de MAC-MKN voor PAK's in zoet oppervlaktewater (zie Figuur 11), wel wordt incidenteel de JG-MKN overschreden.

De normtoetsing is indicatief, omdat de normen bedoeld zijn om de oppervlaktewaterkwaliteit te toetsen. In hoofdstuk 4 worden de resultaten vergeleken met de uitkomsten van de bioassays uit het STOWA onderzoek.



Figuur 11 Concentratie PAK's in drainagewater van sportvelden [ng/L]. Bij stoffen waar geen JG-MKN is ingetekend valt hij buiten de schaal. De MAC-MKN is in alle gevallen veel hoger dan de hoogst gemeten waarde en is daarom niet in de figuur aangegeven.

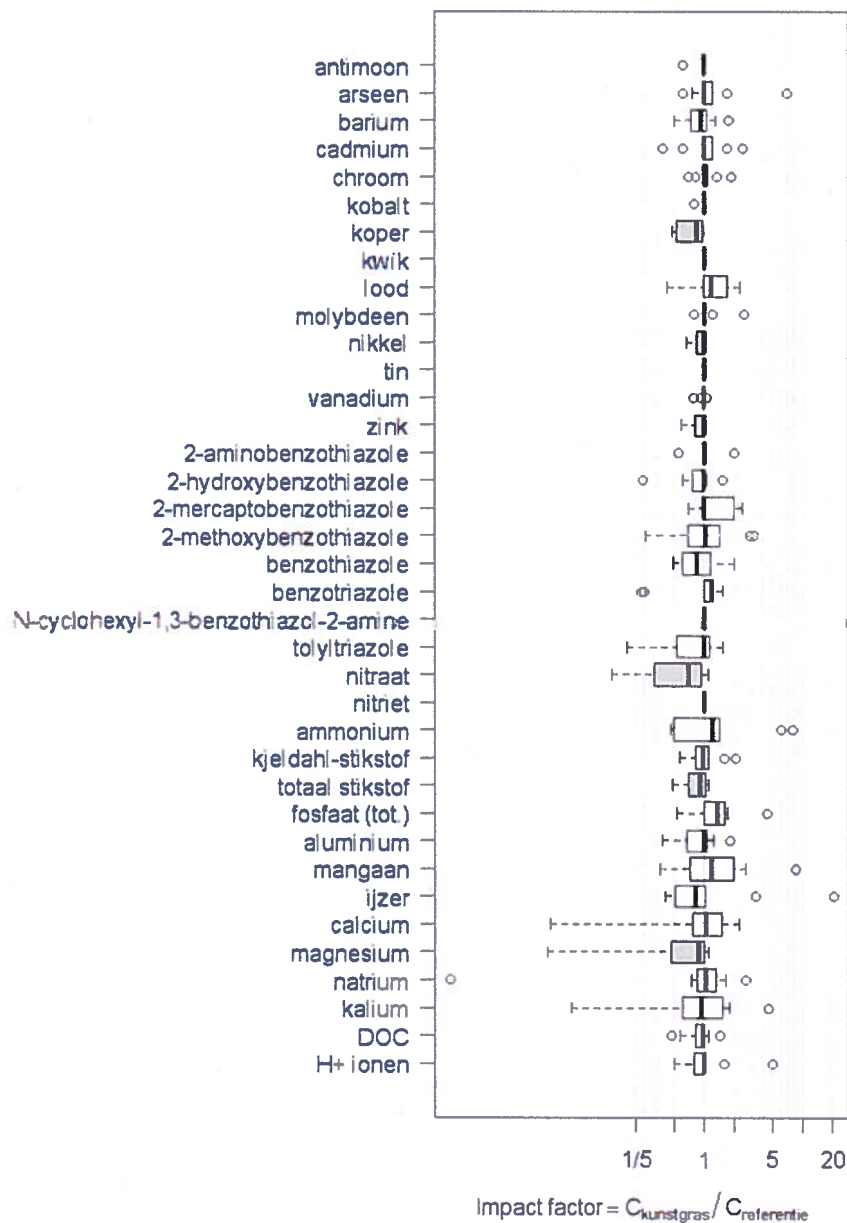
3.2.4 *Conclusies drainagewater*

Er zijn sterke aanwijzingen dat rubbergranulaat (op het veld en onder het veld in de technische onderlaag) invloed heeft op het drainagewater. Uit de chemische analyses blijkt dat benzothiazol en 2-hydroxybenzothiazol significant hogere concentraties hebben in drainagewater bij kunstgrasvelden. Op locatie 8 zijn zinkconcentraties 200x hoger en kobaltconcentraties meer dan 10x hoger dan bij het referentieveld. Waterbeheerders zijn vrij om normen te stellen aan water dat geloosd wordt op oppervlaktewater. Indicatieve toetsing van drainagewater aan de MAC-MKN in het oppervlaktewater wijst bij locatie 8 op overschrijding van een factor van 250 voor zink en meer dan voor 15 voor kobalt. Op basis van de impactfactoren wordt ingeschat dat ook op de locaties 2, 3 en 5 het drainagewater belast wordt door uitloging van rubbergranulaat. Op locatie 2 leidt dat tot een zinkconcentratie groter dan de MAC-MKN. Op locatie 2, 3, 5 en 8 worden tevens verhoogde concentraties fluoranteen, pyreen en benzo(ghi)peryleen in het drainagewater aangetroffen. De concentraties blijven in alle gevallen ver onder de MAC-MKN.

3.3 **Oppervlaktewater**

3.3.1 *Per stof*

Er zijn geen aanwijzingen dat de kwaliteit van slootwater rondom kunstgrasvelden in negatieve zin afwijkt van die rondom echte grasvelden (zie Figuur 12). Het slootwater bij kunstgrasvelden heeft zelfs iets lagere concentraties koper, nikkel en zink.



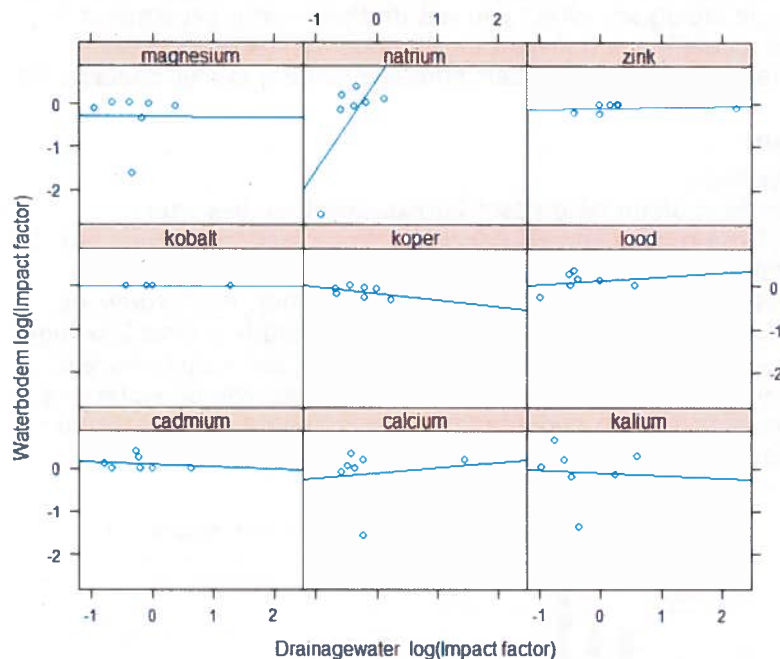
Figuur 12 Overzicht van de impact van 10 kunstgrasvelden met rubbergranulaat op de samenstelling van slootwater. Op de X-as staat de ratio van de concentratie bij het kunstgrasveld ten opzichte van de eigen referentie. Grijze balken accentueren stoffen waarvoor een significante impact van het kunstgrasveld op de concentraties in slootwater is geconstateerd.

Ook magnesium, nitraat en totaal stikstof zijn in slootwater bij kunstgrasvelden gemiddeld wat lager. De verschillen zijn zeer gering, waarschijnlijk doordat het slootwater stroomt en mengt met water vanuit andere plaatsen. De p-waarden voor de afzonderlijke stoffen is gegeven in 0.

3.3.2

Correlaties

Er is geen sterke relatie tussen de concentraties van stoffen in het slootwater en het drainagewater van het kunstgrasveld; de correlatie tussen de impactfactoren van die compartimenten is slecht. Alleen voor natrium lijkt er een verband ($r=0,68$, $p=0,09$), maar dat wordt sterk beïnvloed door één lage gemeten concentratie in slootwater, dus de correlatie is onbetrouwbaar.



Figuur 13 Verband tussen de concentratieverhogingen (impact factoren) in drainagewater en waterbodem.

Er zijn onvoldoende dataparen boven de rapportagegrens om de correlatie tussen slootwater en drainagewater voor de benzothiazolen te bepalen.

Aangezien de impactfactoren meestal lager zijn dan een factor 2, is het onwaarschijnlijk dat een beoordeling per locatie hier tot andere inzichten leidt.

Omdat er geen invloed is waargenomen van het rubbergranulaat op het slootwater wordt er in deze studie geen normtoetsing uitgevoerd. De risico's van het slootwater als gevolg van rubbergranulaat voor de ecologie en voor het sproeien van moestuingewassen die door mensen worden geconsumeerd, worden verwaarloosbaar geacht.

3.3.3

Conclusies slootwater

Er zijn nauwelijks verschillen in de kwaliteit van slootwater bij kunstgrasvelden en referentievelden. Dat betreft met name door koper, nitraat en magnesium, die in lagere concentraties worden gevonden in sloten bij kunstgras. Er is geen verband aangetoond tussen concentratieveranderingen in drainagewater en slootwater, zelfs niet voor locatie 8, waar zeer hoge zinkconcentraties in het drainagewater

werden aangetroffen. Er is geen significante invloed aangetoond voor verontreinigende stoffen uit rubbergranulaat op de kwaliteit van het oppervlaktewater.

Het waterleven lijkt niet direct een risico te lopen, de waterkwaliteit in sloten naast kunstgrasvelden met rubbergranulaat is niet slechter dan bij de referentievelden. Uit het STOWA onderzoek blijkt echter dat bioassays (PXR-assays) die aanslaan op de aanwezigheid van milieuvreemde organische stoffen een respons laten zien, hetgeen duidt op een mogelijk biologisch effect van het drainagewater (Postma et al., 2018). Of die respons ook optreedt in het oppervlaktewater, waar verdunning van drainagewater heeft plaatsgevonden, is niet onderzocht.

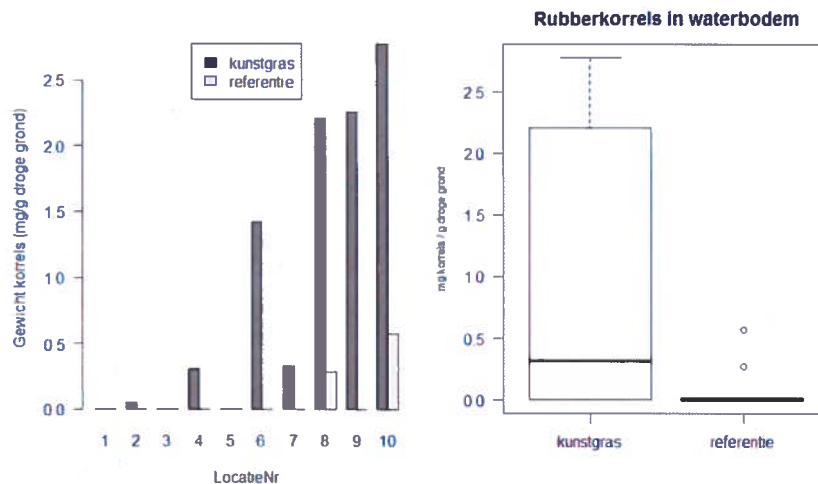
3.4

Waterbodem

3.4.1

Stoffen en deeltjes

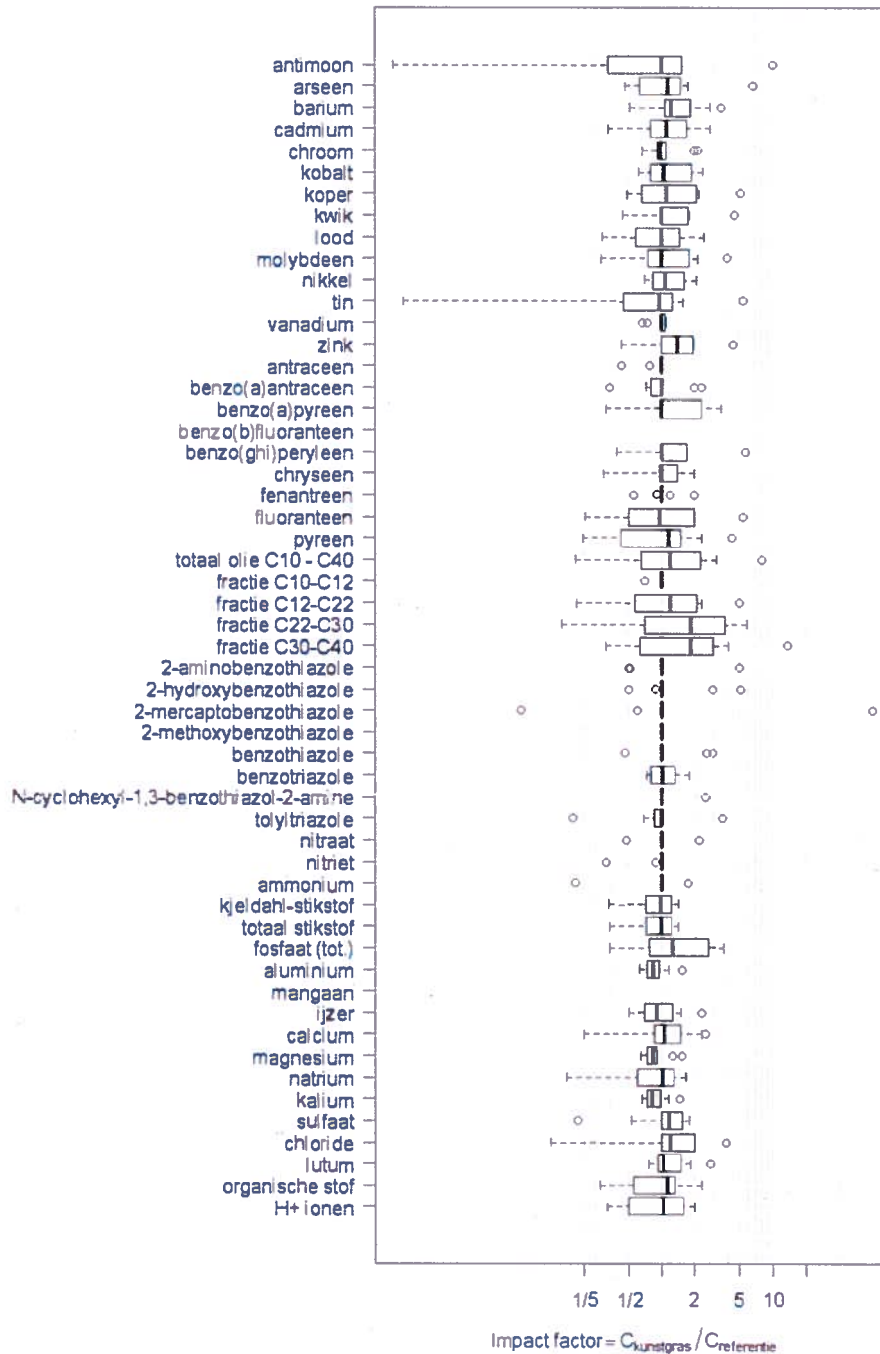
De waterbodems rondom de geteste kunstgrasvelden bevatten gemiddeld 0,9 mg rubber korrels per gram droge stof (zie Figuur 14). Bij de referentiesloten is gemiddeld 0,1 mg/gram droge stof aan rubber korrels aangetroffen. In aantal komt dat overeen met, respectievelijk, 0,4 en 0,02 deeltjes per gram sediment. Dit is gemiddeld circa 20x lager dan de hoeveelheid rubberkorrels in de bermen bij het kunstgrasveld. Dat is volgens verwachting, vooral omdat de afstand van de sloten tot het kunstgrasveld (8-70m) beduidend groter is dan de afstand tot de bemonsteringsplaats van de bermgrond.



Figuur 14 Rubberkorrels (mg per gram droge stof) aangetroffen in de waterbodems van de sloten rondom 10 kunstgrasvelden.

Deeltjes kunnen via verwaaiing of via oppervlakkige afspoeling van verhard oppervlak naar goten en putten in de sloten terecht gekomen zijn. De aanwezigheid van de rubberkorrels correleert slecht met de concentratieverandering van stoffen. Terwijl in de bermen een redelijk tot goede correlatie werd gevonden tussen rubbergranulaatkorrels en de concentratietoename van kobalt, zink, pyreen en minerale olie, is dat voor de waterbodems niet het geval. Dit betekent dat in het algemeen rubberkorrels niet significant bijdragen aan de concentraties in de waterbodem.

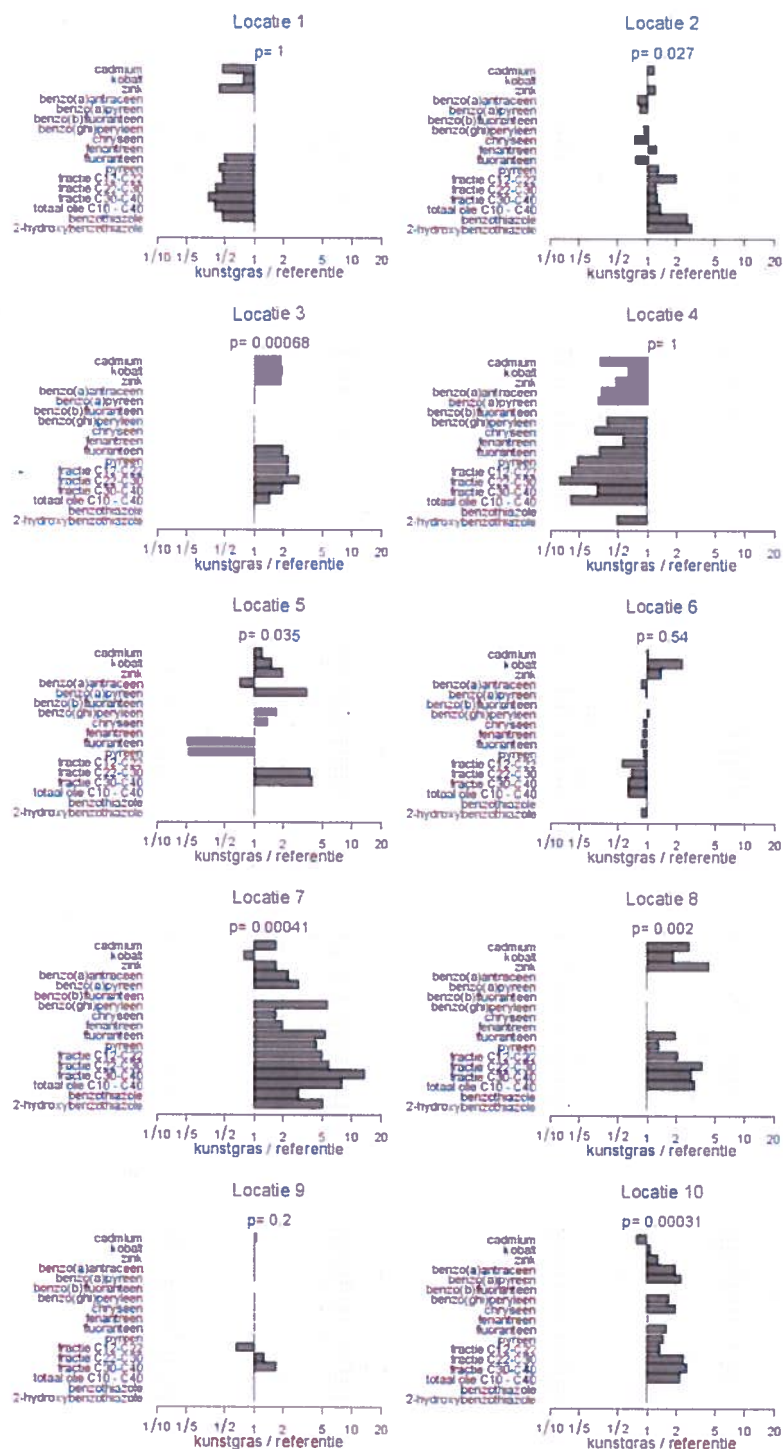
In algemene zin kon niet worden aangetoond dat kunstgrasvelden een invloed hebben op de omliggende waterbodems (zie Figuur 15). Daarbij moet opgemerkt worden dat in een aantal gevallen de concentraties van stoffen in de waterbodems bij de referentievelden hoger waren dan bij het kunstgrasveld. De lokale variatie in waterbodemconcentraties is soms erg groot. Goed verklaarbaar zijn de significant lagere concentraties van kalium en magnesium in waterbodems bij kunstgrasvelden, omdat kalium en magnesium op echte grasvelden worden gebruikt als meststoffen. Het toont aan dat de proefopzet in principe geschikt was om verschillen tussen kunstgrasvelden en echte grasvelden waar te nemen. De p-waarden voor de afzonderlijke stoffen staan vermeld in 0.



Figuur 15 Overzicht van de impact van 10 kunstgrasvelden met rubbergranulaat op de waterbodembodemkwaliteit. Op de X-as staat de ratio van de concentratie bij het kunstgrasveld ten opzichte van de eigen referentie. Grijs balken accentueren stoffen (kalium en magnesium) waarvoor een mogelijke impact van het kunstgrasveld op de chemische samenstelling van de waterbodems is geconstateerd ($p < 0,1$).

3.4.2 *Per locatie*

Om kleine verschillen als statistisch significant te kunnen beoordelen, in gebieden met sterk variabele referentieconcentraties is de steekproefomvang aan de kleine kant, zoals hierboven voor de stoffen in waterbodems blijkt. Op sommige locaties is er echter wel een mogelijke invloed van het kunstgrasveld, maar dat vereist een locatiespecifieke beoordeling, waarbij gekeken wordt naar de gelijktijdige verhoging van de typerende rubbergranulaat-cocktail: cadmium, kobalt, zink, benzo(a)antraceen, benzo(a)pyreen, benzo(b)fluoranteen, benzo(ghi)peryleen, chryseen, pyreen en de minerale oliefracties C12-C22, C22-C30 en C30-C40 (zoals uit de bermgrond-analyses is gebleken). Benzothiazolen zijn in de statistische analyse niet meegenomen, de chemische analyseresultaten zijn te vaak onder de rapportagegrens. In waterbodems blijkt deze "stoffen-cocktail" significant verhoogde concentraties te hebben op zes locaties (nr. 2, 3, 5, 7, 8 en 10), zie Figuur 16.

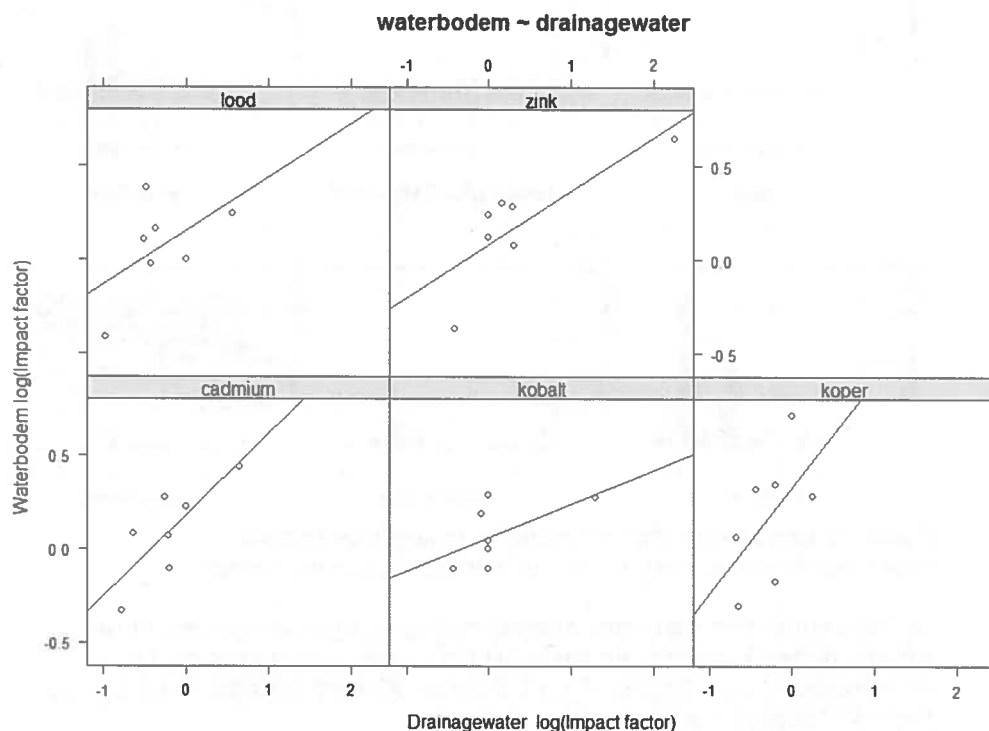


Figuur 16 De impact factoren van stoffen in waterbodern die geassocieerd kunnen worden met rubbergranulaat. Aanwijzing voor een verband met uitloging van rubbergranulaat is gevonden aanwezig op locaties 2, 3, 5, 7, 8, 10, waar $p < 0,1$ was.

3.4.3

Correlaties

Drainagewater blijkt de dominante bron te zijn voor de aanwezigheid van diverse stoffen in de waterbodem. Dit volgt uit de toetsing van de correlatie tussen de concentratieverandering in de waterbodem en de concentratieverandering in het drainagewater (beide t.o.v. de referentie). Daaruit blijkt een redelijke correlatie voor zink ($r=0,84$), cadmium ($r=0,86$) kobalt ($r=0,76$), koper ($r=0,62$) en lood ($r=0,66$). Zie Figuur 17.



Figuur 17 Verband tussen de concentratie toename in drainagewater en de concentratie toename in de waterbodem. Elk punt representeert een locatie. (De locaties 4, 6 en 9 zijn afwezig vanwege ontbrekend drainagewater).

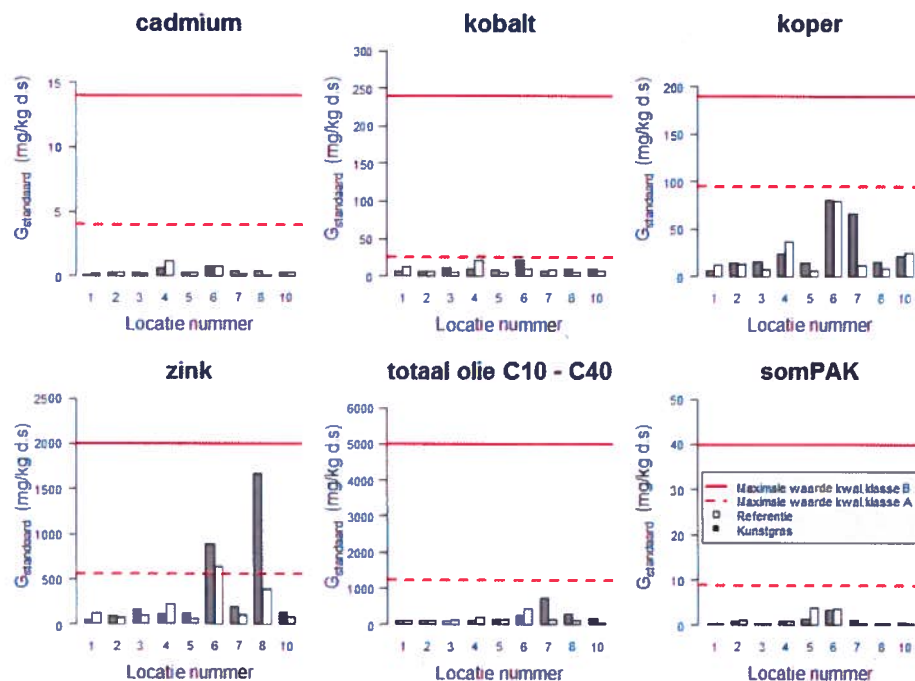
Voor een emissie van minerale olie via drainagewater naar de waterbodem bestaat geen aanwijzing. De gemeten olieconcentraties in het drainagewater zijn grotendeels lager dan de detectielimiet. Daarbij moet echter opgemerkt worden dat een representatieve bemonstering van olie in water lastig is. Olie is slecht oplosbaar en zal vaak als een film op het wateroppervlak liggen. Deze olielaag kan wel via het drainagesysteem in de sloten terecht komen.

3.4.4

Normtoetsing

Normtoetsing is gedaan voor die stoffen, waarvoor sterke aanwijzingen bestaan dat ze afkomstig zijn uit rubbergranulaat. Op basis van de waarnemingen in de vorige paragraaf zijn dat kobalt, koper, zink, PAK's en minerale oliën. Locaties 6 en 8 hebben een waterbodem die valt onder Kwaliteitsklasse B op basis van hun zinkgehalte. Voor locatie 6 is niet aantoonbaar dat dit door het rubbergranulaat komt, de zinkconcentraties zijn ook hoog in waterbodems bij het referentieveld.

Geen van de stoffen overschrijdt de interventiewaarde voor waterbodems.



Figuur 18 Vergelijking van concentraties in waterbodems (na bodemtypecorrectie) met normen uit het Besluit bodemkwaliteit.

De consequenties van normoverschrijdingen zijn beschreven in het Besluit bodemkwaliteit, en toegelicht op www.bodemplus.nl. De waterbodems van locaties 6 en 8 hebben Kwaliteitsklasse B en zijn dus beperkt toepasbaar.

3.4.5

Risicobeoordeling

Op locatie 8 worden risico's verwacht voor het waterbodemleven vanwege zink afkomstig van het kunstgrasveld. De ecologische risico-index voor zink is 8.3. Het gezamenlijke effect van alle stoffen, uitgedrukt in de msPAF is 3.4. Op locatie 6 is de risico-index voor zink 4.4. Op locatie 6 kan echter niet worden aangetoond dat de effecten door rubbergranulaat worden veroorzaakt. In Hoofdstuk 4 worden de resultaten van de STOWA-bioassays met waterbodemonsters beschreven.

3.4.6

Conclusies waterbodem

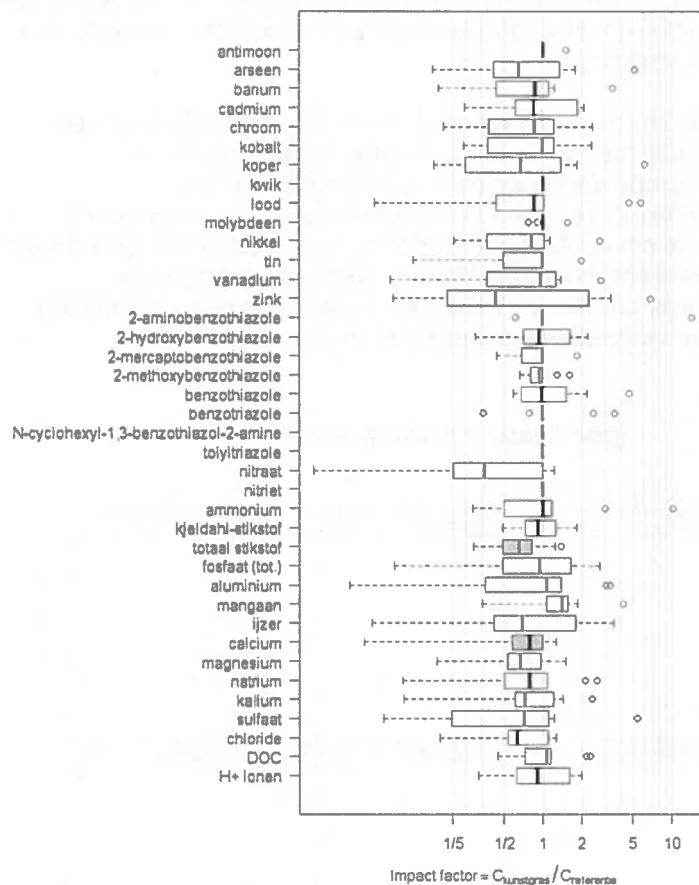
Op zes locaties zijn aanwijzingen gevonden voor een invloed van rubbergranulaat op de waterbodems bij kunstgrasvelden. Op twee locaties leidt dat tot een indeling van de bagger in Kwaliteitsklasse B, wat betekent dat de bagger alleen onder bepaalde voorwaarden verspreidbaar is. Risico's voor het waterbodemleven zijn aanwezig op twee locaties, waarvan bij locatie 6 niet kan worden bewezen dat dit door rubbergranulaat komt, bij locatie 8 wel.

De waterbodemkwaliteit hangt aantoonbaar samen met de drainagewaterkwaliteit. In het drainagewater is door de aanwezigheid

van benzothiazol en 2-hydroxybenzothiazol een verband met rubbergranulaat te leggen. Een correlatie tussen de waterbodemkwaliteit en de aanwezigheid van rubberkorrels is niet gevonden.

3.5 Grondwater

3.5.1 Per stof



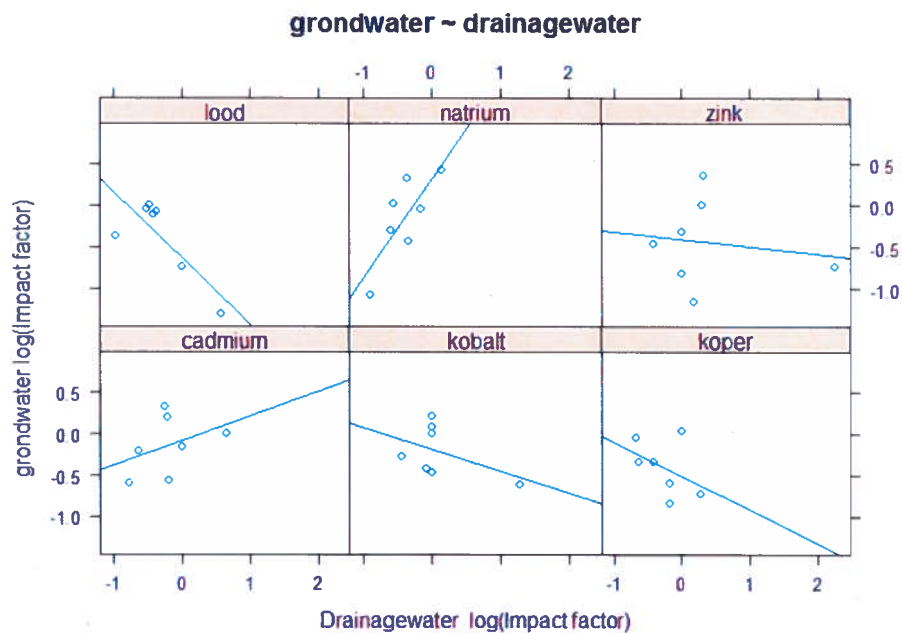
Figuur 19 Overzicht van de impact van 10 kunstgrasvelden met rubbergranulaat op de waterbodemkwaliteit. Op de X-as staat de ratio van de concentratie bij het kunstgrasveld ten opzichte van de eigen referentie. Grijs balken accentueren stoffen waarvoor een significante impact van het kunstgrasveld op de chemische samenstelling van het grondwater is geconstateerd.

Op basis van de metingen op alle 10 locaties is er alleen een significante impact waarneembaar voor calcium en voor totaal stikstof, met lagere concentraties in grondwater nabij de kunstgrasvelden. Dit kan verklaard worden door het gebruik van meststoffen en kalk op het echte gras. De concentraties van verontreinigende stoffen in grondwater bij het kunstgrasveld zijn soms hoger en soms lager dan bij het referentieveld; er komt geen algemene trend naar voren. De p-waarden voor de afzonderlijke stoffen is gegeven in 0.

3.5.2 Correlaties

Men kan beargumenteren dat er een verband zou kunnen zijn tussen drainagewater en grondwaterkwaliteit. Beide worden immers gevoed door infiltrerend regenwater dat door het (kunst)grasveld naar beneden beweegt. Door de langere weg die het water moet afleggen om het grondwater te bereiken is het mogelijk dat effecten die in het drainagewater worden waargenomen in het grondwater (nog) niet gezien worden. Door adsorptie aan de ondergrond kan het transport van een stof, afhankelijk van de adsorptiecapaciteit van stof en grond, met vele jaren worden vertraagd.

Voor natrium ($r=0,78$, $p=0,03$) en lood ($r=-0,80$, $p=0,03$) is er een significante correlatie tussen de concentratieveranderingen in drainagewater en grondwaterkwaliteit. Opmerkelijk is dat concentratieverandering van lood in het drainagewater omgekeerd evenredig is met de concentratieverandering van lood in het grondwater (beide t.o.v. de referentielocatie). Daar is geen verklaring voor gevonden. Voor zink, cadmium, kobalt en koper is er geen significant verband tussen concentratieveranderingen in drainagewater en grondwater.



Figuur 20 Correlatie tussen impactfactoren in grondwater en drainagewater

3.5.3 Conclusies grondwater

Er zijn geen actuele milieurisico's van kunstgrasvelden met rubbergranulaat voor het grondwater. Ook is er geen aantoonbaar risico voor de drinkwaterkwaliteit. Dat wordt geconcludeerd op basis van het feit dat voor géén van de voor rubbergranulaat kenmerkende stoffen een significante of plausibele relatie is gevonden tussen de kwaliteit van het grondwater en het drainagewater.

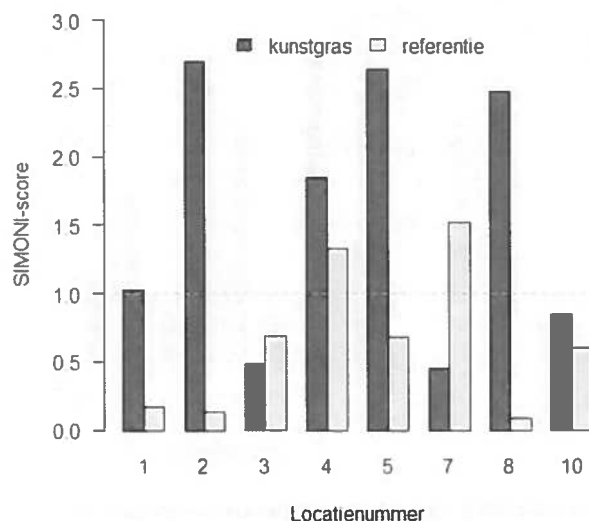
4 STOWA onderzoek: bioassays

4.1 Inleiding

In paragraaf 2.5 is de opzet geschetst van het STOWA onderzoek als aanvulling op de chemische analyses en normvergelijking van dit onderzoek. Hieronder volgt een beknopte beschrijving van de belangrijkste resultaten (Postma et al., 2018). Er waren 8 locaties waar een vergelijking mogelijk was tussen de situatie voor kunstgras en echt gras. Op twee locaties was dit niet mogelijk: op locatie 6 was het drainagewater een mengsel van afvoerwater van het kunstgras en het referentieveld en op locatie 9 werd geen drainagesysteem aangetroffen.

4.2 Bioassays drainagewater

De resultaten van de in vivo en in vitro bioassays worden uitgedrukt in zogenoemde SIMONI-scores. De SIMONI-score is een totaal-score die de effecten van (in dit geval) 14 testen met watervlooiën, bacteriën, algen, cellen en enzymen combineert. Als de score groter is dan 1 is er sprake van een potentieel risico voor waterorganismen. Het effect van drainagewater van kunstgrasvelden ($1,56 \pm 0,97$) was significant hoger dan die van de referentievelden ($0,65 \pm 0,54$). Op zes van de acht locaties (75%) werd de hoogste SIMONI-score waargenomen in het drainagewater van de kunstgrasvelden. Dit impliceert dat er stoffen in het drainagewater van kunstgras zitten die een biologisch effect kunnen hebben. Alleen op locaties 3 en 7 werden bij de referentievelden hogere SIMONI-scores waargenomen (zie Figuur 21).

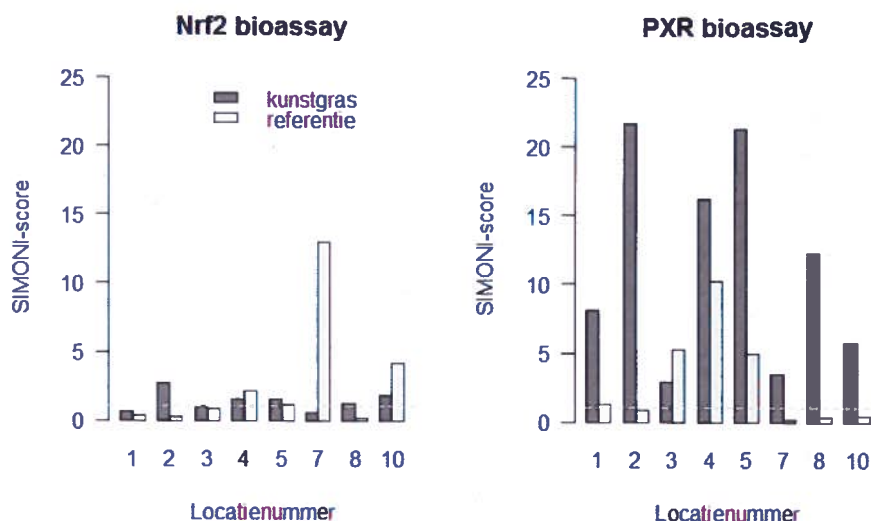


Figuur 21 SIMONI-scores voor het drainagewater van 8 kunstgrasvelden en referentievelden. (Postma et al., 2018).

De afzonderlijke bioassays geven inzicht in de aard van de stoffen of het mechanisme van het effect. Zo zijn er bijvoorbeeld bioassays die reageren op hormoonverstorende stoffen, en andere bioassays die reageren op PAK's. Voor meer achtergrondinformatie wordt verwezen

naar Bijlage 4 in het STOWA rapport (Postma et al., 2018). Uit de afzonderlijke bioassays blijkt dat er grote verschillen tussen de locaties bestaan. Voor de meeste bioassays werden de hoogste gemiddelde effecten gevonden in het water van de kunstgrasvelden, maar door de grote spreiding tussen locaties werd voor de meeste bioassays geen significant verschil tussen de kunstgrasvelden en referentievelden gevonden (zie Figuur 22). Alleen voor de bioassays 'PXR CALUX' en 'Nrf2' werden effecten gevonden die groter waren dan de gehanteerde 'ecologische signaalwaarde' (ESW).¹⁰ Deze bioassays gaven een signaal bij blootstelling aan apolaire organische stoffen (zoals PAK's). De PXR CALUX liet significant grotere effecten zien in het drainagewater van de kunstgraslocaties. Alleen op locatie 3 is het effect in de PXR CALUX bioassay lager. Voor de Nrf2 bioassay werden effecten gevonden bij kunstgrasvelden én referentievelden, maar deze waren niet significant verschillend. De Nrf2 en PXR CALUX bioassays zijn gevoelig voor een zeer groot aantal organische stoffen, en worden daarom vooral gebruikt als indicatoren voor de algemene chemische stress.

De effecten van metalen zoals zink komen in de SIMONI-score niet naar voren omdat alleen extracten van het drainagewater zijn getest. Deze extracten bevatten alleen organische stoffen. De effecten van metalen zouden wel zichtbaar moeten worden in de test met de watervlo. Bij de watervlo-test met puur drainagewater is er een acuut effect te zien op locatie 8 (Postma et al., 2018). De oorzaak van het effect is vermoedelijk de zeer hoge zinkconcentratie in het drainagewater (7000 µg Zn/L).



Figuur 22 Relatieve effecten (effect/ESW) van de verschillende bioassays in (extracten van) het drainagewater van kunstgrasvelden en nabijgelegen referentielocaties met natuurlijk gras (Postma, Keijzers et al., 2018).

¹⁰ De ESW is een voorlopige, indicatieve toetswaarde waarin effect van een mengsel van stoffen wordt vertaald naar het effect dat een bekende referentiestof zou veroorzaken.

De vraag is nu of de biologische effecten te verwachten waren gegeven de chemische samenstelling van de monsters. In Tabel 6 wordt de risicobeoordeling van het chemische spoor vergeleken met het biologische spoor. Er is voor het drainagewater alleen gekeken naar verontreiniging met organische stoffen, omdat de SIMONI-score alleen daarover gaat. Verhoogde PAK concentraties (boven de JG-MKN) werden gevonden in het drainagewater op de locaties 2, 3, 5 en 8. Inderdaad blijken op locatie 2, 5 en 8 ook de hoogste biologische effecten gevonden te worden (zie Tabel 6).

Tabel 6 Voorspelde effecten ten gevolge van rubbergranulaat. In het chemische spoor betekent "JA" een overschrijding van de milieukwaliteitsnorm (JG-MKN) voor organische stoffen in drainagewater, Maximale Waarde Kwaliteitsklasse A voor waterbodems). In het biologische spoor betekent JA een SIMONI-score > 1 in drainagewater en een statistisch significant effect in de waterbodems van kunstgras t.o.v. natuurlijk gras.

Locatie	drainagewater		waterbodems	
	Chemie (RIVM)	Bioassays SIMONI(STOWA)	Chemie (RIVM)	Bioassays (STOWA)
1	Nee	Nee	Nee	Nee
2	Ja	Ja	Nee	Nee
3	Ja	Nee	Nee	Nee
4	-	Ja	Nee	Ja
5	Ja	Ja	Nee	Nee
6	-	-	Nee ¹	Nee
7	Nee	Nee	Nee	Nee
8	Ja	Ja	Ja	Ja
9	-	-	Nee	Nee
10	Nee	Nee	Nee	Nee

¹ Op locatie 6 is er wel een overschrijding van de Maximale waarde Kwaliteitsklasse A, maar er kan niet worden aangetoond dat concentraties bij het kunstgrasveld significant hoger zijn dan die bij het referentieveld.

Op locatie 3 duidt de lage SIMONI-score aan dat er geen effecten van organische verontreinigingen te verwachten zijn, terwijl een overschrijding van de JG-MKN van fluoranteen op locatie 3 wél op een potentieel risico duidt.

De SIMONI-score laat verder biologische effecten zien op kunstgras locatie 4. Helaas kan dit resultaat niet vergeleken worden met chemische analyses. Van locatie 4 ontbrak het referentiemonster.

Locatie 7 heeft effecten op de referentielocatie, maar niet op het kunstgrasveld. Deze effecten zijn dus geen gevolg van stoffen uit rubbergranulaat.

Voor het drainagewater bevestigen de bioassays de beoordeling van het RIVM, namelijk dat er een invloed is van rubbergranulaat op drainagewater van locaties 2, 5 en 8. De STOWA methodiek lijkt niet zo gevoelig voor locatie 3 waar de fluoranteenconcentratie 2x zo hoog was als de JG-MKN.

De SIMONI-scores in drainagewater komen vrij goed overeen met de beoordeling gebaseerd op de chemische analyses. Eén type bioassay

valt echter op: de PXR bioassays geven ook op locatie 1, 7 en 10 een response, terwijl daar op basis van gemeten stofconcentraties geen effect wordt verwacht. Het vertalen van de response van één enkel in vitro bioassay naar een ecologisch relevant effect is echter nog met veel onzekerheden omgeven. De effecten worden bijvoorbeeld niet bevestigd in door de *in vivo* tests met watervlooien, bacteriën en algen. De response geeft in ieder geval aan dat er op 7 van de 8 locaties een invloed van het kunstgrasveld is. Uit de chemische analyses blijkt dat benzothiazol en 2-hydroxybenzothiazol significant hogere concentraties hebben in drainagewater bij kunstgrasvelden (zie paragraaf 3.2.4). Dat impliceert dat in principe het drainagewater op alle locaties is beïnvloed door stoffen uit het rubbergranulaat. Naast benzothiazolen kunnen ook andere stoffen uit het rubbergranulaat, die niet in het analysepakket zijn opgenomen, bijdragen aan de effecten die te zien zijn in de bioassays.

4.3 Bioassays waterbodem

De effecten op zowel de dansmug als de vlokreeft zijn over het algemeen gering. Er treden geen significante verschillen op tussen kunstgrasvelden en hun referenties. Er zijn enkele uitzonderingen. Zo bleek voor kunstgrasveld locatie 8 de groei van de dansmuglarven significant lager te zijn dan bij het bijbehorende referentieveld. Daarnaast zijn er significante verschillen vastgesteld voor de groei van zowel de dansmug als de vlokreeft op de waterbodem langs het kunstgrasveld van locatie 4. Voor locatie 10 was er wel een significant verschil voor de overleving van de dansmug, maar hier was de overleving in het referentiemonster juist het laagst.

In dit rapport voorspelt het RIVM effecten in de waterbodem ten gevolge van zink uit rubbergranulaat op locatie 8. Op locatie 4 verwacht het RIVM geen effecten ten gevolge van rubbergranulaat maar het effect van rubbergranulaat is wellicht gemaskeerd door verhoogde concentraties metalen, benzothiazolen, minerale olie en PAK's bij de referentielocatie. In de bioassays is het effect van het kunstgrasveld bij locatie 4 wel aangetoond, hoewel niet kan worden aangetoond dat dit een gevolg is van het gebruik van rubbergranulaat op het kunstgrasveld. De waterbodem op locatie 6 heeft Kwaliteitsklasse B (voor wat betreft zink), maar er kan niet worden aangetoond dat deze concentraties een gevolg zijn van het rubbergranulaat op het kunstgrasveld. Op deze locatie werd het drainagewater van kunstgras en referentieveld in één drainagesysteem gecombineerd. Het is daarmee verklaarbaar dat er geen significante verschillen konden worden aangetoond in de waterbodems bij locatie 6.

5 Discussie

5.1 Beknopte samenvatting

De chemische analyses van stoffen in de milieucompartimenten rondom de onderzochte kunstgrasvelden laten een divers beeld zien. De verschillen tussen locaties zijn groot. Op sommige locaties is de invloed van rubbergranulaat echter duidelijk aanwezig. In de bermgrond is op negen locaties, in het drainagewater op drie locaties en in de waterbodem op één locatie sprake van normoverschrijding door gebruik van rubbergranulaat op of in de bodem (zie Tabel 7). Daarnaast blijkt uit de aanwezigheid van benzothiazolen dat op alle locaties het drainagewater beïnvloed is door rubbergranulaat. Dit blijkt ook uit één van de bioassays (de PXR CALUX). Op vier locaties zijn in de waterbodems ook verhoogde concentraties geconstateerd van zink, PAKs en benzothiazolen die duiden op een beïnvloeding door rubbergranulaat, maar waar de concentraties (nog) niet tot normoverschrijding hebben geleid. Rubbergranulaat op kunstgrasvelden van de onderzochte locaties had geen meetbare impact op de slootwater- en de grondwaterkwaliteit.

Tabel 7 Overzicht van milieurisico's door gebruik van rubberkorrels op kunstgrasvelden. Rood zijn locaties waar een effect op het ecosysteem zeer waarschijnlijk is, oranje zijn locaties waar de chemische en biologische beoordeling geen eenduidige conclusie laten zien.

Locatienr	Berm-grond	Drainage-water ¹	Sloot-water	Water-bodem	Grond-water
1	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
2	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee
3	Ja	Ja ¹ /Nee ²	Nee	Nee	Nee
4	Ja	*/Ja? ³	Nee	Nee ¹ /Ja? ³	Nee
5	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
6	Ja	-	Nee	Nee	Nee
7	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
8	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee
9	Ja	-	Nee	Nee	Nee
10	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee

¹ Op basis van vergelijking met MAC-MKN

² Conclusie op basis van chemische beoordeling (overschrijding MW-Wonen)

³ Conclusie op basis van biologische beoordeling

* Geen uitsluitel over oorzakelijk verband met rubbergranulaat door ontbreken referentiemonsters

5.2 Onderscheid rubbergranulaat en technische steunlaag

Stoffen in drainagewater kunnen afkomstig zijn van al het materiaal dat in contact staat met het infiltrerende en eventueel opkwellende water. Dit houdt in dat zowel het rubbergranulaat, de technische steunlaag en de natuurlijke ondergrond van het veld kunnen bijdragen aan de gemeten concentraties. In dit onderzoek gaat het om de effecten van rubbergranulaat, en dan met name rubbergranulaat dat als infill op het veld wordt toegepast. De vraag is dus hoe de invloed van

rubbergranulaat onderscheiden kan worden van die van de steunlaag. Daarvoor is een *weight-of-evidence* approach gevolgd; door een reeks aan statistische methoden toegepast te passen en dit te combineren met kennis van de samenstelling van rubber en van de technische steunlagen. Daarin zijn de volgende stappen te onderscheiden:

1. Een belangrijk gegeven bij de statistische analyse is dat de kunstgrasvelden verschillende technische steunlagen en ondergronden hebben (zie Tabel 1) terwijl ze allemaal rubbergranulaat als infill hebben. Verschillende steunlagen leiden tot grote variatie in de aangetroffen stoffen en hun concentraties. Deze variatie leidt ertoe dat het moeilijk is om significante verschillen tussen kunstgras en referentievelden aan te tonen. Een gemeenschappelijke factor als de aanwezigheid van rubber infill, leidt wel eerder tot een significant verschil tussen kunstgras en referentievelden. In de bermgrond blijkt de aanwezigheid van kunstgras de belangrijkste verklarende factor te zijn (55% van de variantie voor olie, 45% voor zink), terwijl locatieverschillen 20-30% van de variantie verklaren. In andere compartimenten zijn locatieverschillen dominant.
2. Stoffen in de bodem waarvoor uit de statistische testen bleek dat rubbergranulaat mogelijk een significante factor is, zijn verder bestudeerd door correlatie van de concentratietoename van de stoffen met de aanwezigheid van rubberkorrels. Daaruit komt een significante impact van het rubbergranulaat op kunstgrasvelden op cadmium, kobalt, zink, PAK's, benzothiazolen en minerale olie in de bermgrond. Deze stoffen zijn vervolgens aangeduid als de karakteristieke "stoffen-cocktail" van rubbergranulaat. Van andere stoffen, die in andere compartimenten zijn gevonden, wordt dan aangenomen dat die niet afkomstig zijn van het rubbergranulaat.
3. Voor drainagewater en waterbodem is de karakteristieke "cocktail" per locatie bestudeerd. Alléén als de hele "cocktail" significant verhoogd is ten opzichte van de referentielocatie wordt geoordeeld dat er een effect is van het rubbergranulaat.

Op deze wijze is het plausibel gemaakt dat bepaalde effecten een gevolg zijn van rubbergranulaat.

5.3 Biologische beschikbaarheid van zink in bermgrond met rubberkorrels

In de bermgrond zijn totaalgehalten van zink en kobalt bepaald door middel van koningswaterextractie. Dit is de gangbare methode voor het bepalen van de bodemkwaliteit en de toetsing aan normen uit het Besluit bodemkwaliteit. Op diverse locaties leidt dit tot normoverschrijding. De toename van zink ten opzichte van de referentievelden is verklaarbaar uit de hoeveelheid rubberkorrels in de bermgrond. Het is niet duidelijk wat de invloed is van de rubberkorrels op de biobeschikbaarheid van zink. Een bodemtypecorrectie is toegepast om rekening te houden met verschillen in biobeschikbaarheid ten gevolge van verschillen in klei- (lutum)- en organische stofgehalten. Hierin is ook het organische stofgehalte van de rubberkorrels meegenomen. Het is niet duidelijk of bodemorganismen blootstelling aan de rubberkorrels kunnen vermijden. De korrels lijken qua grootte

erg op gronddeeltjes en worden niet gezien als artefacten (vreemd materiaal). De korrels zijn als het ware onderdeel geworden van de bodem, daarom is het gerechtvaardigd de bermgrond inclusief de rubberkorrels te analyseren en aan de bodemnormen te toetsen. In bioassays met regenwormen in grond waaraan 50% rubbergranulaat is toegevoegd werden effecten geconstateerd (Pochron et al., 2017), zie paragraaf 3.1.6). Dit suggereert dat de biobeschikbaarheid van de stoffen in rubbergranulaat laag is, en dat effecten lager kunnen zijn dan op basis van de totale zinkconcentratie bij toetsen aan de bodemnormen verwacht wordt.

5.4 Representativiteit en extrapolatie naar andere velden

De 10 velden zijn geselecteerd om de kans op aantreffen van milieu-effecten van rubbergranulaat zo groot mogelijk te maken. Daarom zijn oude velden geselecteerd, met sloten in de directe omgeving. De resultaten van deze studie geven aan welke effecten op termijn ook bij jongere velden gevonden kunnen worden. Er zijn verschillende technische onderlagen in het onderzoek opgenomen. De omvang van het onderzoek was te gering om de invloed van de aard van de sporttechnische onderlaag te bepalen. Toch kunnen per compartiment de volgende algemene conclusies worden getrokken.

5.4.1 *Bermgrond*

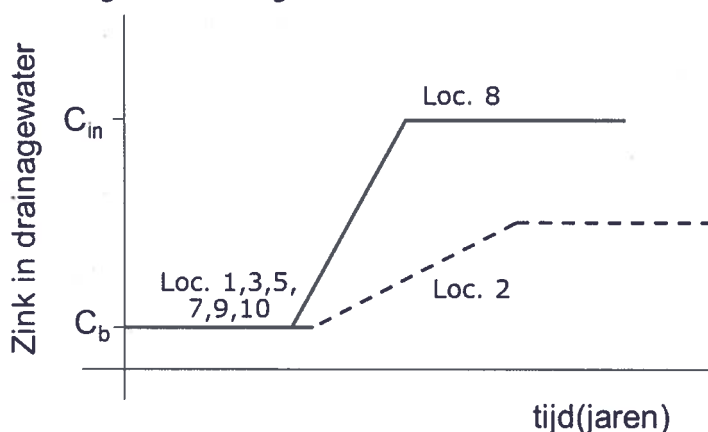
De emissie van korrels naar de bodem is een proces dat vanaf de aanleg van het veld van start gaat. Afhankelijk van de situering van het veld, de infrastructuur, beheersmaatregelen en de wijze van veldonderhoud zal de hoeveelheid korrels in de bermgrond geleidelijk aan toenemen. Gegeven de samenstelling van de rubberkorrels zullen ook zink, kobalt, cadmium, PAK's en minerale olie evenredig toenemen.

Er is niet bemonsterd langs de preferente paden, bijvoorbeeld de route van het veld naar de kantine. Langs de preferente paden of bij plaatsen waar 'big-bags' met rubbergranulaat waren opgeslagen kunnen hogere concentraties aangetroffen worden.

5.4.2 *Drainagewater*

Aangezien verspreiding van stoffen een dynamisch proces is met uitwisseling tussen milieucompartimenten, kan het beeld dat in deze studie naar voren komt in de toekomst veranderen. Stoffen die met regenwater weglekken uit rubbergranulaat moeten eerst door een technische steunlaag en soms een deel van de ondergrond percoleren. De adsorptie en/of chemische neerslag van stoffen aan de onderlagen kan zorgen voor een vertraging van het transport van de stoffen naar het drainagewater. De mate van vertraging hangt af van eigenschappen van de stof én eigenschappen van de onderlaag (zoals bijvoorbeeld de zuurgraad), maar kan oplopen tot tientallen jaren. Er is veel variatie in het type onderlaag, en daardoor zal er ook veel variatie in de mate van vertraging van stoftransport naar drainagewater zijn. Desalniettemin zijn er twee locaties in dit onderzoek (nr. 2 en 8) waar zink 'doorgebroken' is naar het drainagewater. In Tabel 1 zijn de karakteristieken van de velden gegeven. Duidelijk is dat een 28-jaar oud veld met ook rubber in de technische steunlaag (nr. 8) tot zeer hoge zinkconcentraties in het drainagewater heeft geleid. Recent onderzoek in

Groningen (2018) toont ook andere sportvelden met sterk verhoogde zinkconcentraties in drainagewater (zie paragraaf 5.8). Een jonger veld (15 jaar, locatie 10) met rubber in de ondergrond laat nog geen verhoogde zinkconcentraties in het drainagewater zien. Dit fenomeen is schematisch weergegeven in Figuur 23 (Verschoor, 2007). Deze figuur laat de concentratietoename in het drainagewater zien, na percolatie van het regenwater door een technische onderlaag. In de figuur is aangegeven in welke fase de verschillende locaties zich mogelijk bevinden. Gedurende een aantal jaren zal er geen concentratietoename worden waargenomen, omdat zink wordt vastgehouden door de technische onderlaag. Op een gegeven moment nemen de drainagewaterconcentraties toe; door verzadiging van de adsorptiecapaciteit vindt doorbraak plaats van zink. Door diffusie en dispersie is doorbraak geen scherp afgebakend moment, maar een proces dat enigszins is uitgespreid in de tijd. Bij volledige doorbraak worden de maximale concentraties in het drainagewater bereikt. De figuur heeft bewust geen jaartallen op de X-as staan, omdat het moment van doorbraak van zink sterk afhankelijk is van het soort onderlaag, de ouderdom ervan en de ligging en diepte van het drainagesysteem. De resultaten van de studie laten zien dat na 10 jaar (locatie 2) al doorbraak van zink naar drainagewater kan optreden. De maximum concentraties die kunnen ontstaan zijn afhankelijk van de kwaliteit en de hoeveelheid rubbergranulaat die op of in de kunstgrasconstructie is toegepast, en van eventuele emissies uit de steunlaag of de ondergrond.



Figuur 23 Schematische weergave van de doorbraak van zink uit rubbergranulaat naar drainagewater. C_b = achtergrondconcentratie in drainagewater, C_{in} concentratie in infiltrerend water. De locatienummers geven aan waar in het proces van adsorptie en uitspoeling de betreffende locaties zich bevinden.

De algemene conclusie is dat vroeg of laat doorbraak van zink en kobalt uit rubbergranulaat naar drainagewater zal optreden.

5.4.3

Grondwater

Hetzelfde fenomeen als beschreven voor drainagewater gaat op voor uitloging van stoffen naar het grondwater. In Nederland varieert de grondwaterstand van enkele decimeters tot meer dan 20 meter onder maaiveld (TNO, 2018). Het bovenste grondwater zit op een diepte van tenminste 60 cm bij de door ons onderzochte velden. Omdat de route

tussen veldoppervlak en grondwater langer is en dus de hoeveelheid materiaal waar de stoffen aan kunnen adsorberen groter, zal het langer duren voordat doorbraak van zink naar grondwater waarneembaar is. Bovendien wordt bij kunstgrasvelden het merendeel van het water via drainage afgevoerd. Het grondwater wordt daar dus weinig aangevuld met regenwater dat door het kunstgrasveld heen is gepercoleerd. Bij geen enkele locatie is doorbraak van zink naar het grondwater aangetroffen. De kans op risico's van zink in het grondwater lijken, m.u.v. velden waar géén drainagesysteem is aangelegd, op basis van bovenstaande argumenten erg klein.

5.4.4 *Slootwater en waterbodem*

Uit de chemische analyses blijkt dat kunstgras geen effect heeft op de slootwaterkwaliteit, maar wel op de waterbodemkwaliteit. Dat kan verklaard worden doordat stoffen de neiging hebben om te binden aan deeltjes die neerslaan als slib op de waterbodem. Dit leidt tot verdwijning van stoffen uit de waterfase en ophoping van stoffen in de waterbodem, waardoor effecten uiteindelijk zichtbaar worden in de waterbodem. Het slootwater zelf stroomt, en wordt voortdurend ververscht door aanvoer van water van elders. Daarom worden er nergens effecten in het slootwater aangetoond. Door het baggeren van sloten worden de werkelijke emissies van stoffen naar de waterbodem mogelijk onderschat. Risico's worden dan afgewenteld naar plaatsen waar die bagger wordt gedeponeerd. Bovendien geldt voor slootwater en waterbodems, dat de concentraties van stoffen op termijn kunnen oplopen als de concentraties in het drainagewater toenemen door verzadiging van de adsorptiecapaciteit van de technische onderlaag (zie boven). In 0 is informatie opgenomen over de meest recente baggerwerkzaamheden.

5.5 **Overeenkomsten en verschillen tussen chemische en biologische beoordeling**

Het doel van het parallelle STOWA onderzoek was ter ondersteuning van de chemische beoordeling en om eventuele onverwachte effecten ten gevolge van niet gemeten stoffen en mengsels te kunnen waarnemen. Een chemische beoordeling heeft in zekere zin "blinde vlekken", want er worden alleen stoffen geanalyseerd waarvan men verwacht dat ze aangetroffen worden. Van rubbergranulaat is inmiddels veel kennis verzameld, dus de kans dat er belangrijke onbekende stoffen over het hoofd worden gezien is klein. Toch blijft het moeilijk om het brede publiek te overtuigen dat deze niet-gemeten stoffen geen risico opleveren. Een reeks bioassays kan bijdragen om het vertrouwen in dat oordeel te vergroten.

De mogelijkheden om mengseltoxiciteit in de chemische beoordeling te betrekken zijn gebaseerd op de aanname dat risico-indices bij elkaar opgeteld kunnen worden. Het optellen van risico's van stoffen met verschillende werkingsmechanismen is discutabel. Dat stoffen elkaars werking kunnen versterken of afzwakken wordt niet in de rekenmethodieken meegenomen. Een bioassay reflecteert de toxiciteit van het volledige mengsel.

In hoofdstuk 4 zijn de resultaten van de bioassays vergeleken met de resultaten van de chemische beoordeling. Daaruit komt voor de meeste

locaties een gelijke conclusie met betrekking tot de risico's. Er zijn in het algemeen op basis van de SIMONI eindscore geen aanwijzingen voor een effect dat in het chemische spoor over het hoofd gezien zou zijn.

De SIMONI-methodiek (toegepast op de drainagewatermonsters) oordeelt op basis van de uitslag van meerdere (in dit geval 13) bioassays of er een risico is. Een effect in één van bioassays leidt niet meteen tot het oordeel "risico". Niettemin kennensignificante effecten in één van de bioassays niet worden genegeerd. Zo werden er significante effecten op alle locaties waargenomen in de PXR-CALUX assay, die effecten van organische milieuvreemde stoffen signaleert. Deze effecten, op enzymniveau, leiden echter in de meeste gevallen niet tot effecten op populatieniveau (voortplanting en overleving van de watervlo). Het is nog niet mogelijk om de uitkomsten van de CALUX assays te vertalen naar effecten die in de praktijk zullen optreden.

De toegevoegde waarde van de bioassays was dat er extra bewijs is verzameld voor het wel of niet optreden van ecologische effecten ten gevolge van rubbergranulaat. In gevallen dat de chemische beoordeling tot conclusie komt dat er geen risico is, vormen gelijklopende bioassays een extra bevestiging. Dit draagt bij aan de acceptatie van deze conclusie.

Dit onderzoek laat zien dat monsters ook door andere stoffen, die niet met het gebruik van rubbergranulaat samenhangen, kunnen zijn verontreinigd. Om de oorzaak van effecten in de bioassays en het verband met rubbergranulaat te bepalen is interpretatie aan de hand van chemisch analyses noodzakelijk.

Bij een chemische beoordeling kan de invloed van rubbergranulaat in een vroeg stadium, dus als er nog geen biologische effecten optreden, worden gedetecteerd. Dat is bijvoorbeeld goed te zien in de waterbodems, waar op basis van de chemische beoordeling zes locaties worden verdacht van een invloed door rubbergranulaat, terwijl er maar bij één locatie biologische effecten zijn vastgesteld.

5.6

Risicobeoordeling dieren

Een van de onderzoeksvragen had betrekking op de mogelijke effecten van rubbergranulaat op dieren (zie paragraaf 1.1). Het onderzoek naar de effecten van kunstgrasvelden op water- en bodemdieren is in dit onderzoek op twee manieren ingevuld: 1) door het meten van chemische stoffen en de concentraties daarvan te vergelijken met normen, en 2) door het betrekken van STOWA-onderzoek dat testen heeft uitgevoerd met watervlooien, dansmuggen en vlokreeften. Deze dieren staan model voor een groot aantal ongewervelde dieren die in de natuur voorkomen. Daarnaast zijn ook testen gedaan met cellen en enzymen die in veel dieren voorkomen.

Normen en risicogrenzen dekken effecten op water- en bodemdieren af, inclusief de effecten op hogere organismen, vogels en zoogdieren, die via de voedselketen aan stoffen kunnen worden blootgesteld (doorvergiftiging). De bescherming van 'wilde' diersoorten is een

geïntegreerd onderdeel van de toetsing van concentraties van stoffen aan milieukwaliteitsnormen en risicogrenzen.

Uit dit onderzoek blijkt dat er in bermgrond en in de waterbodem negatieve effecten op dieren in het ecosysteem kunnen optreden ten gevolge van stoffen die uit rubbergranulaat weglekken. De effecten van rubberdeeltjes zelf op vogels en zoogdieren zijn niet experimenteel onderzocht in deze studie. Verschillende informatiebronnen zijn geraadpleegd om te kijken of blootstelling aan deeltjes plaats kan vinden. Bij zowel SOVON Vogelonderzoek Nederland als het Dutch Wildlife Health Center (DWHC) zijn nooit signalen ontvangen dat deze blootstellingsroute aan de orde is (persoonlijke mededeling dr Julia Stahl afdelingshoofd Onderzoek en Inventarisatie SOVON 5 april 2018; Hanna Hesselink van DWHC e-mail 9 april 2018). De kans dat vogels en zoogdieren rubberkorrels oppikken vanaf het kunstgrasveld en/of de omliggende bermen is ook zeer klein: de deeltjes zijn naar verwachting onaantrekkelijk qua geur en smaak en het is geen voedselbron (persoonlijke mededeling prof. dr. Tinka Murk 6 april 2018).

Huisdieren, vooral honden, die per ongeluk bermgrond binnen krijgen lopen geen risico. Het CSOIL-scenario 'Spelende kinderen'(zie paragraaf 34) wordt geacht voldoende beschermend te zijn voor huisdieren.

Blootstelling van landbouwhuisdieren aan stoffen afkomstig uit rubbergranulaat is mogelijk langs verschillende routes: 1) via water uit de sloot dat als drinkwater voor het vee wordt gebruikt (of via grondwater), en 2) via eten van gras op grond die is bedekt met slib uit aangrenzende sloten na baggeren.

Tussen kunstgrasvelden en bijbehorende referentievelden zijn in dit onderzoek geen verschillen gevonden in grondwater- en slootwaterconcentraties van aan rubbergranulaat gerelateerde stoffen (zie paragraaf 3.3). De blootstellingsroute drinkwater-vee lijkt daarom niet risicovol.

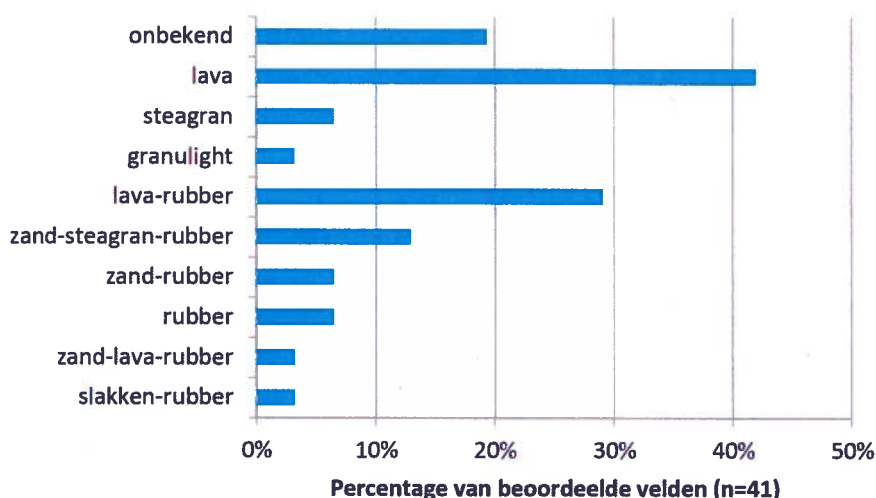
Bagger wordt op de kant gezet. De normen voor metalen, PAK's en minerale olie worden voldoende beschermend geacht voor landbouwhuisdieren. Voor rubber deeltjes is geen norm beschikbaar. De ingestie van rubberdeeltjes wordt geen relevante blootstellingsroute geacht, omdat het aantal deeltjes in de waterbodem zeer gering is (zie Figuur 14). De kans dat vee bij het grazen deeltjes opneemt en daar effecten van ondervindt is dus naar verwachting verwaarloosbaar.

5.7 Relatie met andere onderzoeken

Rubbergranulaat valt niet onder het Besluit bodemkwaliteit, maar er geldt wel een zorgplicht die beschreven is in de Wet bodembescherming. De Vereniging Band & Milieu/RecyBEM en de bedrijfstakorganisatie VACO hebben aanbevelingen opgesteld om de zorgplicht in te vullen bij toepassing van rubbergranulaat van personen- en bedrijfswagenbanden als instrooimateriaal op kunstgrasvelden. Daarin staat onder andere dat men bij renovatie vast moet stellen of, en zo ja, in welke mate de technische onderlagen van het veld en de daaronder liggende grond verontreinigd zijn. In Nederland zijn de afgelopen jaren diverse milieuhygiënische onderzoeken uitgevoerd bij kunstgrasvelden met rubber infill, meestal in opdracht van gemeenten. In de meeste gevallen

betrof het (indicatieve) bodemonderzoeken die plaatsvonden in verband met de renovatie van het aanwezige kunstgrasveld. Een aantal van deze onderzoeken is verzameld en geëvalueerd. Er is gebruik gemaakt van onderzoeken die op een openbare website zijn geplaatst naar aanleiding van een WOB-verzoek (<http://openbaarheid.nl/wob-resultaten/kunstgrasvelden-2017/>), er is een aanvullende internetsearch gedaan, en via persoonlijke contacten met de gemeenten die bij het veldonderzoek van het RIVM betrokken waren zijn ook onderzoeksresultaten verkregen. Benadrukt wordt dat het geen volledig overzicht is van alle gerelateerde verrichte bodemonderzoeken in Nederland. Bovendien zijn de resultaten van de individuele studies alleen op hoofdlijnen geëvalueerd. In 0 zijn de verzamelde studies weergegeven. In de tabel zijn alleen onderzoeken vermeld die betrekking hebben op de milieucompartimenten die ook in dit onderzoek zijn meegenomen, inclusief de steun-/grondlagen onder het veld.

De andere studies bevatten in totaal 41 velden die alle rubbergranulaat van autobanden als infill hebben. De aard van de technische onderlaag, die meestal zo'n 10 cm dik is, is variabel (zie Figuur 24). In 19 van de 41 velden is rubber in de sporttechnische onderlaag verwerkt. Het analysepakket omvatte meestal metalen, PAK's en minerale olie, soms nog aangevuld met vluchtige aromaten, gehalogeneerde koolwaterstoffen, PCB's en/of organochloorbestrijdingsmiddelen. Een belangrijke constatering is dat deze studies geen analyses omvatten bij controlevelden van echt gras om een robuust, oorzakelijk verband met rubbergranulaat af te kunnen leiden. In het voorliggende onderzoek kan dat wel en daaruit blijkt dat kobalt, zink, minerale olie en PAK's in verhoogde concentraties kunnen voorkomen in bermgrond en waterbodem bij velden waar rubbergranulaat is gebruikt. De andere studies worden bekeken om te zien of ze in lijn zijn met de bevindingen van het huidige onderzoek. Bovendien bevatten de andere studies aanvullende informatie over de sporttechnische onderlaag, de zandopbouw en de natuurlijke ondergrond. In deze compartimenten zijn in het huidige onderzoek geen metingen verricht.



Figuur 24 Gebruikte sporttechnische onderlagen in andere studies (41 velden).

Tabel 8. Frequentie van het voorkomen van verontreinigingen in verschillende compartimenten van kunstgras voetbalvelden (uit andere studies). Alleen stoffen die kenmerkend zijn voor rubbergranulaat zijn in de tabel opgenomen.

Aantal velden	Verontreinigings- klasse*	Aantal velden in verontreinigingsklasse			
		Co	Zn	minerale olie	som PAK
Bermgrond	licht (>AW)	2	3	6	0
	10 matig (>T)	0	2	1	0
	ernstig (>I)	0	2	0	0
Sporttechnische laag¹	licht (>AW)	8	10	6 ²	1
	25 matig (>T)	0	2	0	0
	ernstig (>I)	0	5	0	0
	IBC bouwstof	2	3	0	0
Zandonderbouw	licht (>AW)	0	4	1	0
	25 matig (>T)	0	1	0	0
	ernstig (>I)	0	0	0	0
Ondergrond	licht (>AW)	1	0	1	0
	8 matig (>T)	0	0	0	0
	ernstig (>I)	0	0	0	0
Grondwater	licht (>S)	1	2	1	0
	7 matig (>T)	0	0	0	0
	ernstig (>I)	0	0	0	0
Drainagewater³	licht (>S)	0	2	0	0
	13 matig (>T)	0	0	0	0
	ernstig (>I)	0	2	0	0

* AW: achtergrondwaarde, T: tussenwaarde (rekenkundig gemiddelde van achtergrondwaarde en interventiewaarde, I: Interventiewaarde, S: Streefwaarde, IBC: bouwstof die emissietoetswaarde overschrijdt en daarom niet in open toepassingen mag worden gebruikt.

¹ Op vier van de velden bestond het analysepakket alleen uit zink.

² Het betreft hier bij vier velden overschrijding van de MW-Industrie voor minerale olie. MW-industrie (500 mg/kg) is hier niet gelijk aan de interventiewaarde (5000 mg/kg). Voor kobalt, zink en minerale olie is de interventiewaarde gelijk aan de MW-Industrie.

³ Op zes van de velden bestond het analysepakket alleen uit zink.

Bermgronden in het voorliggende onderzoek hebben een hogere verontreinigingsgraad dan de bermgronden in de andere studies. Dat komt waarschijnlijk, omdat hierin de bovenste 10 cm zijn bemonsterd, terwijl in de andere studies de bemonsterde laagdikte 25 tot 50 cm is. Aangezien de rubbergranulaatkorrels boven in de grond blijven hangen leidt een grotere laagdikte tot meer verdunning. De aanwezigheid van verhoogde concentraties stoffen kobalt, zink en minerale olie komt overeen.

In de **sporttechnische laag** wordt op vijf van de onderzoekslocaties een ernstige zinkverontreiniging aangetroffen, bij vier andere velden is er een overschrijding van de MW-Industrie van minerale olie. In al deze gevallen was rubbergranulaat ook in de sporttechnische onderlaag verwerkt. Velden waar geen rubber in de onderlaag is verwerkt hebben over het algemeen een lagere verontreinigingsklasse. Opvallend is het voorkomen van barium en nikkel in de sporttechnische laag, waar op vier, respectievelijk, zeven velden de interventiewaarde wordt overschreden. Ook worden koper (bij acht velden boven de achtergrondwaarde (AW)) en PCB's (bij vier velden boven de

achtergrondwaarde) aangetroffen. Deze data zijn niet in de tabel weergegeven omdat niet aangetoond kan worden dat deze verhoogde concentraties een gevolg zijn van het gebruik van rubbergranulaat.

In de **zandonderbouw** die direct onder de sporttechnische laag ligt blijven de concentraties van barium, nikkel, koper en PCB's onder de achtergrondwaarde. Zink overschrijdt op twee velden de achtergrondwaarde in het zand onder de technische onderlaag. Voor minerale olie is dat op één veld het geval.

In het **drainagewater** wordt bij twee velden een lichte verontreiniging met zink aangetroffen (destreefwaarde ondiep grondwater wordt overschreden) en op twee andere velden een ernstige verontreiniging met zink (de interventiewaarde grondwater wordt overschreden). Op één locatie is een lichte verontreiniging met naftaleen aangetroffen.

Op één veld worden in de **natuurlijke ondergrond** kobalt en minerale olie concentraties boven de achtergrondwaarde aangetroffen. In het grondwater overschrijdt zink bij twee velden de achtergrondwaarde en op één veld de interventiewaarde. Minerale olie overschrijdt op twee velden de achtergrondwaarde. Op één veld zijn ook DDT, drins en organochloorbestrijdingsmiddelen en alpha-HCH aangetroffen boven de achtergrondwaarde. Deze zijn niet te wijten aan het rubbergranulaat, en de stoffen worden in de lagen erboven niet aangetroffen.

In het **grondwater** is één locatie met zowel zink als kobaltconcentraties boven de streefwaarde voor ondiep grondwater. Bovendien worden hier ook barium, nikkel en naftaleen boven de streefwaarde gevonden. Het is onduidelijk of dit door rubbergranulaat wordt veroorzaakt. Zink en barium worden elk op nog een andere locatie boven de streefwaarde aangetroffen. Ook minerale olie wordt bij een veld boven de streefwaarde aangetroffen.

De resultaten van deze andere onderzoeken laten zien dat toepassing en/of verspreiding van korrels kan leiden tot ernstige verontreiniging van de bermgrond. Dit sluit aan bij de resultaten van het huidige onderzoek. In hoeverre verhoogde concentraties kobalt, zink en minerale olie in de sporttechnische onderlaag veroorzaakt worden door rubber infill is op basis van deze studies moeilijk vast te stellen, omdat in de sporttechnische onderlaag in bijna de helft van de gevallen ook rubber is verwerkt. Uit het feit dat in het voorliggende onderzoek significant hogere concentraties van deze stoffen in de waterbodem worden aangetroffen, ook bij velden waar geen rubbergranulaat in de sporttechnische onderlaag is verwerkt, kan worden afgeleid dat rubber infill mede verantwoordelijk is voor de oplading van de technische onderlaag. Er worden, net als in de voorliggende RIVM studie, vrijwel geen normoverschrijdingen met PAK's waargenomen in de andere studies. De hoge zinkconcentraties in het drainagewater van locatie 8 worden bevestigd door metingen die de gemeente Groningen recent op meerdere velden heeft uitgevoerd. In tegenstelling tot wat in het huidige onderzoek is gevonden, worden in sommige andere onderzoeken wel verontreinigingen in het grondwater aangetroffen. Dit kan betekenen dat de aan rubbergranulaat gerelateerde stoffen het grondwater hebben bereikt, maar de oorzaak kan ook liggen in historische verontreiniging.

Er zijn geen onderzoeken bekend waarin metingen zijn verricht in oppervlaktewater en/of waterbodemb nabij kunstgrasvelden.

Weijer et al. (2017) onderzochten in welke mate, en ook waar, infill materialen in de leefomgeving terecht kunnen komen vanaf kunstgrasvelden. Zij stelden massabalansen op voor zes kunstgrasvelden in Nederland waaronder drie ingestrooid met rubbergranulaat van autobanden. Veruit de grootste hoeveelheid rubberdeeltjes (240-260 kg/jaar) bleek in de grasbermen rond de velden te belanden. Beduidend minder deeltjes komen terecht in het nabije oppervlaktewater (0-10 kg/jaar). Het infill in de berm werd aangetroffen tot minimaal 1 m afstand van de verharding en tot minimaal 10 cm diepte. De resultaten van het voor liggende RIVM-onderzoek ondersteunen deze conclusies van Weijer et al. (2017). Het RIVM-onderzoek is echter gebaseerd op een grotere steekproef (10 SBR velden) en bovendien zijn de concentraties van SBR deeltjes ook daadwerkelijk gemeten in grond en waterbodem. Daarnaast zijn nu de milieu-hygiënische gevolgen nader bekeken door de concentraties van een aantal stoffen te meten en deze concentraties te vergelijken met vigerende milieukwaliteitsnormen (zie paragraaf 3.1.6) op in bodem levende organismen en andere dieren (zie paragraaf 5.6).

Celeiro et al. (2018) analyseerden recent een aantal organische stoffen in runoff water van twee met rubber ingestrooide kunstgrasvelden in Spanje. Zij vonden in hun monsters onder meer enkele PAK's en ftalaten terug in de range van 0-10 microgram/liter, maar opvallend was een hoge concentratie benzothiazol (100 µg/L). De gehalten benzothiazol(verbindingen) in drainagewater in het voorliggende RIVM-onderzoek zijn aanmerkelijk lager (< 0,1 µg/L). Een verklaring kan zijn dat in de Spaanse studie het water direct op het veld is gemeten (persoonlijke mededeling M. Lompart), terwijl wij de drainagewatermonsters verzamelden na infiltratie door de technische onderlagen van het veld.

5.8 Rubberdeeltjes / microplastics

Hoewel de definitie van microplastics niet is vastgelegd worden rubber deeltjes vanuit milieukundig oogpunt als microplastics beschouwd (Verschoor, 2015). Het Nederlandse en Europese beleid zijn er op gericht om de emissie en verspreiding van microplastics naar het milieu te verminderen. Dit is onder andere vastgelegd in de Plastic Strategy, in OSPAR Regional Action Plans en de Kaderrichtlijn Mariene Strategie. In dat verband wordt ook gewerkt aan het verminderen van bandenslijtsel (Verschoor en de Valk, 2018). Er zijn geen milieukwaliteitsnormen voor microplastics of rubberdeeltjes. Een milieukwaliteitsnorm is moeilijk vast te stellen, omdat de kennis op het gebied van gedrag en effecten van microplastics nog onvolledig en gefragmenteerd is.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

De volgende onderzoeksvragen stonden centraal in dit onderzoek:

1. *Wat zijn concentraties rubbergranulaatdeeltjes in grond en waterbodem rondom kunstgrasvelden?*
2. *In welke mate komen stoffen afkomstig uit rubbergranulaat voor in (grond)water en (water)bodem rondom kunstgrasvelden?*
3. *Zijn er risico's voor het bodem- en waterleven?*
4. *Zijn er risico's voor de mens door consumptie van moestuingewassen die besproeid zijn met slootwater nabij kunstgrasvelden, of door andere blootstellingsroutes via het milieu?*
5. *Zijn er risico's voor andere dieren dan in water en bodem levende organismen, zoals vogels, en (landbouw)huisdieren?*

Antwoord op vraag 1.

Het aantal rubberdeeltjes is significant verhoogd in de bermen rondom de onderzochte kunstgrasvelden in vergelijking met referentielocaties. In de bovenste 10 cm van de bermgrond werd gemiddeld 17 gram rubbergranulaat per kg grond aangetroffen, tot een maximum van 35 gram/kg. In waterbodems werden ook rubberdeeltjes aangetroffen, maar de hoeveelheden deeltjes waren veel lager dan in de bermgronden rondom de velden (gemiddeld 0,9 gram korrels/kg waterbodem rondom de velden).

Antwoord op vraag 2.

In **bermgrond** rondom de onderzochte kunstgrasvelden zijn duidelijke verhogingen waargenomen in de concentraties van een aantal stoffen. Het is aangetoond dat de concentratietoename van cadmium, kobalt, zink, PAK's, minerale oliën en benzothiazolen veroorzaakt is door de rubberdeeltjes. Voor zink, kobalt en minerale oliën worden de maximale waarden (MW) uit het Besluit Bodemkwaliteit overschreden: op bijna alle locaties (negen) is er een overschrijding van de MW Wonen en op enkele locaties (vier) is er voor zink en/of minerale oliën ook een overschrijding van de MW Industrie. Bij overschrijding van de generieke MW-Wonen kunnen eventueel lokale maximale waarden worden afgeleid. Bij kunstgrasvelden geldt de zogenaamde 'zorgplicht'. Het veld mag de bodem niet verontreinigen. Als dit toch gebeurt, moet die verontreiniging (op enig moment) worden verwijderd.

In het **grondwater** bij de onderzochte kunstgrasvelden zijn geen verhoogde concentraties aangetroffen. Uitspoeling van stoffen uit de bodem of het kunstgras naar het grondwater lijkt dus niet aan de orde. Door de binding van stoffen in constructieve onderlagen en in de natuurlijke ondergrond wordt de emissie naar grondwater vertraagd, maar is op termijn niet uit te sluiten. In sommige andere studies worden overschrijdingen van de streefwaarde grondwater gevonden (bijvoorbeeld voor kobalt, zink en minerale olie). Het is niet bekend of dit een gevolg is van de aanwezigheid van kunstgras met

rubbergranulaat, de gebruikte steunlagen of de lokale achtergrondconcentratie.

In het **drainagewater** worden op vier locaties verhogingen in concentraties van stoffen gezien die waarschijnlijk gerelateerd zijn aan rubbergranulaat op of in het veld. Op een van deze locaties gaat het om zeer sterke verhoging van met name de concentratie zink. Hier vindt een zeer ruime (meer dan 250 x) normoverschrijding van de MAC-MKN oppervlaktewater voor zink plaats als ook een ruime (meer dan 15 x) overschrijding van de MAC-MKN voor kobalt. Op dit veld is rubbergranulaat ook in de ondergrond verwerkt, waardoor de hoge concentraties mogelijk worden verklaard. Het is onbekend op hoeveel plaatsen in Nederland rubbergranulaat in de ondergrond is verwerkt.

Ook zijn op deze vier locaties verhoogde concentraties van diverse PAK's aangetroffen. De concentraties zijn in alle gevallen lager dan de MAC-MKN, maar op drie locaties treedt wel overschrijding van de JG-MKN voor fluoranteen op. Dit is een indicatieve toetsing, want de normen zijn niet van toepassing voor het drainagewater, maar voor het ontvangende oppervlaktewater. Het is aan het bevoegd gezag om eisen te stellen aan water dat geloosd wordt op het oppervlaktewater. Op alle locaties zijn in het drainagewater verhoogde concentraties benzothiazolen gevonden. Benzothiazolen zijn kenmerkend voor rubber. Ook de SIMONI-bioassays geven een signaal dat duidt op de aanwezigheid van milieuvreemde organische stoffen in het drainagewater bij kunstgrasvelden met rubbergranulaat.

De **sloten** rondom kunstgrasvelden wijken qua samenstelling af van de sloten rondom de referentievelden. Dat betreft lagere concentraties koper, nitraat en magnesium. Er zijn echter geen verhoogde concentraties waargenomen van verontreinigende stoffen in vergelijking met de referentiepunten. Het gebruik van rubbergranulaat heeft dus tot nu toe niet geleid tot risico's voor het oppervlaktewater.

In de **waterbodem** worden op een zestal locaties verhogingen in concentraties van stoffen gezien die gerelateerd zijn aan rubbergranulaat. Het overall beeld is echter niet zo sterk als bij bermgrond. De verhoogde concentraties in waterbodem zijn gerelateerd aan de 'aanvoer' van de stoffen via het drainagewater. Op twee locaties wordt vanwege zink de bagger ingedeeld in kwaliteitsklasse B. Dit betekent dat de bagger alleen verspreidbaar is in oppervlaktewater en op land, als een gebiedsspecifieke beoordeling uitwijst dat dat veilig is. Er is geen verband tussen het aantal aangetroffen rubberdeeltjes in de waterbodem en de gemeten concentraties van stoffen.

De andere onderzoeken (paragraaf 5.7) tonen dat de sporttechnische onderlagen ernstig verontreinigd kunnen zijn met zink en minerale olie. In die gevallen was er ook rubber in de sporttechnische laag verwerkt. Andere stoffen die regelmatig in hoge concentraties gevonden zijn barium, kobalt en nikkel. De zandonderbouw was in enkele gevallen verontreinigd met zink. Bij twee velden op hetzelfde sportcomplex was het drainagewater ernstig verontreinigd met zink, ook hier was rubber in de sporttechnische laag verwerkt. De metingen in het drainagewater bevestigen de resultaten van de voorliggende studie.

In algemene zin toont dit RIVM-onderzoek dat het gebruik van rubbergranulaat op kunstgrasvelden kan leiden tot lokale verontreinigingen van bermgrond en waterbodembodem met rubberdeeltjes en aan rubbergranulaat gerelateerde stoffen. In de milieucapartimenten grondwater en oppervlaktewater heeft geen verontreiniging plaats gevonden waardoor de kans op verdere verspreiding van de stoffen uit rubbergranulaat via deze routes gering is.

Antwoord op vraag 3

In de bermgrond kunnen de concentraties aan zink en minerale olie boven de MW Wonen leiden tot effecten op het ecosysteem. In het bodembeleid wordt bij pas gesproken over 'actuele ecologische risico's' als meer dan 5.000 m² onverhard oppervlak is verontreinigd met een mengsel van stoffen die een hoge 'Toxische Druk' (TD) geven. Het is de vraag of een dergelijke omvang van het onverharde oppervlakte rondom een sportcomplex in de nabijheid van kunstgrasvelden aanwezig is en of de gehalten in dit hele gebied de TD-grens overschrijden. Een 'actueel ecologische risico' conform het bodembeleid voor historische verontreinigingen is niet aangetoond.

Het waterleven lijkt niet direct een risico te lopen, de waterkwaliteit in sloten naast kunstgrasvelden met rubbergranulaat is niet slechter dan bij de referentievelden. Bioassays (PXR-assays) die aanslaan op de aanwezigheid van milieuvreemde organische stoffen laten echter een respons zien. Dit duidt op een biologisch effect van het drainagewater. Of die respons ook optreedt in het oppervlaktewater, waar verdunning van drainagewater heeft plaatsgevonden, is niet onderzocht. Organismen die in de waterbodembodem leven of fourageren kunnen wel hinder ondervinden van te hoge zinkconcentraties op twee locaties, waarvan op één locatie het verband met rubbergranulaat niet aantoonbaar is. Hier zal naar verwachting de soortenrijkdom afnemen. De resultaten van de chemische beoordeling worden op acht locaties bevestigd door de bioassays (zeven keer in beide gevallen geen effect, één keer in beide gevallen wel effect).

Antwoord op vraag 4

Het oppervlaktewater en het grondwater blijken niet verontreinigd te zijn als gevolg van het gebruik van rubbergranulaat op de onderzochte kunstgrasvelden (zie antwoord vraag 2). Daarom zijn de risico's voor de mens bij consumptie van moestuingewassen die besproeid zijn met slootwater nabij kunstgrasvelden met rubbergranulaat naar verwachting vergelijkbaar met situaties waar slootwater van echte grasvelden wordt gebruikt. Andere blootstellingsroutes van de mens via het milieu (drinkwater uit grondwater en visconsumptie) leiden eveneens tot verwaarloosbare risico's op basis van dit onderzoek. Spelende kinderen die per ongeluk bermgrond met rubberkorrels opeten, inademen of op de huid krijgen, lopen geen risico.

Antwoord op vraag 5

Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat vogels of zoogdieren nadelige effecten ondervinden van de rubberkorrels die of op het kunstgrasveld liggen of in het omringende milieu zijn beland. Van zink is bekend dat er geen ophoping van de stof in de voedselketen plaats vindt.

6.2 Aanbevelingen

Dit is een verkennend milieu-onderzoek naar mogelijke effecten van kunstgrasvelden met rubbergranulaat. Het is dan ook primair opgezet om deze vraag te beantwoorden. Op sommige locaties zijn normoverschrijdingen en mogelijke risico's geconstateerd in de monsters die het RIVM heeft onderzocht.

Het doel van het onderzoek was niet om antwoord te geven op de vraag of locaties om milieuhygiënische redenen gesaneerd moeten worden. Dat is ook niet aan de orde, omdat voor bodemverontreinigingen na 1987 de 'zorgplicht' geldt. Het veld mag de bodem niet verontreinigen. Als dit toch gebeurt, moet die verontreiniging (op enig moment) worden verwijderd.

Deze studie duidt erop dat de grootste milieubelasting wordt veroorzaakt door de verspreiding van korrels naar de bermgrond. Daarnaast is er echter een geleidelijke, en moeilijker te beheersen lekkage van stoffen vanuit het veld naar het drainagewater, en via het drainagewater naar de waterbodem. Het RIVM beveelt aan om maatregelen te treffen om de verspreiding van rubberkorrels naar de bermgrond te voorkomen en om de uitstoot verspreiding van stoffen via het drainagewater te beperken. Het is aan de betrokken stakeholders om hiervoor oplossingen te bedenken. Deze studie geeft daarop geen antwoord.

De andere studies, van individuele gemeenten, geven aan dat de technische onderlaag vaak verontreinigd is met stoffen uit rubbergranulaat. Diverse typen onderlagen worden toegepast. Onderzoek naar de bindingscapaciteit en omstandigheden waardoor uitloging wordt bepaald kan inzicht geven in de "effectiviteit" en "houdbaarheid" van verschillende onderlagen.

De conclusies zijn duidelijk. Toch is er op onderdelen verbetering van de risicobeoordeling mogelijk. Een grotere steekproef zou tot meer zekerheid en statistische significanties kunnen leiden. Veld 8, dat 28 jaar oud is en rubbergranulaat in de technische steunlaag heeft, laat hoge zinkconcentraties zien in drainagewater en in de ontvangende waterbodem. De verwerking van rubbergranulaat in de technische steunlaag kan een risicofactor zijn. Een inventarisatie van hoe vaak rubbergranulaat in de technische steunlaag is verwerkt bij Nederlandse kunstgrasvelden, en metingen in het drainagewater van dergelijke velden wordt daarom aanbevolen.

De rol en betekenis van bioassays voor de risicobeoordeling en/of normstelling zijn nog niet verankerd in richtlijnen en regelgeving. De discussie hierover is gaande, zowel op nationaal als op Europees niveau. Naar aanleiding van de respons van de PXR-assay op organische contaminanten in het drainagewater wordt aanbevolen om te onderzoeken of deze effecten ook nog zichtbaar zijn na verdunning van het drainagewater in het oppervlaktewater. De focus van dit onderzoek lag bij rubbergranulaat gemaakt uit oude autobanden. Het verdient aanbeveling om ook de milieubelasting van

andere infill-materialen, zoals EPDM, TPE en kurk, te onderzoeken. Daarnaast pleit het RIVM voor een geïntegreerde beoordeling van de aspecten veiligheid, duurzaamheid én circulariteit van rubbergranulaat en andere infill materialen.

7

Referenties

- Bocca, B., et al. (2009). "Metals contained and leached from rubber granulates used in synthetic turf areas." Science of The Total Environment **407**, p. 2183-2190.
- Brand, E., P. Otte and J. Lijzen (2007). CSOIL 2000: an exposure model for human risk assessment of soil contamination. A model description, RIVM, Report no. 711701054/2007, 90 blz.
- Celeiro, M., T. Dagnac and M. Lompart (2018). "Determination of priority and other hazardous substances in football fields of synthetic turf by gas chromatography-mass spectrometry: A health and environmental concern." Chemosphere **195**, p. 201-211.
- de Vries, H. and P. van der Maas (2018). Oriënterend onderzoek drainagewater kunstgrasvelden i.r.t. rubberkorrels. . Uitgevoerd door WLN en waterschap Noorderzijlvest, Report no. 26-01-2018 v2, 5 blz.
- de Wit, J., et al. (2018). Gewasbeschermingsmiddelen en biociden op kunstgrasvelden. Verkennende studie naar het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en biociden voor onderhoud van kunstgras sportvelden en verkenning verspreiding naar grond- en oppervlaktewater, BSNC, STOWA, Report no. STOWA 2017-30, 124 blz.
- Dirven-Van Breemen, E. M., et al. (2007). Landelijke referentiewaarden ter onderbouwing van maximale waarden in het bodembeleid, RIVM, Report no. 711701053, 134 blz.
- Min. VROM (2009). NOBO: Normstelling en bodemkwaliteitsbeoordeling. Onderbouwing en beleidsmatige keuzes voor de bodemnormen in 2005, 2006 en 2007, 140 blz.
- Oomen, A. G. and G. M. De Groot (2017). Evaluation of health risks of playing sports on synthetic turf pitches with rubber granulate, RIVM, Report no. RIVM Report 2017-0016, 52 blz.
- Pochron, S. T., et al. (2017). "The response of earthworms (*Eisenia fetida*) and soil microbes to the crumb rubber material used in artificial turf fields." Chemosphere **173**, p. 557-562.
- Postma, J., et al. (2018). Rubbergranulaat op kunstgrasvelden. Mogelijke risico's voor het aquatisch ecosysteem. Onderzoek in opdracht van STOWA., Report 2018-37, 45 blz.
- TNO (2018). "Geologie van Nederland. Een tijdreis van 500 miljoen jaar. (<http://www.geologievannederland.nl/ondergrond/afzettingen-en-delfstoffen/grondwater>, 5 juni 2018)."
- Verschoor, A. (2015). Towards a definition of microplastics. Considerations for the specification of physico-chemical properties, Report no. 2015-0116, 27 blz.
- Verschoor, A. J. (2007). Leaching of zinc from rubber infill on artificial turf (football pitches), RIVM, Report no. 601774001, 55 blz.
- Verschoor, A. J. and E. de Valk (2018). Potential measures against emission of microplastics to water, RIVM, Report no. 2017-0193, 64 blz.

Weijer, A., J. Knol and U. Hofstra (2017). Verspreiding van infill en indicatieve massabalans. Rapport i.o.v. BSCN i.s.m. gemeenten Rotterdam, Utrecht, Amsterdam en Den Haag, SWECO, INTRON, 48 blz.

Bijlage 1. Samenstelling klankbordgroepen

Wetenschappelijke klankbordgroep

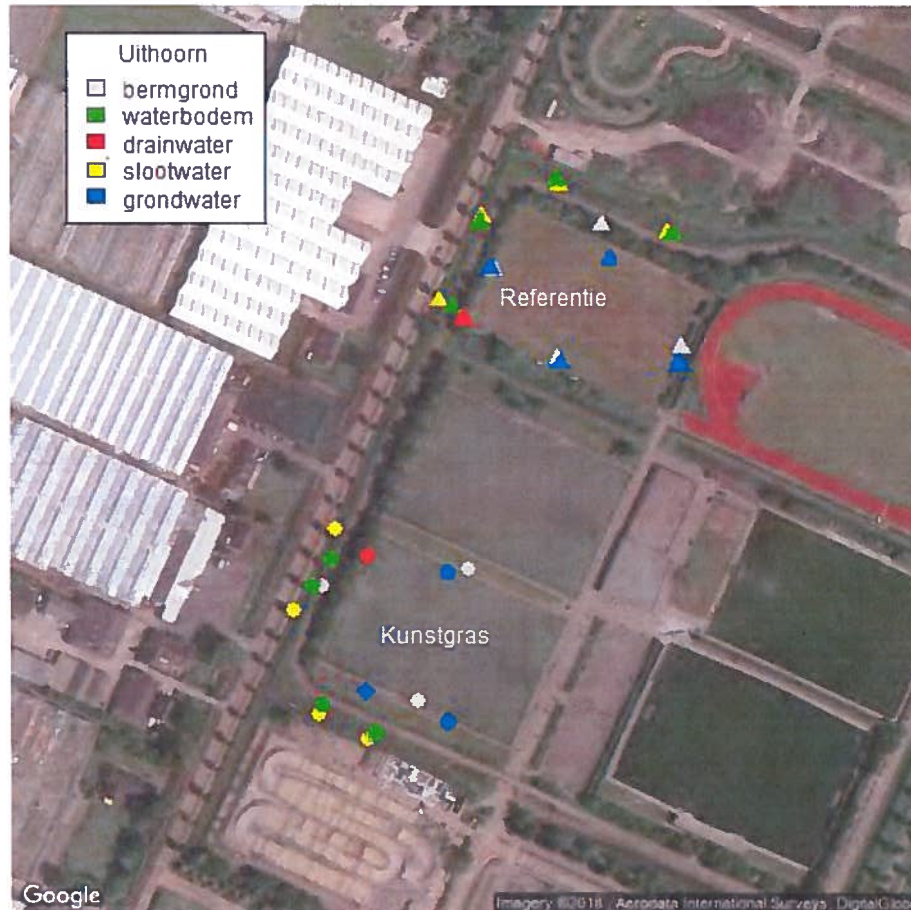
Dr. C. W.M. Bodar (RIVM, voorzitter)
Prof. Dr. R.N.J. Comans
Prof. Dr. A.A. Koelmans
Prof. Dr. A.M.J. Ragas
Prof. Dr. W. P. de Voogt
Ir. Th. Edelman

Maatschappelijke klankbordgroep

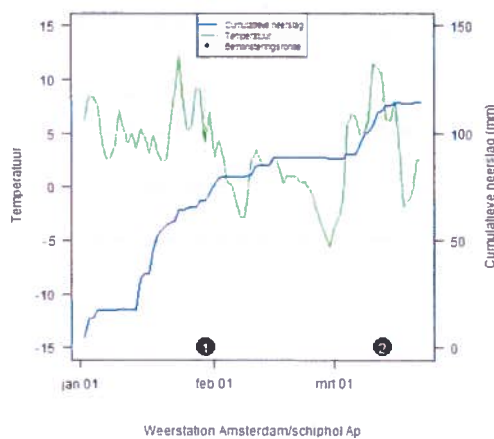
Jos Theeuwen (RIVM, voorzitter)
Martin van Gelderen (ministerie I&W)
Paul de Wilde (RWS)
Walter Klomp (ILenT)
Thijs Warnier (provincie Limburg)
PB van Tijn (Omgevingsdienst Zuid-Holland Zuid)
Marcel Bouwmeester (gemeente Utrecht)
Edith Kruger (Unie van Waterschappen)
Bas van der Wal (STOWA)
Hub Meuffels (DCMR)
Marcel Koeleman (DCMR)
Jelle Doosje (GGD GHOR NL)
Patrick Balemans (KNVB)
Seth van der Wielen (BSNC)
Robbert van Duin (Recycling Netwerk)
Alex van Gelderen (RecyBem)
Frank Hopstaken (RecyBem)
Jan-Tonny Visser (KNKV)

Bijlage 2. Locatie omschrijvingen

Locatie 1 Uithoorn

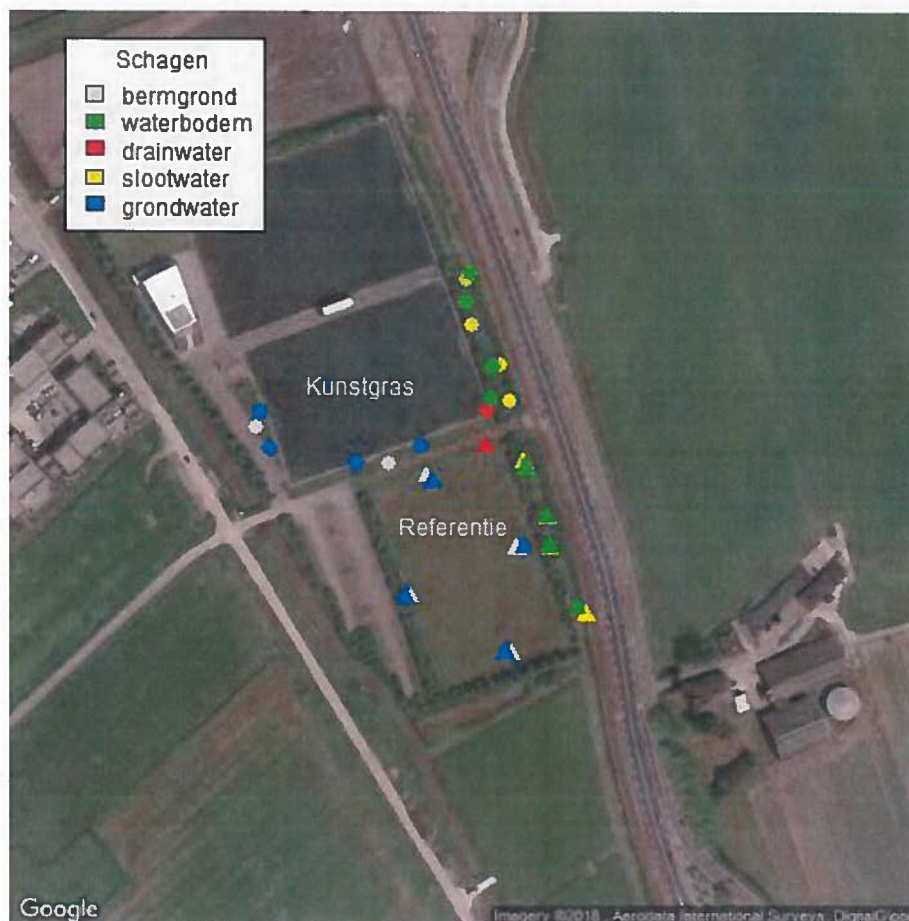


Meteo-gegevens

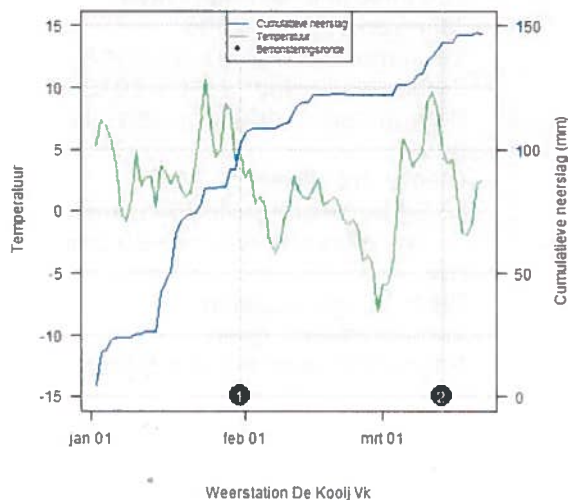


Technische onderlaag: lava
 Jaar van aanleg: 2009
 1e bemonstering: 30-01-2018
 2e bemonstering: 12-03-2018
 Bemonstering drainagewater in put
 Diepte grondwater:
 Bij kunstgras 50-70 cm-mv
 Bij referentieveld: 70 cm-mv
 Bestrijdingsmiddelen
 kunstgrasveld: geen.
 Laatste gebaggerd: 1998

Locatie 2 Schagen



Meteo-gegevens



Technische onderlaag:

zand/steaگران

Jaar van aanleg: 2006

1e bemonstering: 31-01-2018

2e bemonstering: 13-03-2018

Bemonstering drainagewater in put

Diepte grondwater:

Bij kunstgras: 60-90 cm-mv

Bij referentieveld: 70-170

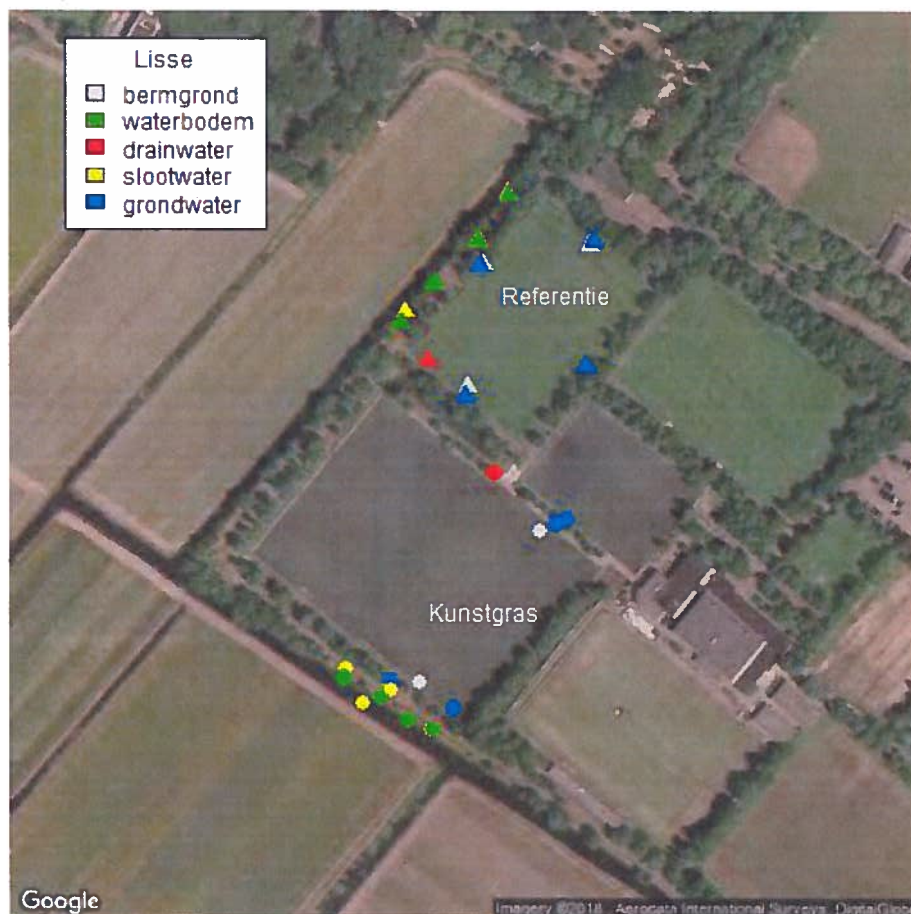
cm-mv

Bestrijdingsmiddelen

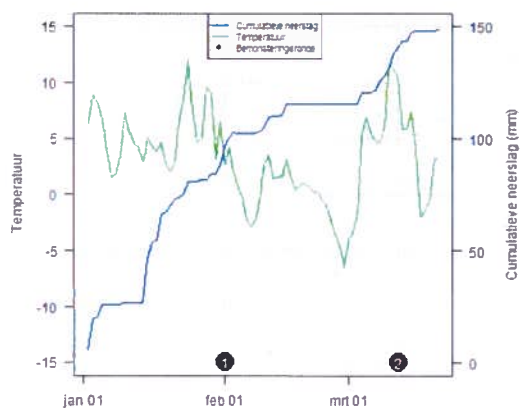
kunstgrasveld: Geen. Onkruid wordt bestreden door vegen en wieden.

Laatst gebaggerd: onbekend

Locatie 3 Lisse



Meteo-gegevens



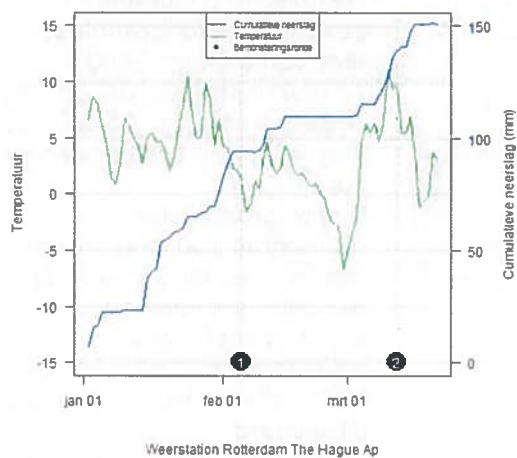
Weerstation Voorschoten Aws

Technische onderlaag: lava
 Jaar van aanleg: 2008
 1e bemonstering: 01-02-2018
 2e bemonstering: 12-03-2018
 Bemonstering drainagewater in put.
 Diepte grondwater:
 Bij kunstgras: 65-80 cm-mv
 Bij referentieveld: 60-90 cm-mv
 Bestrijdingsmiddelen
 kunstgrasveld: geen
 Baggeren: eens per 4 à 5 jaar.

Locatie 4 Vlaardingen



Meteo-gegevens



Technische onderlaag: lava-zand

Jaar van aanleg: 2006

1e bemonstering: 05-02-2018

2e bemonstering: 12-03-2018

Bemonstering drainagewater in put

Diepte grondwater

Bij kunstgras: 60 cm-mv

Bij referentieveld: 60 cm-

mv

Bestrijdingsmiddelen

kunstgrasveld: geen, laatste

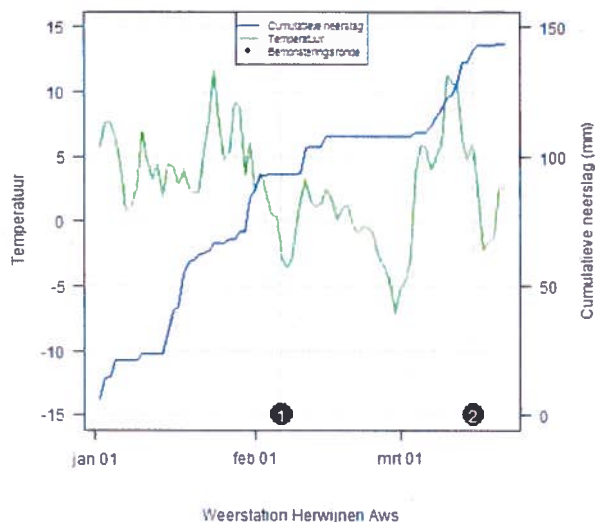
jaar enkel azijnzuur en zout langs de randen.

Laatst gebaggerd: onbekend

Locatie 5 Den Bosch

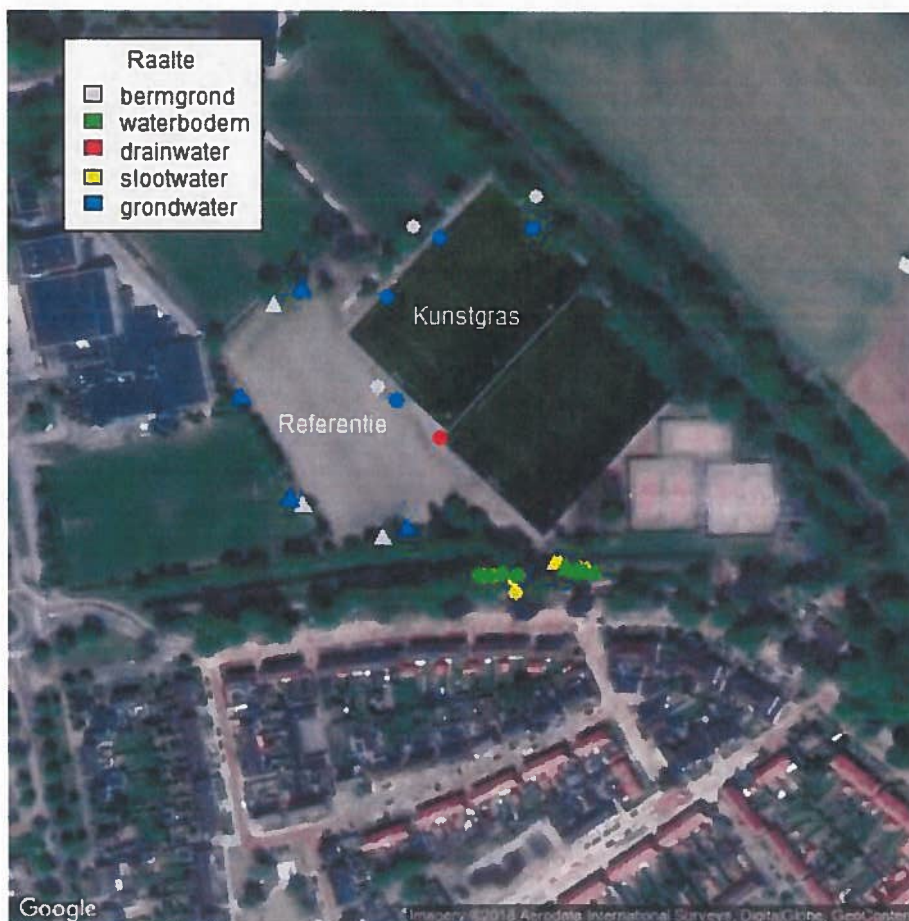


Meteo-gegevens

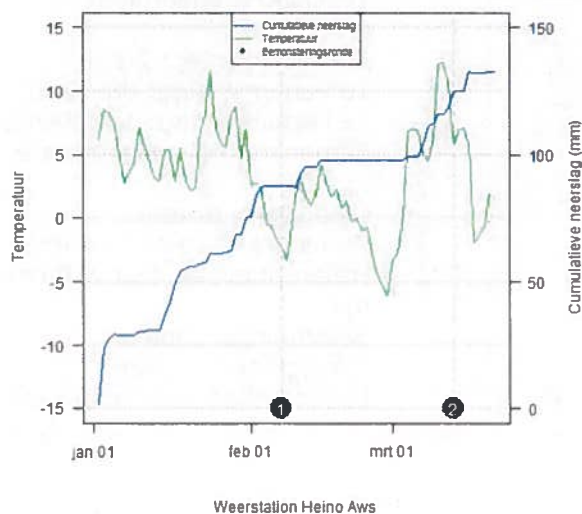


Technische onderlaag:
gewassen betongranulaat
Jaar van aanleg: 2008
1e bemonstering: 06-02-2018
2e bemonstering: 15-03-2018
Bemonstering drainagewater in
put.
Diepte grondwater:
-kunstgras 150-160 cm-mv
-referentievel: 135-170 cm-mv
Bestrijdingsmiddelen
kunstgrasveld: geen
bestrijdingsmiddelen sinds
2013, alles wordt machinaal
uitgevoerd.
Laatst gebaggerd: 2014 (eens
per 7 jaar)

Locatie 6 Raalte



Meteo-gegevens



Technische onderlaag: granulight

Jaar van aanleg: 2008

1e bemonstering: 07-02-2018

2e bemonstering: 13-03-2018

Bemonstering drainagewater in put, die vermoedelijk de gecombineerde drainage van kunstgras en referentieveld afvoert.

Diepte grondwater:

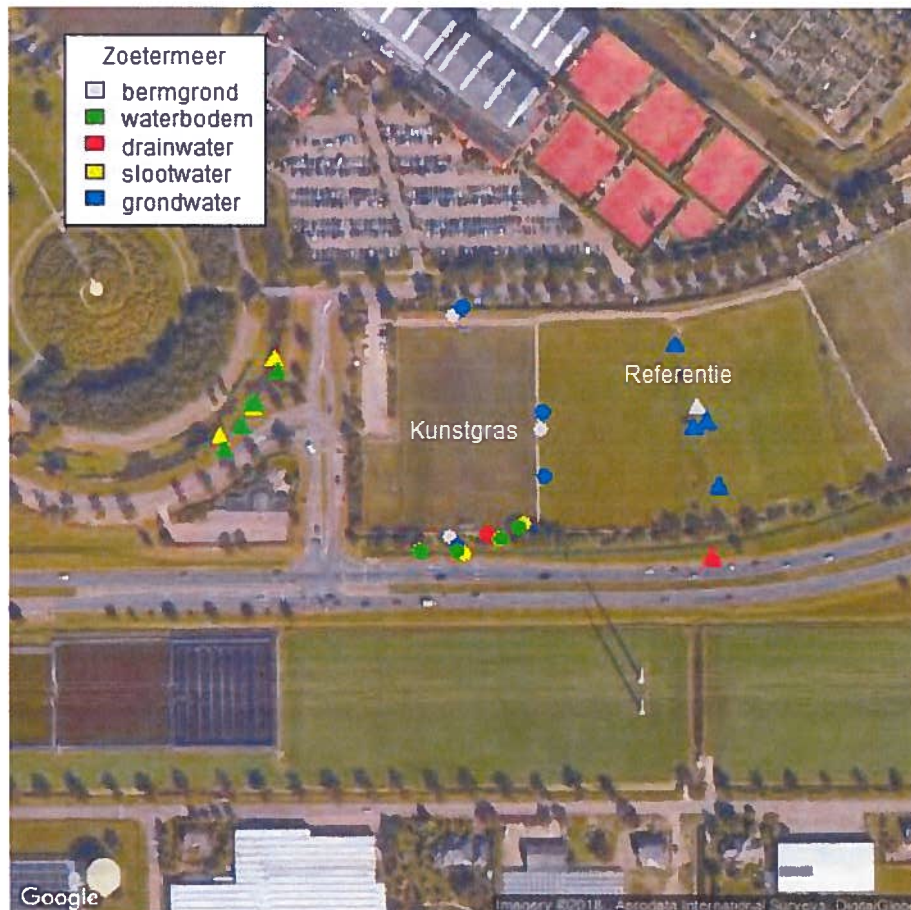
- kunstgras 90-100 cm-mv

- referentieveld: 80-90 cm-mv

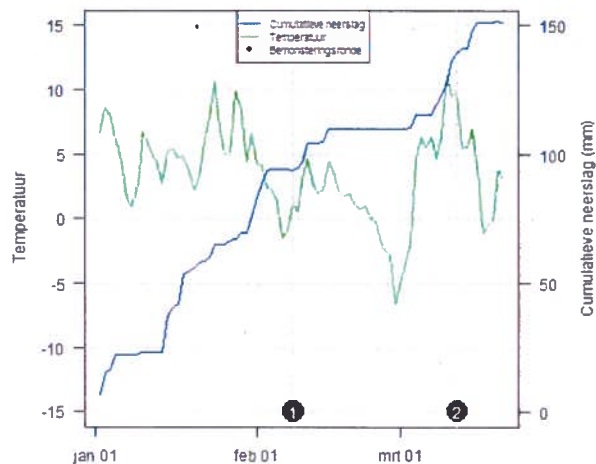
Bestrijdingsmiddelen kunstgrasveld: velden intensief onderhouden, waar toch algen voorkomen, gebruikt men Dimanin-algendoder (alkyl-dimethylbenzylammoniumchloride). Met name langs de randen.

Laatst gebaggerd: onbekend.

Locatie 7 Zoetermeer



Meteo-gegevens



Weerstation Rotterdam The Hague Ap

Technische onderlaag:
granuliet

Jaar van aanleg: 2006

1e bemonstering: 08-02-2018

2e bemonstering: 12-03-2018

Bemonstering drainagewater
in put

Diepte grondwater:

-kunstgras 110-190 cm-mv

-referentieveld: 160-250 cm-
mv

Bestrijdingsmiddelen

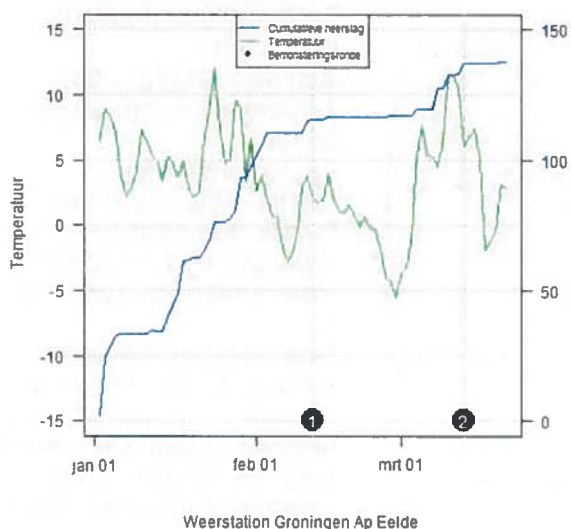
kunstgrasveld: geen

Laatst gebaggerd: onbekend

Locatie 8 Groningen

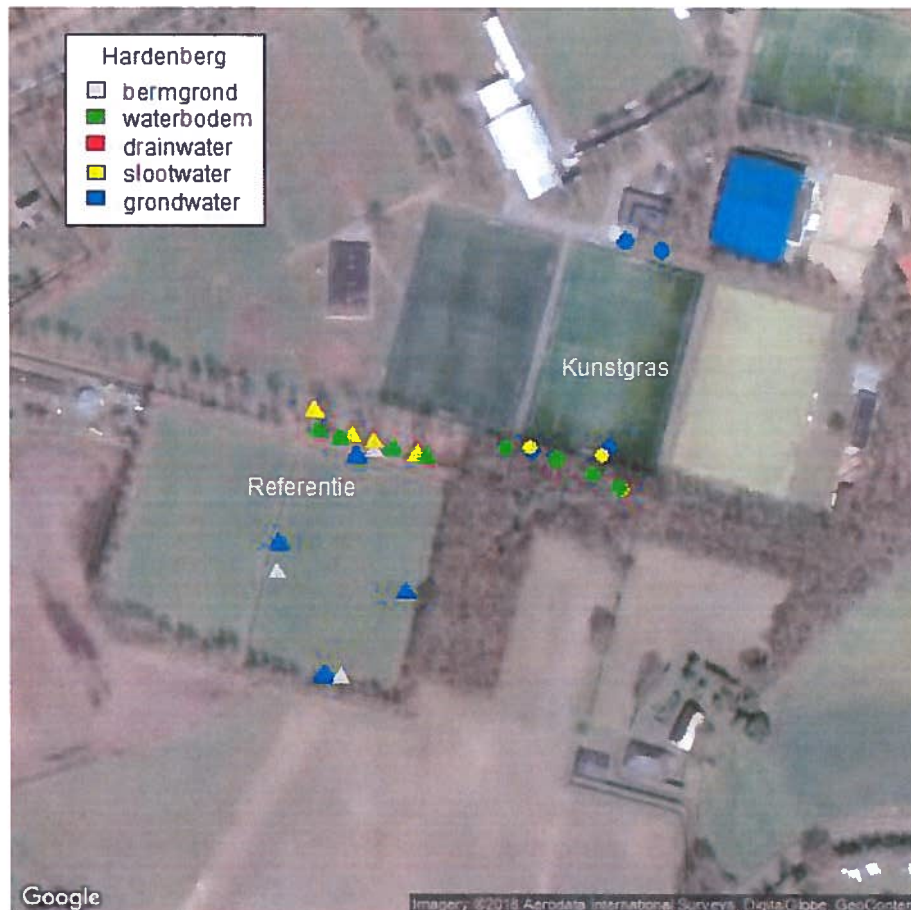


Meteo-gegevens

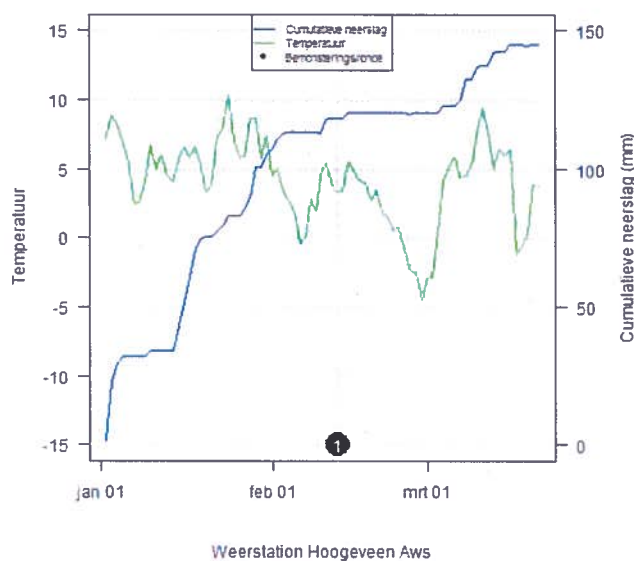


Technische onderlaag:
zand-rubber
Jaar van aanleg: 1990,
renovatie 2008
1e bemonstering: 12-02-2018
2e bemonstering: 13-03-2018
Bemonstering drainagewater
in put bij kunstgras, in
uitstroom bij referentieveld.
Diepte grondwater:
-kunstgras 60-90 cm-mv
-referentieveld: 90-170 cm-
mv
Bestrijdingsmiddelen
kunstgrasveld: geen
Laatst gebaggerd: >10 jaar
geleden.

Locatie 9 Hardenberg

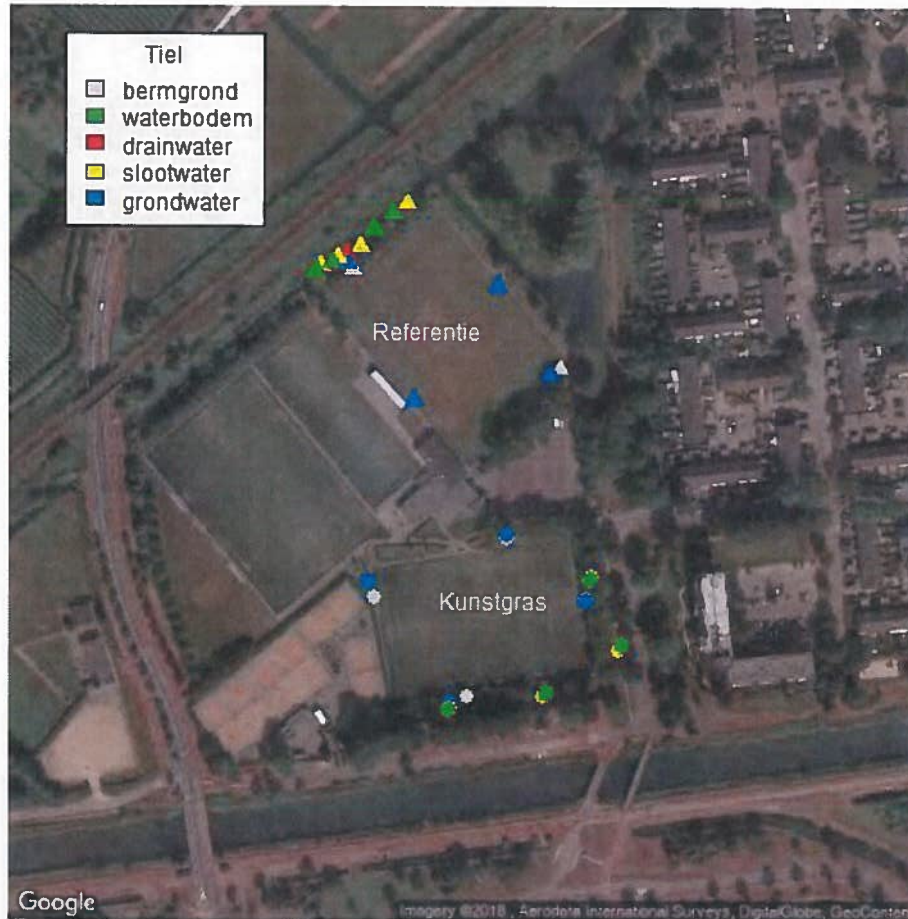


Meteo-gegevens

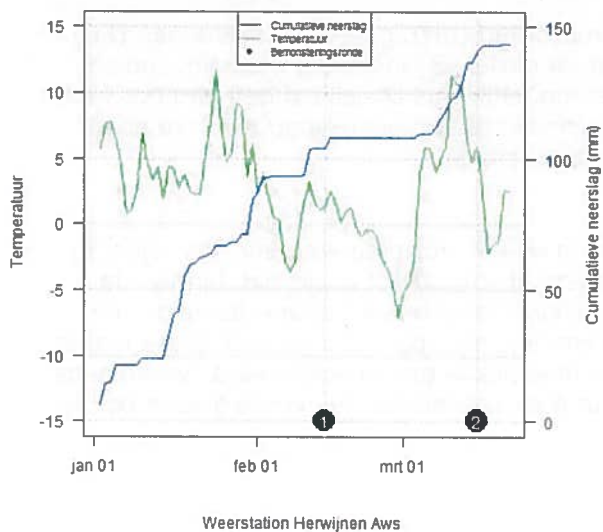


Technische onderlaag:
lava-zand
Jaar van aanleg: 2009
1e bemonstering: 13-02-2018
2e bemonstering: -
Geen drains gevonden.
Diepte grondwater:
-kunstgras 120-160 cm-mv
-referentieveld: 125-140 cm-mv
Bestrijdingsmiddelen
kunstgrasveld: Af en toe 'BioMos' (didecyldimethyl) ter bestrijding van algen en mos langs de randen van het veld/overgang gras, beton.
Laatst gebaggerd: onbekend

Locatie 10 Tiel



Meteo-gegevens



Technische onderlaag:

lava-rubber

Jaar van aanleg: 2009

1e bemonstering: 14-02-2018

2e bemonstering: 15-05-2018

Bemonstering drainagewater bij uitstroom.

Diepte grondwater:

-kunstgras 75-140 cm-mv

-referentieveld: 75-90 cm-mv

Bestrijdingsmiddelen

kunstgrasveld: geen

Laatst gebaggerd: onbekend

Bijlage 3. Bemonsteringsprocedure

Grondwater

Langs elke zijde van het veld is er op één plek met een edelmanboor tot tenminste in de bovenste 1,5 meter vanaf het maaiveld een gat geboord. Met behulp van een monstername lans en een slangenpomp [1] is, nadat minimaal 1 liter is voorgespoeld, hieruit 1 liter ongefilterd grondwater verzameld in een 5 liter glazen fles. Het grondwater van de andere zijden werd in dezelfde fles opgevangen, gehomogeniseerd en overgeschonken in diverse flessen ten behoeve van de analyse. De flessen zijn afkomstig van de diverse laboratoria en zijn, indien nodig, door het laboratorium voorzien van een conserveringsmiddel.



Foto 1 Grondwatermonstername langs het veld.

In het resterende water zijn zuurgraad (pH), geleidend vermogen (EC) [2] en de gehalten aan nitraat en nitriet [3] indicatief bepaald. Indien het door omstandigheden niet mogelijk was om alle zijden van het veld te bemonsteren, zijn de vier grondwaterbemonsteringspunten zo goed mogelijk verspreid over de overige zijden.

Bermgrond

Met een graszodeboor [4] zijn in een lijnvorming element, per zijde 20 steken genomen van de bovenste 10 cm, vanaf maaiveld, binnen de eerste 2 meter vanaf het onverharde deel naast het voetbalveld. Alle steken zijn verzameld in een emmer, waarna het organisch materiaal is verwijderd en daarna zo goed mogelijk is gehomogeniseerd. Vervolgens is het monster overgebracht in door het lab aangeleverde glazen potten ter analyse.

Oppervlaktewater

Ook hier geldt dat er bij voorkeur langs de 4 zijden van het veld één oppervlaktewater monster is genomen. Het monster is genomen door een schep uit de sloot te nemen, met een maatbeker (inhoud 1 liter) die aan een uitschuifbare stok bevestigd is [5].



Foto 2 Oppervlaktewater monsternamen.

In veel gevallen was een verdeling van één monsterpunt per zijde niet mogelijk en zijn de monsterpunten evenredig verdeeld over de aanwezige sloten aangrenzend aan het veld. Per punt werd 1 liter water opgevangen. De monsters werden verzameld in een 5 liter glazen fles. Het verzamelde oppervlaktewater werd gehomogeniseerd en overgeschonken in diverse flessen ten behoeve van verschillende analysepakketten. De flessen zijn afkomstig van de diverse laboratoria en zijn, indien nodig, voorzien van een conserveringsmiddel. In het resterende water zijn zuurgraad (pH), geleidend vermogen (EC) [2] en de gehalten aan nitraat en nitriet [3] indicatief bepaald.

Waterbodem

In de nabijheid van elk oppervlaktewater monsterpunt zijn tevens vier waterbodemmonsters genomen door een zogeheten Ekman grijper te laten zakken tot op de bodem en een hap van circa 10 cm diep te nemen.



Foto 3 Waterbodem monsternamen.

De monsters werden verzameld en gehomogeniseerd in een emmer. Het mengmonster werd vervolgens overgebracht in diverse glazen potten ten behoeve van verschillende analysepakketten.

Drainwater en passive samplers

Vaak komen de drainagebuizen onder het veld uit in een verzamelput. Deze putten werden vrijgemaakt en hieruit werd het drainwater met een maatbeker bemonsterd. Op twee locaties was dit niet mogelijk (locatie 7 en 10), en zijn individuele drains vrijgemaakt voor zowel het granulaat- als referentieveld. Bij locatie 8 enkel bij het referentieveld. Hieruit is vervolgens het monster genomen.

Voor locatie 6 waren er op het referentieveld geen putten of drains aanwezig. Op locatie 9 waren voor zowel het granulaat- als referentieveld geen putten of drains aanwezig. Naast deze monsters zijn er 'passive samplers' opgehangen in elke verzamelput waar het drainwater in uit kwam ten behoeve van bioassays voor het STOWA onderzoek. Apolaire organische microverontreinigingen worden door de passive sampler aan een siliconenvlies geconcentreerd. Dit is nuttig voor stoffen die door hun slechte oplosbaarheid in water vaak moeilijk direct meetbaar zijn water. De samplers werden zodanig geplaatst dat er voldoende uitwisseling was met het water uit de drains.

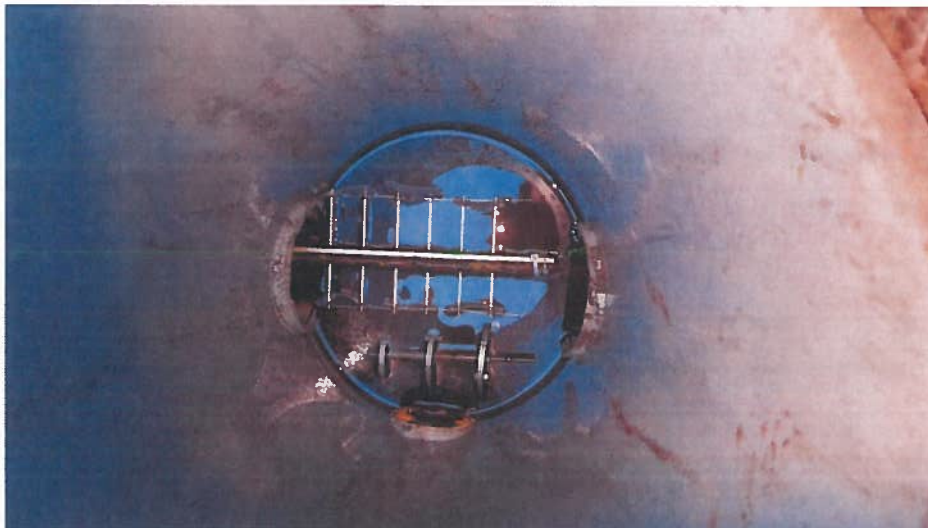


Foto 4 Passive samplers in verzamelput.

De samplers bleven vier weken hangen en zijn daarna door STOWA uit de put gehaald voor analyse en bioassays.

Referenties werkprotocollen

1. RIVM MIL-W-4015 Grondwaterbemonstering met een bemonsteringslans en slangenpomp op zand-, klei- of veengronden. Bilthoven 2018.
2. RIVM MIL-W-4006 Bepaling van de pH, Soortelijke geleiding en zuurstof in een waterige vloeistof met de WTW Multi 350i.
 1. Bilthoven 2016.
2. RIVM MIL-W-4001 Het meten van de nitraatconcentratie in een waterige oplossing m.b.v. een Nitrachek-reflectometer (type 404) Bilthoven 2016
3. RIVM MIL-W-4201 Monsternamen van de BODEM met een grote graszodenmonsterboor. Bilthoven 2018.
4. RIVM MIL-W-4012 Monsterneming van oppervlakte-/slootwater met een maatbeker. Bilthoven 2017.
5. RIVM MIL-W-4012 Monsterneming van oppervlakte-/slootwater met een maatbeker. Bilthoven 2017.

Bijlage 4 Standaard analysemethoden

Slootwater en drainwater

Parameter	Analysemethode
DOC	Conform NEN-EN 1484
pH	NEN-EN-ISO 10523
geleidingsvermogen (25°C)(EC)	Conform NEN-ISO 7888 en conform NEN-EN 27888
aluminium, antimoon, arseen, barium, cadmium, calcium, chroom, kobalt, kalium, koper, lood, magnesium, mangaan, molybdeen, natrium, nikkel, tin, vanadium, ijzer, zink	Conform NEN 6966 en conform NEN-EN-ISO 11885
kwik	Conform NEN-EN-ISO 17852
ammonium, chloride, nitriet, nitraat	Conform NEN-ISO 15923-1
fosfaat (totaal)	Eigen methode (voorbehandeling eigen methode, meting conform NEN-EN-ISO 15681-2)
kjeldahl-stikstof	Eigen methode (voorbehandeling conform NEN 6646, meting conform NEN-EN-ISO 11732)
totaal stikstof	Eigen methode (Sommatie van NKJ, NO2 en NO3)

Grondwater

Parameter	Analysemethode
DOC	Conform NEN-EN 1484
pH	Conform AS3110-1 en Conform NEN-EN-ISO 10523
geleidingsvermogen (25°C)(EC)	Conform AS3110-2 en Conform NEN-ISO 7888 en conform NEN-EN 27888
antimoon, arseen, chroom, tin, vanadium	Conform AS3150-1 en conform NEN 6966 (meting conform NEN-EN- ISO 11885)
barium, cadmium, kobalt, koper, lood, molybdeen, nikkel, zink	Conform AS3110-3 en conform NEN 6966 (meting conform NEN-EN- ISO 11885)
kwik	Conform AS3110-3 (meting conform NEN-EN-ISO 17852)
aluminium, calcium, kalium, magnesium, mangaan, natrium, ijzer, fosfor	Conform NEN 6966 en conform NEN-EN-ISO 11885
chloride, nitraat, sulfaat	Conform AS3140-2 en conform NEN-ISO 15923-1
ammonium, nitriet	Conform NEN-ISO 15923-1
totaal stikstof	Eigen methode (Sommatie van NKJ, NO ₂ en NO ₃)
kjeldahl-stikstof	Eigen methode (voorbehandeling conform NEN 6646, meting conform NEN-EN-ISO 11732)
fosfaat (totaal)	Eigen methode (voorbehandeling eigen methode, meting conform NEN-EN-ISO 15681-2)

Bermgrond

Parameter	Analysemethode
droge stof	Gelijkwaardig aan ISO 11465 en gelijkwaardig aan NEN-EN 15934 (monstervoorbehandeling conform NEN-EN 16179). Grond (AS3000): conform AS3010-2 en gelijkwaardig aan NEN-EN 15934
gewicht en aard artefacten	Conform AS3000 en conform NEN-EN 16179
pH-grond (CaCl ₂)	Conform AS3010-1 en conform NEN-ISO 10390
lutum (bodem)	Grond: eigen methode. Grond (AS3000): conform AS3010-4
organische stof (gloeiverlies)	Grond: gelijkwaardig aan NEN 5754. Grond (AS3000): conform AS3010-3
antimoon, arseen, chroom, tin, vanadium	Conform AS3050-1 en conform NEN 6950 (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN 6966); conform ISO 22036 (ontsluiting conform NEN 6961)
barium, cadmium, kobalt, koper, lood, molybdeen, nikkel, zink	Conform AS3010-5 en conform NEN 6950 (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN 6966); conform ISO 22036 (ontsluiting conform NEN 6961)
kwik	Conform AS3010-5 en conform NEN 6950 (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN-ISO 16772)
aluminium, mangaan, ijzer, fosfor	Conform NEN 6950 (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN 6966); eigen methode (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform ISO 22036 en conform NEN-EN 16170)
calcium, kalium, magnesium, natrium	Conform NEN 6950 (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN-EN-ISO 17294-2); eigen methode (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN-EN 16171)
chloride	Conform prestatieblad AS3040-2 (meting conform NEN-ISO 15923-1)
kjeldahl-stikstof	Eigen methode (destructie eigen methode, meting conform NEN-EN-ISO 11732)
ammonium, nitriet, nitraat, sulfaat	Eigen methode (meting conform NEN-ISO 15923-1)
totaal stikstof	Eigen methode (Sommatie van NKJ, NO ₂ en NO ₃)
fosfaat (totaal)	Eigen methode (voorbehandeling eigen methode, meting conform NEN-EN-ISO 15681-2)
fenantreen, antraceen, benzo(a)antraceen, chryseen, benzo(a)pyreen, benzo(ghi)peryleen, pyreen, benzo(b)fluoranteen	Conform AS3010-6
	Eigen methode, aceton-hexaan-extractie, analyse m.b.v. GC-MS

Waterbodem

Parameter	Analysemethode
droge stof	Waterbodem: Eigen methode (analyse gelijkwaardig aan ISO-11465 en gelijkwaardig aan NEN-EN 15934). AS3000-waterbodem: conform AS3210-1 en conform NEN-EN 15934
gloeirest	Gloeirest bepaling is gelijkwaardig aan NEN-EN 12879
gewicht en aard van de artefacten	Conform AS3000 en conform NEN-EN 16179
organische stof (gloeiverlies)	Conform AS3210-2 en gelijkwaardig aan NEN 5754
min. delen <2µm	Conform AS3210-3
antimoon, arseen, chroom, tin, vanadium	Conform AS3250-1 en conform NEN 6950 (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN 6966); conform ISO 22036 (ontsluiting conform NEN 6961)
barium, cadmium, kobalt, koper, lood, molybdeen, nikkel, zink	Conform AS3210-4 en conform NEN 6950 (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN 6966); conform ISO 22036 (ontsluiting conform NEN 6961)
kwik	Conform AS3210-4, conform NEN 6950 (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN-ISO 16772)
mangaan, aluminium	Conform NEN 6950 (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN 6966) eigen methode (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform ISO 22036)
ijzer, fosfor	Conform NEN 6950 (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN 6966); eigen methode (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform ISO 22036 en conform NEN-EN 16170)
calcium, kalium, magnesium, natrium	Conform NEN 6950 (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN-EN-ISO 17294-2); eigen methode (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN-EN 16171)
chloride	Conform prestatieblad AS3240-2 (meting conform NEN-ISO 15923-1)
kjeldahl-stikstof	Eigen methode (destruktie eigen methode, meting conform NEN-EN- ISO 11732)
ammonium, nitriet, nitraat, sulfaat,	Eigen methode (meting conform NEN-ISO 15923-1)
totaal stikstof	Eigen methode (Sommatie van NKJ, NO ₂ en NO ₃)
fosfaat (totaal)	Eigen methode (voorbehandeling eigen methode, meting conform NEN-EN-ISO 15681-2)
fenantreen, antraceen, benzo(a)antraceen, chryseen, benzo(a)pyreen, benzo(ghi)peryleen, pyreen, benzo(b)fluoranteen	Conform AS3210-5
	Eigen methode, aceton-hexaan-extractie, analyse m.b.v. GC-MS

Bijlage 5. Kwantificeren benzothiazolen

(Water)bodemmonsters

Extractie

Droge stof bepaling

Voordat de extractie van de bodem monsters is uitgevoerd, is het percentage droge stof bepaald van een gehomogeniseerd deelmonster door ca.15 gram homogeen monstermateriaal te verhitten tot 105 °C gedurende 40 uur waarna de gewichtsafname is bepaald. Extractie is uit gevoerd op gevriesdroogd monstermateriaal. Circa 20 g gehomogeniseerd monstermateriaal is ingewogen in een 60 ml buis en gedurende 48 uur gevriesdroogd. Het percentage droge stof is gravimetrisch bepaald en bevestigd met het droge stof percentage verkregen door verhitting.

Accelerated Solvent Extraction (ASE), is uitgevoerd door 1,00 ±0,05 g vriesdroog monstermateriaal te mengen met 3,0± 0,1 g diatomeeën aarde in een ASE cell met glasfilter. ASE is uitgevoerd met 0,05 M EDTA, pH 7,0±0,5, bij 80 °C. Aan het ASE extract is 2 gram NaCl toegevoegd en 3 x uitgeschud met DCM. DCM is gedroogd op Na₂SO₄ omgezet naar Methanol eindvolume 1000 µl.

Instrumentele analyse.

Voor de analyse is 50 µl methanol extract overgebracht in een PE injectie vial met insert en verdund met 50 µl ultra puur water.

De vloeistofchromatografie analyses zijn gemeten op een Agilent HP 1260 Infinity Series vloeistofchromatograaf met als selectieve massa detector een 6460 triple quad LCMS met Electron Spray Ion (ESI) als ionisatie bron. Alle analyses zijn geanalyseerd in de ESI positive ion mode.

Voor de scheiding van de analyses is gebruik gemaakt van een Phenomenex Kinetex kolom (2,6 µm biphenyl 100Å) met een kolomdimensie van 100 mm x 2,1 mm. De gebruikte gradiënt is een licht aangezuurd eluens met mierenzuur en een mengsel van 5 mM ammoniumformaat water en methanol en een 100 procent eluens van methanol.

De dynamic Multiple Reaction Monitoring (dMRM) modus van de massaspectrometer is gebruikt voor de kwantificering van de componenten. Dit wil zeggen dat de massaspectrometer het moeder ion en een specifiek dochter ion tegelijkertijd analyseert. Deze extra fragmentatiestap verbetert de selectiviteit van de analyses en vermindert interferenties.

Identificatie heeft plaats gevonden door vergelijking van retentietijden en kwalifier-ratio's met een externe kalibratielijn. Voor de kwantificering zijn er minimaal 2 overgangen (transities) geanalyseerd. Kwantificering heeft plaats gevonden op basis van een concentratie uitgerekend op een 6-puntskalibratielijn in oplosmiddel en tevens zijn de percentage

terugvindingen van de vooraf toegevoegde interne standaard (gelabelde benzotriazole) berekend om de kwaliteit van de analyse te bewaken.

Dataverwerking

Berekening gehalten bodem monsters

Benzotriazole resultaten zijn gecorrigeerd voor de interne standaard benzotriazole-d4. De overige componenten zijn gecorrigeerd voor het gemiddelde van de terugvinding van de overeenkomstige component, addeert aan praktijkmonsters 52018017-001 en 522018017-035. Recovery op de bouwvoor blanco bodem is in de berekeningen niet meegenomen door afwijkende resultaten van de praktijkmonsters.

De terugvinding van de additie N-cyclohexyl-2-benzothiazolesulfenamide, 2-mercaptobenzothiazole, 1-hydroxybenzotriazole en 2,2-dithiobis(benzothiazole) is nihil. Deze componenten kunnen niet kwantitatief bepaald worden. Desondanks word 2-mercaptobenzothiazole in een aantal monsters gevonden, bevestiging door standaard additie aan het monster extract is kwalitatief.

Watermonsters

Extractie watermonsters.

De watermonsters zijn overgebracht in een scheidtrechter waarin $15 \pm 0,5$ g NaCl en $2 \pm 0,05$ g NH_4Ac is toegevoegd. Waarna interne standaarden zijn geaddeerd. Het monstermateriaal is 2 maal geëxtraheerd met 50 ml dichloormethaan (DCM), door 3 minuten handmatig te schudden. Na het scheiden van de water,- en DCM-fase is de DCM afgetapt en gefiltreerd over een Na_2SO_4 kolom en bij elkaar opgevangen in een rondbodem. Het extract is geconcentreerd tot 1000 μl en tot analyse opgeslagen bij $< -18^\circ\text{C}$.

Instrumentele analyse.

Voor de analyse is 500 μl DCM extract overgebracht in een buis bij 2 ml methanol waarna het geconcentreerd is tot 250 μl hierbij is 250 μl ultra puur water toegevoegd.

De vloeistofchromatografie analyses zijn gemeten op een Agilent HP 1260 Infinity Series vloeistofchromatograaf met als selectieve massa detector een 6460 triple quad LCMS met Electron Spray Ion (ESI) als ionisatie bron. Alle analyses zijn geanalyseerd in de ESI positive ion mode.

Voor de scheiding van de analyses is gebruik gemaakt van een Phenomenex Kinetex kolom (2,6 μM Biphenyl 100Å) met een kolomdimensie van 100 mm x 2,1 mm. De gebruikte gradiënt is een licht aangezuurd eluens met mierenzuur en een mengsel van 5 mM ammoniumformaat water en methanol en een 100 procent eluens van methanol.

De dynamic Multiple Reaction Monitoring (dMRM) modus van de massaspectrometer is gebruikt voor de kwantificering van de componenten. Dit wil zeggen dat de massaspectrometer het moeder ion en een specifiek dochter ion tegelijkertijd analyseert. Deze extra

fragmentatiestap verbetert de selectiviteit van de analyses en vermindert interferenties.

Identificatie heeft plaats gevonden door vergelijking van retentietijden en qualifier-ratio's met een externe kalibratielij. Voor de kwantificering zijn er minimaal 2 overgangen (transities) geanalyseerd. Kwantificering heeft plaats gevonden op basis van een concentratie uitgerekend op een 6-puntskalibratielij in oplosmiddel en tevens zijn de percentages terugvindingen van de vooraf toegevoegde interne standaarden (gelabelde bestrijdingsmiddelen) berekend om de kwaliteit van de analyse te bewaken.

Resultaten

De terugvinding van N-cyclohexyl-2-benzothiazolesulfenamide en 1-hydroxybenzotriazole ligt lager dan 10 %. Van deze componenten kunnen de gehalten in de watermonsters niet worden bepaald.

BZT-d4 correctie is alleen uitgevoerd op benzothiazole. De correlatie tussen de componenten en de interne standaard BZT-d4 (en MBO) is m.u.v. benzothiazole niet aanwezig.

De gehalten van de overige componenten in de monsters zijn gecorrigeerd met de gemiddelde terugvinding van de overeenstemmende componenten in de additie in oppervlakte watermonsters.

De additie op leidingwater is niet meegenomen in het eerder genoemde gemiddelde door afwezigheid matrix.

Bijlage 6. Kwantificeren rubberkorrels

Aanpak

Er is door Synlab (voorheen Alcontrol) een methode ontwikkeld om de analyse van het aantal korreltjes te doen door middel van fysiek scheiden van de granulaatkorrels uit de grond matrix.

Er zijn monsters in behandeling genomen met twee verschillende typen matrices, grond en slib. Deze monsters/matrices verschillen aanzienlijk, waardoor er voor gekozen is om hier twee verschillende methodes voor te ontwikkelen en gebruiken. Het doel van beide methoden is om efficiënt, zoveel mogelijk van de matrix fysiek te verwijderen met zo min mogelijk verlies van rubbergranulaat. Het is echter onmogelijk om verlies van granulaat tijdens de scheiding te voorkomen, ook omdat er veel visueel wordt beoordeeld. Er zijn daarom een aantal tests uitgevoerd om het verlies van granulaat in te kunnen schatten, zowel in kritieke individuele stappen als over de gehele methode. Daarnaast is het ook mogelijk dat materiaal, niet zijnde rubbergranulaat, overblijft in het beoordeelde product wat kan leiden tot een overschatting van de hoeveelheid granulaat. Vooral in slib monsters kan dit voorkomen, omdat het gehalte organisch materiaal hoog is.

De uiteindelijk beoordeling of het gaat om rubberkorrels of ander materiaal is gebaseerd op de volgende criteria: vorm, kleur, grootte, broosheid, hardheid en dichtheid. Vanwege de unieke karakteristieken van het granulaat is dit een robuuste manier gebleken om het als rubber te identificeren.

Vooronderzoek

De eigenschap dichtheid werd gekozen als parameter om het granulaat van de organische en anorganische stof te scheiden. Er werd geschat dat rubbergranulaat een dichtheid zou hebben van rond de 1,2-1,6 g/cm³, gebaseerd op de dichtheid van verschillende rubbersoorten. Dit is hoger dan veel organisch materiaal en lager dan anorganisch materiaal. Door middel van aanzouten van water kan de dichtheid worden verhoogd richting 1,5 g/cm³. Om deze hypothese te testen is rubbergranulaat toegevoegd aan verschillende zout- en suikeroplossingen van verschillende concentraties. Hieruit bleek dat het granulaat in toenemende mate gaat drijven bij verhoogde concentraties zout en suiker. Voor al het vervolgonderzoek is gekozen om met CaCl₂ verder te gaan, vanwege de beschikbaarheid en de hoge dichtheid die bereikt kon worden.

Vervolgens is getest hoe effectief het scheiden op dichtheid zou werken. In andere woorden hoeveel granulaat verloren zou worden omdat een deel blijft drijven/op de bodem blijft.

Hiervoor zijn vier buizen met water en vier buizen met verzadigd CaCl₂ gevuld. Hieraan is een getelde hoeveelheid korrels toegevoegd, heftig geschud en daarna is visueel de verdeling bepaald tussen de drijvende en gezonken deeltjes. In Tabel 9 staan de resultaten van deze experimenten. Hier is te zien dat in water tussen de 2,0-7,1% van het granulaat blijft drijven, en in de zoutoplossing is dit 95,1-98,3%. Het totale verlies van granulaat zou via deze methode naar

schatting maximaal 15% zijn. Op basis van deze resultaten is besloten om dit als uitgangspunt te stellen voor de filtratie van granulaat uit de grondmonsters.

Tabel 9 Verdeling korrels tussen oppervlakte en bodem in water en verzadigde zout oplossing.

Matrix	Experiment	# korrels	Hoeveelheid en locatie korrels			
			# Boven	# Onder	% Boven	% Onder
Water	1	33	1	32	3,0	97,0
	2	50	1	49	2,0	98,0
	3	94	5	89	5,3	94,7
	4	28	2	26	7,1	92,9
Verzadigde Oplossing CaCl ₂	1	61	58	3	95,1	4,9
	2	59	58	1	98,3	1,7
	3	109	105	4	96,3	3,7
	4	61	58	3	95,1	4,9

Methode voorbereiding

Bij grondmonsters is het gehele monster (1 pot) in bewerking genomen tot een maximum van circa 150 gram. De grond is eerst goed gemengd en daarna overgeplaatst in een 200 ml glazen fles. Deze is aangevuld met water tot aan de hals, heftig geschud gedurende 5-10 minuten en daarna 10 minuten laten staan met de bedoeling om zand en granulaat te sedimenteren. Het water is voorzichtig afgeschonken om organisch materiaal (blad, takjes etc.) te verwijderen. Het aanvullen en afschenken is daarna gemiddeld nog 2 maal herhaald. Vervolgens is een verzadigde zoutoplossing (75-125 ml) toegevoegd aan de fles, 1 minuut heftig geschud en daarna gecentrifugeerd bij 1500 toeren voor 10 minuten. Na centrifugeren is het drijvend materiaal verzameld in een aluminium cup, door middel van afschenken of scheppen. Overduidelijk organisch materiaal is daarbij zoveel mogelijk verwijderd bij het overplaatsen. Daarna is visueel gecontroleerd of er granulaat nog zichtbaar op de bodem van de fles aanwezig was en, indien mogelijk, handmatig nog verzameld. Als laatste stap is het materiaal in de aluminium cup meerdere malen gewassen met 5-15 ml water. Drijvend materiaal is daar voorzichtig afgeschonken en met pincet is niet-granulaat materiaal verwijderd (zoals kleine stenen en zwaardere takjes die niet drijven). Bij slibmonsters is ook het gehele monster (1 pot) in bewerking genomen. De inhoud is als eerste nat gezeefd over 4, 2, 1 en 0,5 mm. Fracties 2 mm, 1 mm, en 0,5 mm zijn verzameld en vervolgens gedroogd bij 105°C voor 1-2 uur. (Op basis van testen met aangeleverd rubbergranulaat is gebleken dat alle korrels terug worden gevonden op de zeven 2 mm en 1 mm). Na het drogen wordt het materiaal overgeplaatst in 400 ml glazen potten en wordt er 18-45 ml 30% waterstofperoxide aan toegevoegd en 15 minuten laten staan, met af en toe zacht schudden. Deze stap is om het organisch materiaal af te breken en te kleuren/ontkleuren voor betere visuele onderscheiding met het rubber. Daarna is de procedure vergelijkbaar met dat van de grondmonsters. De pot wordt gevuld met water en enkele keren voorzichtig afgeschonken. Daarna is een verzadigde

zoutoplossing toegevoegd. Het drijvend materiaal is verzameld in een aluminium cup. De inhoud is meerdere malen gewassen met water en overgebleven restanten niet-granulaat materiaal manueel verwijderd.

Methode vaststellen aantal deeltjes

Wanneer het aantal geschatte korrels onder de 25-30 leek te zijn is het aantal korrels geteld. Bij hogere aantallen is het totale gewicht van de korrels vastgesteld. Met behulp van het gemiddelde gewicht van de korrels kan het gewicht worden omgezet naar het aantal korrels en omgekeerd. De omrekenfactor is vastgesteld op 3,48 mg per korrel, bepaald op basis van het gemiddelde gewicht van 179 korrels. Voor dit gemiddelde gewicht is een standaarddeviatie van 0,45 mg vastgesteld. Deze keuze om tot 25-30 korrels te tellen is gebaseerd op een werkbare praktische uitvoering, en omdat vanaf dit aantal statistisch gezien het aantal korrels genoeg is om met deze omrekenfactor zelf maximaal een foutmarge te hebben van 10%. (Immers is de kans klein dat bij een kleine steekproef datzelfde gemiddelde gevonden gaat worden) Deze laatste berekening is gedaan aan de hand van de volgende formule:

$$n = \frac{16a^2}{M^2}$$

Waarbij n = aantal samples, σ = standaardafwijking en M = grote van foutmarge. De factor 16 heeft betrekking tot een betrouwbaarheidsinterval van 95%.

Terugvinding experimenten

Er zijn twee experimenten uitgevoerd met gesimuleerde testmonsters om de terugvinding te bepalen. Een voor grond en een voor slib. Deze resultaten staan in Tabel 10.

Tabel 10 Resultaten terugvinding experimenten

Matrix	Grond in behandeling (g)	Korrels toegevoegd (g)	Korrels terug- gevonden (g)	Terugvinding (%)
Grond	114	55	52	94,5%
Slib	500-700	16	19	118,8 %

Bijlage 7. Samenstelling van rubbergranulaat

Totaal metaalgehalte [mg/kg] in rubbergranulaat op 32 Italiaanse kunstgrasvelden (Bocca et al., 2009).

	mediaan	min	max
Al	755	1,2	6680
As	0,24	0,10	1,21
Ba	22	2,4	4778
Cd	0,37	0,11	1,89
Co	15	3,5	234
Cr	6,2	0,4	56
Cu	12	0,8	60
Fe	305	15	4318
Hg	0,07	0,03	0,16
Mg	456	123	966
Mn	5,2	3,0	30
Mo	0,2	0,04	6,6
Ni	2,0	0,6	5,8
Pb	22	12	46
Sb	1,1	0,3	7,7
Sn	1,2	0,1	3,0
V	2,2	0,4	22
Zn	10229	118	19375

PAK en benzothiazolen (mg/kg) in rubbergranulaat van 100 Nederlandse kunstgrasvelden (Oomen et al., 2017).

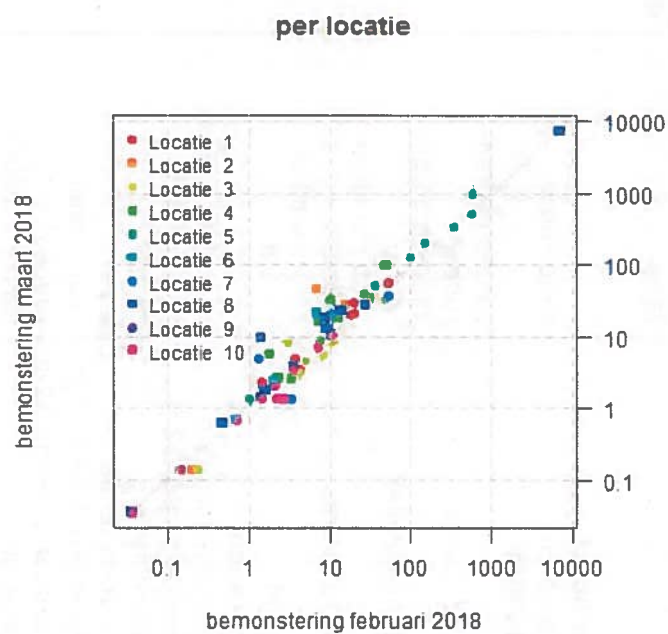
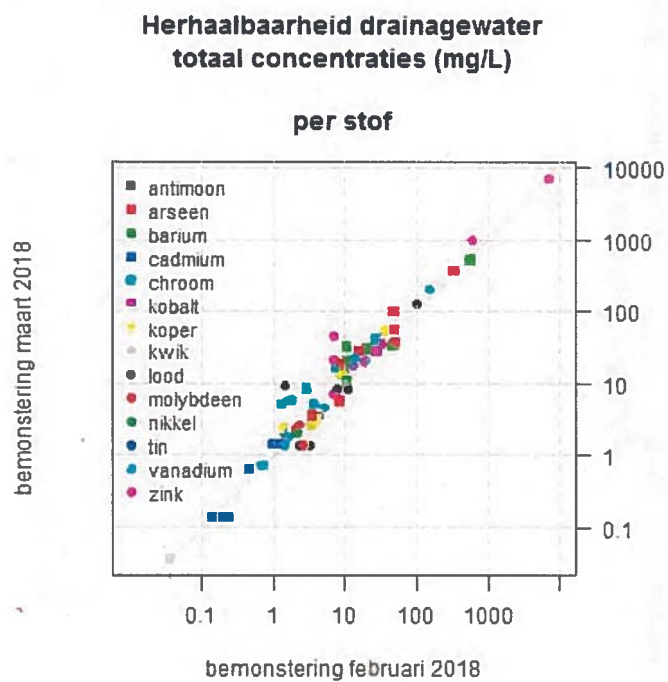
	mediaan	max
antraceen	<0,5	1,1
benzo(a)antraceen	<0,9	2,2
benzo(a)pyreen	<1,1	2,2
benzo(b)fluoranteen	<1,2	3,0
benzo(ghi)peryleen	4,1	7,7
chryseen	1,3	3,5
fenantreen		7,1
fluoranteen	3,4	20,3
pyreen	7,5	28,7
benzothiazol	2,7	6,3
2-hydroxybenzothiazol	1,6	13,8
2-mercaptobenzothiazol	2,6	7,6
2-methoxybenzothiazol	2,6	10,2
2-aminobenzothiazol	0,1	0,4

Bijlage 8. P-waarden test op significante verschillen

	Berm- grond	Water- bodem	Drainage- water	Sloot- water	Grond- water
99					
DOC	NA	NA	NA	0,35	0,86
organische stof	0,51	0,51	NA	NA	NA
droge stof	0,04	0,96	NA	NA	NA
H ⁺ ionen	0,51	0,36	NA	0,38	0,44
geleidingsvermogen	NA	NA	NA	0,49	0,33
lutum	0,14	0,76	NA	NA	NA
calcium	0,2	0,28	0,69	0,73	0,05
kalium	0,34	0,03	0,18	0,55	0,41
magnesium	0,27	0,02	0,11	0,08	0,07
natrium	0,03	0,38	0,02	0,44	0,52
chloride	0,15	0,48	NA	0,96	0,13
sulfaat	0,82	0,78	NA	0,24	0,23
rubberkorrels	0	0,04	NA	NA	NA
1-hydroxybenzotriazole	NA	NA	NA	NA	NA
2-aminobenzothiazole	0,01	0,65	NA	0,89	0,37
2-hydroxybenzothiazole	0,17	0,34	0,06	0,43	0,39
2-mercaptobenzothiazole	NA	0,6	NA	0,23	0,26
2-methoxybenzothiazole	NA	NA	NA	0,33	0,46
benzothiazole	0,02	0,42	0,08	0,98	0,36
benzotriazole	0,36	0,89	NA	0,51	0,42
tolyltriazole	NA	0,51	0,14	0,22	NA
aluminium	0,4	0,07	0,22	0,22	0,33
antimoon	NA	0,4	NA	0,34	0,34
arsen	0,11	0,4	0,29	0,34	0,94
barium	0,12	0,16	0,03	0,8	0,27
cadmium	0,04	0,51	0,29	0,91	0,19
chroom	0,5	0,98	0,72	0,58	0,18
ijzer	0,24	0,98	0,74	0,66	0,13
kobalt	0,03	0,77	0,61	0,34	0,45
koper	0,01	0,55	0,08	0,01	0,28
kwik	0,31	0,93	NA	NA	NA
lood	0,98	0,51	0,14	0,52	0,25
mangaan	0,19	NA	0,81	0,36	0,08
molybdeen	0,34	0,67	0,36	0,49	0,71
nikkel	0,39	0,8	0,21	0,09	0,34
tin	0,36	0,35	NA	NA	0,16
vanadium	0,18	0,54	0,89	0,35	0,19
zink	0	0,22	0,30	0,05	0,2
ammonium	0,34	0,52	NA	0,37	0,46
fosfaat (tot,)	0,02	0,46	NA	0,18	0,52
fosfor	0,02	0,75	NA	0,26	0,94
kjeldahl-stikstof	0,5	0,39	NA	0,92	0,43
nitraat	0,02	0,48	NA	0,05	0,09
nitriet	0,6	0,31	NA	NA	NA
totaal stikstof	0,49	0,39	NA	0,07	0,05

	Berm- grond	Water- bodem	Drainage- water	Sloot- water	Grond- water
99					
fractie C10-C12	NA	0,34	NA	NA	NA
fractie C12-C22	0,01	0,65	0,18	NA	NA
fractie C22-C30	0	0,87	0,58	NA	NA
fractie C30-C40	0	0,52	0,36	NA	NA
totaal olie C10 - C40	0	0,93	NA	NA	NA
antraceen	0,29	0,18	0,11	NA	NA
benzo(a)antraceen	0,02	0,26	0,35	NA	NA
benzo(a)pyreen	0,02	0,89	0,35	NA	NA
benzo(b)fluoranteen	0,03	NA	0,35	NA	NA
benzo(ghi)peryleen	0	0,69	0,78	NA	NA
benzo(k)fluoranteen	NA	0,56	NA	NA	NA
chryseen	0,04	0,5	0,35	NA	NA
fenantreen	0,07	0,42	0,92	NA	NA
fluoranteen	0,06	0,27	0,16	NA	NA
pyreen	0,02	0,25	0,05	NA	NA
somPAK	0,02	0,24	NA	NA	NA

Bijlage 9. Drainagewater: 1^e en 2^e bemonsteringsronde



Bijlage 10. Overzicht van andere onderzoeken

	aard van de sporttechnische laag	Berm-grond	Drainage-water	Sporttechnische laag	Zand-onderbouw	Onder-grond	Grond-water	Ref
Metingen uitgevoerd:								
Den Bosch								
De Saren	zand-rubber		x		x			1
Enschede								
CVV Sparta	zand-steagran-rubber		x		x			2
LSV Lonneker	zand-steagran-rubber		x					3
de Tubanters	zand-steagran-rubber		x		x			4
Vogido	zand-steagran-rubber		x		x			5
Groningen								
Coendersborg. 5 jr	zand-lava-rubber		x					11
Coendersborg, 12 jr	zand-rubber		x					11
Coendersborg	rubber	x		x	x	x	x	12
De Verbetering	lava	x		x	x	x	x	12
Esserberg, Haren, 2 jr	lava-rubber		x					11
Esserberg, Haren, 12 jr	rubber		x					11
Kardinge	slakken-rubber	x		x	x	x	x	12
Lewenborg veld 1	steagran	x		x	x	x	x	12
Lewenborg veld 2	steagran	x		x	x	x	x	12
Hoogkerk	granulight		x					11
Stadspark	lava-rubber	x		x	x	x	x	12
Velocitas	lava	x		x	x	x	x	12

	aard van de sporttechnische laag	Berm-grond	Drainage-water	Sporttechnische laag	Zand-onderbouw	Onder-grond	Grond-water	Ref
Heerlen								
sportveld Terworm	onbekend				x			6
sportveld Varenbeuk	onbekend				x			7
Hendrik Ido Ambacht								
veld ASWH	onbekend				x			8
Hengelo								
ASC Sports & water	lava			x				9
Leeuwarden								
Kalverdijkje	onbekend	x		x	x			13
Nylân	onbekend	x		x	x			13
Purmerend								
Savannestraat	lava-rubber	x	x	x	x	x	x	14
Tiel								
(blank)	onbekend			x	x			15
Utrecht								
"De Meern" veld 5	lava-rubber			x	x			10
"De Meern" veld 6	lava-rubber			x	x			10
Maarschalkerweerd, veld 6	lava-rubber			x	x			16
Sportpark Voordorp, veld 9	lava-rubber			x	x			17
Valkenswaard								
Den Dries	lava				x			18
't Heike, Dommelen	lava		x		x			18
Totaal		10	7	21	24	8	8	

Referenties naar andere onderzoeken uit Bijlage 10

1. Aveco de Bondt (2016) PK Sportpark de Saren, Veld 3 te 's Hertogenbosch, Rapport 8 juli 2016, 32 blz.
2. Geofox-Lexmond bv (2013) Milieuhygiënische keuring (indicatief) kunstgrasveld. CVV Sparta Enschede, Rapport 27 maart 2013, 58 blz.
3. Geofox-Lexmond bv (2013) Milieuhygiënische keuring (indicatief) kunstgrasveld. LSV Lonneker in Enschede, Rapport 27 maart 2013, 38 blz.
4. Geofox-Lexmond bv (2013) Milieuhygiënische keuring (indicatief) kunstgrasveld. De Tubanters in Enschede, Rapport 27 maart 2013, 36 blz.
5. ALcontrol (2013) Partijkeuring fundering kunstgrasveld Vogido in Enschede, Rapport 19 maart 2013 nr 11872330 v1, 36 blz.
6. ALcontrol (2014) Analyserapport Heerlen, sportveld Terworm, Rapport 21-01-2014 nr 11970770 v1, 5 blz.
7. ALcontrol (2014) Analyserapport Heerlen, sportveld Varenbeuk, , Rapport 20-01-2014 nr 11970783 v1, 5 blz.
8. Geofox-Lexmond bv (2015) Partijkeuring zand en klei Reeweg 75B (sportpark Schildman) in Hendrik-Ido Ambacht, Rapport 20150878/MSEE mei 2015, 30 blz.
9. BOOT (2017) Onderzoek sportveldconstructie Hengelo – Kuipersdijk 40, Rapport P17-0377-004, 54 blz.
10. BK Ingenieurs (2017) Onderzoek kunstgrasveld Loenenseboslaan 2 te Utrecht. Sportpark De Meern veld 5 en 6, Rapport 17187 v 1.2, 30 mei 2017, 98 blz.
11. Waterschap Noordzijldervest, De Vries, H. en P. van der Maas (2018) Eindrapportage "Oriënterend onderzoek drainagewater kunstgrasvelden i.r.t. rubberkorrels, rapport 26-01-2018, 5 blz.
12. Tauw, 2018, Milieuhygiënisch onderzoek kunstgrasvelden Groningen, 20 juni 2018.
13. Grondslag bodemkwaliteitsbureau (2018) Kunstgrasvelden Leeuwarden (Kalverdijke en Nylân). Resultaten indicatieve toetsing aangeleverde grond- en materiaalmonsters, Rapport 22 februari 2018, 32 blz.
14. KWINFRA (2017) Rapport verkennend bodemonderzoek Sportvelden te Purmerend, 24 november 2017, 138 blz.
15. BAS Begeleiding en Advies Sportterreinen (2013) Rapportage indicatieve analyses Tiel, Rapport 13 mei 2013, 13 blz.
16. BK Ingenieurs (2017) Onderzoek kunstgrasveld Laan van Maarschalkerweerd 2 te Utrecht. Sportpark Maarschalkerweerd veld 6, Rapport 17387 v 1.2, 30 mei 2017, 62 blz.
17. BK Ingenieurs (2017) Onderzoek kunstgrasveld Voorveldselaan 4 te Utrecht. Sportpark Voordorp veld 9, Rapport 17387 v 1.2, 30 mei 2017, 59 blz.
18. Tritium advies (2017) Bodemonderzoek kunstgrasvelden ter plaatse van twee sportcomplexen te Valkenswaard, Rapport 1703/059/SR-01, 4 mei 2017, 55 blz.

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag