

REVIEW

Vrij toegankelijk

# Bestemming of lot van gerecycled bandengranulaat voor kunstgras

Anja J. Verschoor<sup>1</sup>, Alex van Gelderen<sup>2</sup> en Ulbert Hofstra<sup>3</sup>

## Abstract

Bij de productie van granulaten als infill (instrooi materiaal) voor kunstgras wordt 21% van de afgedankte banden in Europa verwerkt, wat overeenkomt met ca. 600 miljoen kg per jaar. Dit zorgt voor een jaarlijkse vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot die vergelijkbaar is met de hoeveelheid die normaal door zo'n 30 km<sup>2</sup> bos wordt opgenomen. De verspreiding van deze rubber-infill in het milieu wordt echter als een probleem gezien. Een hoeveelheid granulaat van 3000-5000 kg per veld per jaar wordt nu aangedragen als onderbouw voor een Europees voorstel om rubber als infill te verbieden als onderdeel van het voornemen om bewust toegevoegde microplastics te beperken in 2021. Uit grijze onderzoeksrapporten maakten we op dat dit verspreidingstempo gebaseerd is op de foutieve aanname, dat de jaarlijkse vraag naar granulaat als aanvulling voortkomt uit granulaatverliezen naar het milieu. Hierbij is er echter geen rekening mee gehouden dat een deel van de infill laag inklinkt en dichter wordt (compactie) en dat een deel van de verloren infill wordt verzameld en hergebruikt op de velden. Samen met onwetendheid en een onjuiste sneeuwruim methode in het verleden heeft dit geleid tot de hoge schattingen van de jaarlijkse verspreiding van infill. In deze paper wordt de huidige stand van kennis over de verspreiding van ELT-granulaat uiteengezet. Jaarlijks blijkt ca. 600-1200 kg te moeten worden aangevuld om te compenseren voor compactie en voor verspilling van infill op verharde stukken en in afvoerputten. Aanbevolen maatregelen ter vermindering van de verspreiding zijn: insluiting door een optimaal aangelegd veld en drainagesysteem, geschikte onderhoudsapparatuur en regels voor goed onderhoud en gebruik voor spelers en veldbeheerders, en de omgang met afgeschreven velden. Als deze aanbevelingen worden uitgevoerd, kan de verspreiding van ELT-granulaat in het milieu vrijwel tot nul worden gereduceerd.

**Trefwoorden:** rubbergranulaat, verspreiding, onderhoud, uitstoot, zorgplicht

## Achtergrond

Als gevolg van de bevolkingsgroei en welvaart wacht een enorme hoeveelheid afgeschreven producten op hergebruik, materiaalrecycling of energierterugwinning. Afgedankte banden (end-of-life tyres of ELT), vallen daar ook onder. Elk jaar bereiken wereldwijd een miljard banden het einde van hun gebruiksduur [39]. Sinds er in 2005 met de Europese Richtlijn betreffende het storten van afvalstoffen [1] een verbod is op het storten van ELT's, is er behoefte aan nieuwe toepassingsmogelijkheden voor gebruikte banden. Deze uitdaging heeft geresulteerd in recycling van 58% van het materiaal, terugwinning van 35% van de energie en toepassing van 3% in de civiele techniek ([12], zie fig. 1).

Belangrijke bestemmingen van ELT's zijn rubbergranulaat en -poeders, met 43% van het totaal aan ELT's [12].

Granulaten zijn er in fracties van verschillende deeltjesgroottes. Afhankelijk van de deeltjesgrootte worden de granulaten gebruikt als vulstof in bijvoorbeeld asfalt (0-1 mm), als infill op sportvelden (1-2 mm), in rubbertegels (2-4 mm) en als verende laag onder sportvelden (4-8 mm). Ongeveer de helft van de granulaten (21% van alle ELT's) wordt gebruikt als infill op sportvelden [30]. ELT-granulaten bestaan voor ca. 46% uit polymeren [21] van natuurlijk en synthetisch rubber, en worden daarom aangemerkt als microplastics [19].

Recycling van plastic in het algemeen en van ELT's zijn belangrijke doelstellingen van de EU [13]. Het recyclen van ELT's tot rubbergranulaat voorkomt ontginning van nieuwe hulpbronnen (rubber, olie, metalen). Recycling van 1000 kg aan ELT's vermindert de uitstoot van kooldioxide [25] naar schatting met 838 kg.

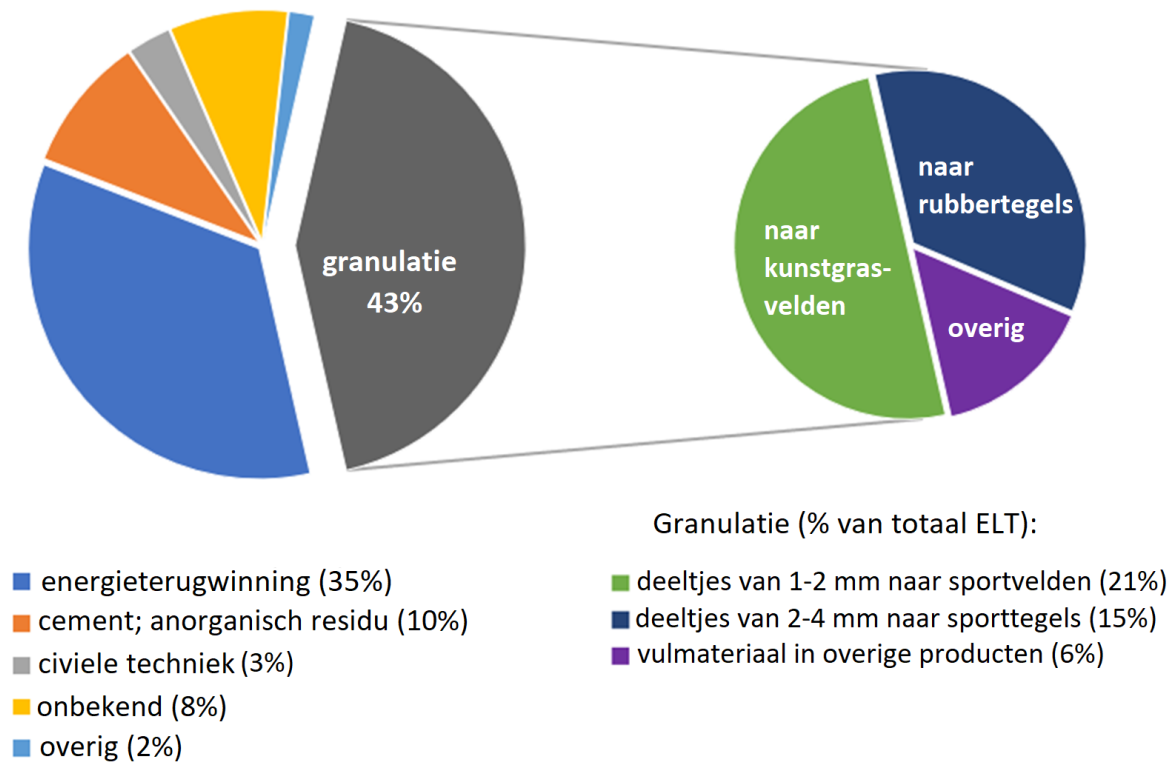
Correspondentie: [verschoor@demilieutafel.nl](mailto:verschoor@demilieutafel.nl)

<sup>1</sup> De Milieutafel, Soest (Nederland)

Zie het einde van het artikel voor een volledige lijst met auteursgegevens

© De auteur(s) 2021

Vertaald uit het Engels door Biollandica, oorspronkelijke titel 'Fate of recycled tyre granulate used on artificial turf.'



**Fig. 1** Bestemmingen van ELT's in de 27 Europese lidstaten (+ VK, Servië, Noorwegen, Zwitserland en Turkije), uitgedrukt als percentage van de totaal verzamelde massa aan ELT's. Het totaal aan ELT's uit deze landen bedraagt 3.424.500 ton; gegevens uit 2017 [12]. \* ELT's worden verder gebruikt in staalfabrieken en gieterijen (0,3%) en als stookkussens, springmatten (1,2%) en pyrolyse (0,4%). De anorganische fractie van de banden wordt gerecycled in cement. \*\* Bij energierugwinning horen de energiefractie van gecombineerde ELT-verwerking in cementovens (29%) en ELT's die worden gebruikt voor stadsverwarming/in energiecentrales (6%); \*\*\* onder onbekend vallen ook ingezamelde banden die op verwerking wachten. Verdeling over granulaatfracties is overgenomen uit [30]

De jaarlijkse recycling van 21% van het Europese ELT-rubber tot infill voor sportvelden leidt dus tot 600 miljoen kg minder CO<sub>2</sub>-uitstoot, gelijk aan de hoeveelheid die door ca. 30 km<sup>2</sup> bos per jaar wordt opgenomen [2].

ELT-granulaat bleek een geschikte vulstof in sportvloeren, omdat het elastisch, duurzaam en relatief goedkoop is. Rubber zorgde als betaalbaar infillmiddel voor een snelle groei van het aantal kunstgrasvelden. Het ECHA schat dat de EU meer dan 13.000 grote kunstgrasvelden telt (gegevens uit 2017) en nog meer kleine velden [34]. Op deze velden wordt voornamelijk gevoetbald. In tegenstelling tot op natuurlijk gras kan op deze velden het hele jaar door gespeeld worden, ongeacht het weer. Omdat kunstgras geschikt is voor intensief gebruik, zijn er minder velden en dus minder stukken grond nodig voor buitensport.

Ondanks deze positieve eigenschappen stuit het gebruik van ELT's en plastics in het algemeen echter op veel kritiek. Kleine plasticdeeltjes, de microplastics, verspreiden zich in het milieu en komen in de voedselketen terecht [27, 41], hoewel de blootstelling van en effecten op de mens tot op heden zeer beperkt lijken te zijn [33]. Omdat de rubberdeeltjes zwaarder zijn dan water (soortelijk gewicht  $\approx 1,16 \text{ g/cm}^3$ ), komen ze meestal in de bodem en in sedimenten terecht. Een in zoetwater veel voorkomend bodemorganisme (*Gammarus pulex*) bleek van banden afkomstige deeltjes (< 500 pm) op te nemen in een laboratoriumomgeving [31].

Er zijn echter geen significante effecten waargenomen op de groei en reproductie van *G. pulex* en drie andere soorten aquatische bodemorganismen bij sediment dat tot 10% aan bandendeeltjes bevatte.

Om de toenemende verspreiding van microplastics in het milieu tegen te gaan, wil de EU in 2021 een voorstel goedkeuren tot beperking van bewust toegevoegde microplastics, waaronder ELT-granulaat, [9]. Het risico-beoordelingscomité van het ECHA heeft een totaalverbod op het gebruik van rubbergranulaat op kunstgrasvelden voorgesteld, met een overgangsperiode van 6 jaar [10]. Een uitzondering op dit verbod, die als voorwaarde stelt dat de verspreiding van microplastics onder de 7 g/m<sup>2</sup> wordt gehouden (gelijk aan ongeveer 40 kg op een veld van 100 x 60 m), is echter als alternatief voorgesteld tijdens het openbare overleg en de sociaal-economische beoordeling [11]. Een voor de toekomst van rubber als infillmiddel bepalende beleidsbeslissing wordt verwacht in 2021 en zal worden genomen door de Europese Commissie en de EU-lidstaten.

Ter ondersteuning van beleidsmaatregelen heeft de EU een onderzoek uitgevoerd, waarbij de belangrijkste bronnen van microplastics in kaart zijn gebracht [18]. Uit het onderzoek blijkt dat ELT-granulaat een zeer kleine en lokale bron vormt, vergeleken met andere bronnen van microplastics, zoals slijtage van banden en verf, preproductiepellets en textielvezels. Naast deze bronnen

spelen fragmentatie van plastic afval en cosmetica een belangrijkere rol dan ELT-granulaat [28]. De hoeveelheden in deze onderzoeken zijn niet direct vergelijkbaar, omdat ze gericht zijn op verschillende milieucompartmenten en geografisch niet gelijk verdeeld zijn, maar over het algemeen kan worden gesteld dat ELT-granulaat verantwoordelijk is voor << 1% van de verspreiding van microplastics. In het EU-onderzoek is de verspreiding van granulaat, uitgaande van aannames, geschat op 1500-5000 kg per veld per jaar. In het restrictievoorstel ging het ECHA ervan uit dat 10% van de aanvulling in het milieu terecht komt, dus tot 500 kg per veld per jaar. Rond dezelfde tijd zijn er nieuwe onderzoeken gepubliceerd, waarbij de verspreiding langs verschillende routes daadwerkelijk gemeten is [26, 32, 40]. Met de resultaten kunnen de bestaande schattingen worden aangepast en bijgesteld.

Naast polymeren bevat bandprofielrubber ongeveer 19% roet (vulstof), 19% weekmakers en oliën en 16% mineralen, voornamelijk silicium, zwavel en zink [21]. Eerdere zorgen om de volksgezondheid, gebaseerd op de aanwezigheid van zware metalen, polycyclische aromatische koolwaterstoffen en andere organische stoffen in ELT-granulaat, bleken ongegrond. Na verschillende uitgebreide risicoanalyses [8, 29, 34]) is vastgesteld dat het chemische risico voor spelers op kunstgras met ELT-granulaat verwaarloosbaar is. Ecosystemen lopen mogelijk wel gevaar. In diverse gevallen zijn de milieukwaliteitscriteria ter bescherming van bodemecosystemen voor zink, kobalt en minerale olie namelijk overschreden [37]. In deze paper richten we ons in het licht van het debat over microplastics vooral op de verspreiding van deeltjes en gaan we niet opnieuw in op chemische kwesties.

Om te voorkomen dat nuttige recyclingopties terzijde worden geschoven vanwege negatieve beeldvorming of op grond van worstcasescenario's, is het van het grootste belang dat er feiten en cijfers over ELT-granulaat beschikbaar komen. De onderzoeksvragen in deze paper zijn: (1) welke routes, processen en factoren hebben invloed op het infillverlies; (2) hoe varieert de verspreiding van granulaat vanaf kunstgrasvelden naar het milieu? (3) Wat zijn de mogelijkheden tot beperking? Informatie hierover is momenteel verspreid aanwezig in verschillende grijze onderzoeksrapporten, met nuttige experimentele gegevens en metingen. Omdat enkele rapporten in het Nederlands, Deens, Noors en Zweeds zijn geschreven, hebben we de onderzoeken vertaald naar het Engels en de belangrijkste gegevens in deze beoordeling opgenomen, om de informatie toegankelijk te maken voor een breder publiek.

### Verspreidingsprocessen en -routes

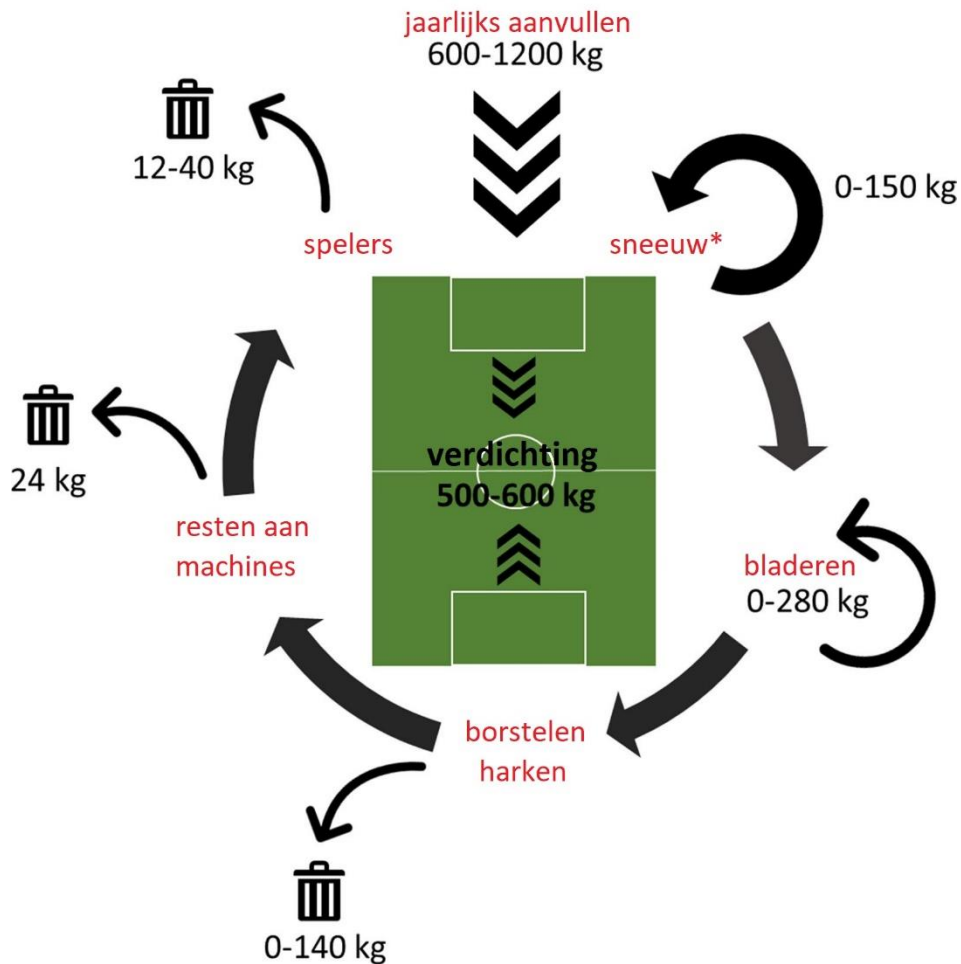
De verspreiding van granulaten in het milieu kan op twee manieren worden beoordeeld, die beide zijn vertegenwoordigd in de literatuur:

1. Gebaseerd op onderzoek naar het gebruik van infillmateriaal en de daaruit volgende aannames over de verspreidingsroutes. De onzekerheid hierbij is groot en hangt af van de omvang en de gegevens van de verkoopenquêtes en van de veronderstelde verspreidingsroutes.
2. Gebaseerd op werkelijke milieumetingen. De belangrijkste onzekerheid zit hem hier in de lokale variaties in aanleg en leeftijd van de velden, onderhoudsmethoden en weersomstandigheden.

ELT-granulaat verspreidt zich bij buitentoepassingen (voornamelijk voetbal) in ongebonden vorm. Bij de aanleg van voetbalvelden wordt ongeveer 100 tot 120 duizend kg ELT-granulaat op de velden aangebracht ter ondersteuning van de synthetische grasvezels en ter optimalisatie van de speelomstandigheden. In de gebruiksfase is periodiek aanvullen noodzakelijk, omdat de dikte van de infilllaag in de loop der tijd afneemt, vooral op plekken die het zwaar te verduren hebben, zoals het doel, de straf- en hoekschopgebieden en rond de middenstip.

Jaarlijks aanvullen van het granulaat is nodig om compactie en verliezen te compenseren (zie fig. 2). Onderzoeken waarbij deze processen gekwantificeerd zijn, zijn beoordeeld onder 'Jaarlijks aanvullen', 'Compactie' en 'Verlies van infill'. Compactie van infilllagen vindt plaats als gevolg van natuurlijke verwerking door zonlicht, de aanwezigheid van vuil, aanraking door spelers en door de zwaartekracht [15]. Compactie en verlies van infill leiden tot een grotere niet-ondersteunde vezellengte (vrije poolhoogte) en verminderde veldprestaties (zoals verticaal stuiten, rolafstand, rolweerstand, verticale vervorming en krachtvermindering van de bal [16]). Er zijn verschillende onderhoudsmethoden om de effecten van compactie tegen te gaan: dragbrushing, ook wel grooming genoemd (een tot meerdere keren per week), powerbrushing (6-12 keer per jaar), grondige reiniging (eenmaal per jaar of per 2 jaar), grondige decompactie (eenmaal per 3 tot 4 jaar) en aanvullen van rubber bij een dunner wordende infilllaag. Afhankelijk van het seizoen en de plaatselijke omstandigheden moeten ook bladblazers en sneeuwruimers worden ingezet. Rubbergranulaten kunnen zich in het milieu verspreiden tijdens de aanleg, het onderhoud en het gebruik van kunstgrasvelden. De hoeveelheid verspreide granulaten hangt af van hoe het veld is aangelegd, onderhoudsmethoden en -frequentie en bewustwording bij aanleggers, verzorgers en spelers.

Hoewel verspreiding van granulaten in het milieu kan worden voorkomen, is dit de afgelopen twintig jaar helaas niet gebeurd. Granulaten zijn in de afgelopen decennia, toen er nog weinig bekend was over microplastics, wellicht oncontroleerbaar en veelal onbedoeld verspreid in bodem en oppervlaktewater.



**Fig. 2** Geschatte jaarlijkse input en output van ELT-granulaat op kunstgras. \* Sneeuwruimen is afhankelijk van de klimaatzone. De werkelijke en exacte hoeveelheden zijn afhankelijk van beheer- en restrictiemaatregelen

### Jaarlijkse refill

De eerste schattingen betreffende milieublootstelling waren uitsluitend gebaseerd op onderzoek naar het totale jaarlijkse gebruik van ELT-granulaat. Oude Scandinavische rapporten vermelden een jaarlijkse aanvulling van 3000 tot 5000 kg per jaar, wat terug te voeren is op een aanbeveling van de Deense voetbalbond om voor optimale speelomstandigheden te zorgen [7]. De door de Denen aanbevolen aanvulling van 3000-5000 kg/veld/jaar is overgenomen in latere onderzoeken [20, 22, 24] en vormde in 2018 de basis voor extrapolatie naar Europese schaal [18]. Hierdoor werd ECHA ertoe gebracht om ELT-granulaten op te nemen in het voorstel tot beperking van microplastics [9].

Een Noors onderzoek [36] ging uit van een aanvulling van maximaal 12.000 kg per veld per jaar voor voetbalvelden van officiële afmetingen, gebaseerd op een niet-gedocumenteerde aanname van 10% infillverlies per jaar. Een onderbouwing voor zo'n grote hoeveelheid is niet geleverd, hoewel de Deense hoeveelheid van 3000-5000 kg

werd overgenomen in de algehele beoordeling van het Noorse onderzoek, ervan uitgaande dat infill ook wordt gebruikt op kleinere velden, zoals speelplaatsen en sportvelden van (kleuter)scholen. De eerdere aanbeveling van de Deense voetbalbond was echter bedoeld voor voetbalvelden van officiële afmetingen, en speelplaatsen werden daarin niet genoemd. Een Zweeds onderzoek, gebaseerd op een enquête bij één voetbalclub, vermeldt een hoeveelheid granulaatinfill van 3000-4000 kg per jaar [38].

Een later onderzoek schat een jaarlijkse infill van 2200 kg/veld en lijkt gebaseerd op beter onderbouwde gegevens, omdat hierbij meer dan 89 Deense clubs gevraagd is naar hun infillgebruik (Lindberg International 2018, geciteerd door [23]). Uit een kleine inventarisatie over drie Nederlandse velden bleek een jaarlijkse infill van 0, 590 en 2200 kg/veld [40]. De inventarisatie is te klein om een betrouwbaar gemiddelde af te leiden. Van andere landen zijn geen gegevens gevonden.

Refill van een heel veld gebeurt zelden. Volgens

verzorgers er in de praktijk meestal geen refill nodig voor het hele veld, maar alleen van bepaalde plekken die intensief blootgesteld worden, zoals het strafschoop- en doelgebied (16,5 x 40,3 m) en rond de middenstip (ø 9,15 m). Deze gebieden beslaan bij elkaar ca. 1400 m<sup>2</sup>, wat 20% is van het totale veldoppervlak (105 x 68 m) [14].

### Compactie

Compactie kan onder gecontroleerde omstandigheden worden gemeten in het laboratorium of in het veld. De resultaten uit veldonderzoek zijn realistischer, maar kunnen worden beïnvloed door de specifieke lokale weersomstandigheden en het veldonderhoud. Er zijn gegevens beschikbaar van beide typen experimenten, die hieronder worden beschreven.

### Laboratoriummetingen

Laboratoriumtests zijn uitgevoerd om gecontroleerde veranderingen in dichtheid van de rubber-infill te onderzoeken, waarbij compactie als gevolg van door spelers uitgeoefende druk en decompactie door harken werden gesimuleerd [15]. Een mat met monofilamenten van 65 mm (0,5 x 0,75 m) werd gevuld met zand (13 kg/m<sup>2</sup>) en SBR-rubber (14 kg/m<sup>2</sup>, diameter 0,5-2,5 mm). Eerst is een zandlaag aangebracht, die gedurende 50 cycli werd geconditioneerd met een verzwaarde, met noppen bezette rol (40 cm breed en 43,6 kg). De zandlaagdikte werd op 24 punten gemeten, met een toegestane afwijking ± 1 mm. SBR-granulaat werd in porties van 2 kg aangebracht met tussentijds harken. Het systeem is in drievoud toegepast; de compactie werd gemeten na 0, 200 of 500 rolcycli met de verzwaarde noppenrol. Eén cyclus bestond uit een naar buiten plus een naar binnen gerichte beweging van de rol. De totale infilldiepte werd gemeten op 3 punten in het veld, op de middenstip en op 15 cm afstand daarvan richting de korte zijden.

In het experiment nam de infilldiepte af van 31,0 mm in het begin tot 27,4 mm na 50 cycli en 22,4 mm na 500 cycli. Deze gegevens impliceren een compactie van respectievelijk 11 en 27%. Uit het onderzoek blijkt dat compactie gedeeltelijk kan worden teruggedraaid door te harken, ook op het veld. Het is niet duidelijk hoe de cycli van de verzwaarde noppenrol kunnen worden vertaald naar realistische buitenomstandigheden.

### Veldmetingen

De compactie onder buitenomstandigheden werd bepaald op twee voetbalvelden in Nederland [40]. Het eerste veld (in Hoogeveen, aangelegd in 2007) was een goed onderhouden veld van 11 jaar oud, waar het bladblazen altijd van buiten naar binnen gebeurde. Het tweede veld (in Amsterdam, aangelegd in 2008) was niet goed onderhouden, jarenlang niet aangevuld en bladblazen gebeurde van binnen naar

buiten. In maart 2017 zijn op elk van deze velden monsters genomen van de infilllaag in de strafschoop- en doelgebieden en op twee referentiepunten in de strook net buiten de veldmarkeringen. Van deze plekken van 30 x 30 cm werd al het losliggende materiaal inclusief zand verzameld totdat de mat zichtbaar was. Van de infill werd de ongedroogde massa bepaald. De resultaten staan in tabel 1 deel A.

In een periode van 11 jaar trad er een compactie op van 8,5 kg/m<sup>2</sup> op het goed onderhouden veld in Hoogeveen. Dit komt overeen met een compactie van 2,7% per jaar. Dat betekent dat er 0,8 kg/m<sup>2</sup> per jaar is gebruikt om compactie van intensief gebruikte oppervlakken te compenseren.

Op het Amsterdamse veld werd ook een compactie van 2,7% per jaar geconstateerd. De totale hoeveelheid teruggewonnen infill bedroeg slechts ca. 4 kg/m<sup>2</sup>, wat zeer weinig is, aangezien er bij de aanleg van een nieuw veld een initiële hoeveelheid infill van 15 kg/m<sup>2</sup> wordt gebruikt. Dit veld wordt daarom als niet-representatief voor de huidige onderhoudspraktijk beschouwd. Een infill van slechts 4 kg/m<sup>2</sup> zou betekenen dat er misschien 11 kg/m<sup>2</sup> in het omringende milieu is verdwenen, wat overeenkomt met 78,5 duizend kg voor dit specifieke veld (≈ 8000 kg/jaar) in de afgelopen 9-10 jaar. Dit verlies kan komen door slecht onderhoud, met name bladblazen van binnen naar buiten, waarbij onbedoeld ook granulaat buiten het veld terecht komt.

Als we op basis van bovengenoemde onderzoeken uitgaan van een compactiegraad van 2,7% per jaar en een initiële infill van 100 tot 120 duizend kg, zou dit betekenen dat er ca. 500 tot 600 kg ELT-granulaat nodig is om compactie te compenseren.

### Verlies van infill

#### Verspreiding door spelers

Er zijn drie onderzoeken waarin de resultaten van ELT-granulaatmetingen in schoenen en sokken worden beschreven.

Een eerste onderzoek betrof een citizen-scienceproject in 2017 in Noorwegen, waarbij 12.591 schoolkinderen gegevens verzamelden over het verlies van infill via schoeisel en kleding [26]. Op 286 scholen in 144 gemeenten werden 592 voetbalwedstrijden op 343 velden bestudeerd, waarvan 99% buitenvelden en 70% gewone velden voor elftallen. De scholieren werd gevraagd een voetbalwedstrijd van 2 x 15 min. te spelen en granulaat uit schoenen en kleding te verzamelen op een groot wit vel. Ze noteerden volume en type infill, veldafmetingen, speelduur, aantal spelers per wedstrijd, weersomstandigheden en het omgevingstype op 10 m afstand van het veld. Tijdens het experiment droeg slechts 14% van de spelers voetbalschoenen (de anderen droegen gewone schoenen).

**Tabel 1** Metingen van het lot van ELT-infill op drie Nederlandse velden [40]

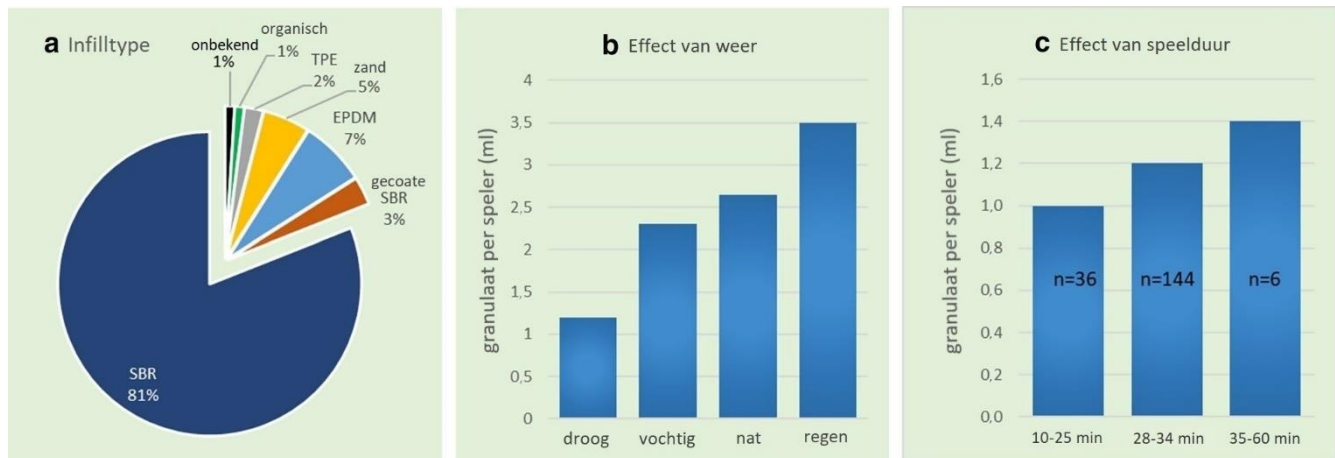
	Rotterdam	Amsterdam	Hoogeveen
Algemene informatie			
Aanlegjaar	8-2016	2008	2007
Onderzoekperiode	Winter 2017-2018		
Leeftijd veld (jaar)	1	10	11
Onderhoud	n	Slecht	Goed
Bladblaasrichting	Niet beschreven	Naar buiten	Naar binnen
Randen met bomen	2	3	2
A. Compactie van infill (% per jaar)		2,8	2,7
Infill teruggewonnen van intensief gebruikte oppervlakken		4,3	31,4
Infill teruggewonnen van weinig intensief gebruikte		3,1	22,9
Nettocompactie (kg/m <sup>2</sup> )		1,2	8,5
B. Verlies van infill in borstelafval (kg/veld/jaar)	21-140	9-60	0
Aantal keer borstelen/jaar	7	1	0
Hoeveelheid verzameld afval (l)	80 ± 20	240 ± 60	0
Infillgehalte van borstelafval (%v/v)	7,6	50	niet bepaald
Dichtheid van infill (kg/l)	0,5	niet bepaald	0,6
65% als gesuspendeerde massa (kg/veld/jaar)	1,0	niet bepaald	1,1
C. Verlies van infill naar verharding (kg/veld/jaar)	1,2	60	16
Totaal verharde ondergrond (m <sup>2</sup> )	1258	310	522
Tijd sinds laatste keer vegen (weken)	14	4	1
Gemiddelde infill (g/m <sup>2</sup> )	0,8	38	2,2
Wekelijkse verspreiding (g/m <sup>2</sup> /week)	0,1	10	2,2
Bladblazen (weken/jaar)		13	
Verspreiding op andere manieren (weken/jaar)		40	
90% door bladblazen (kg/veld/jaar)	0,8	44	12
10% op andere manieren (kg/veld/jaar)	0,3	15	4
D. Verlies van infill in afvoerputten			
Aantal putten	8	0	20
Tijd sinds laatste keer reinigen (jaren)	3	-	10
Massastroom naar slib (kg/veld/jaar)	1,5	-	1,7
E. Infill naar sloten (kg/veld/jaar)		4,3	6,1
Afstand tot sloot (m)	Geen sloot	3	4
Dikte van sedimentlaag (m)		0,1	0,05
Slootbreedte (m)		1,5	0,5
Slootlengte (m)		64	100
Tijd sinds laatste keer baggeren		3	10
% infill in sediment		0,26	4,9
F. Infill naar grasberm (kg/veld/jaar)	256	269	279
Infillconcentratie in zoden (0-0,02 diepte) g/kg grond	28-70	190-220	250-610
Infillconcentratie in zoden (0,02-0,05 diepte) g/kg grond	< 0,1	130	90-200

**Aannames zijn cursief weergegeven**

Voor de berekening van het gemiddelde infillverlies zijn uitschieters buiten beschouwing gelaten.

Op meer dan 81% van de velden bestond de infill uit ELT-granulaat (zie fig. 3a); andere soorten infill waren EPDM, TPE, zand en organisch materiaal. De vochtigheid van het veld lijkt van grote invloed te zijn op de hoeveelheid rubberkorrels die zich aan de spelers hechten. Als het veld

nat is, blijven er meer dan twee keer zoveel korrels achter op schoenen en kleding dan wanneer het droog is (fig. 3b). Op velden voor elftallen werd onder droge omstandigheden gemiddeld 0,6 g granulaat per speler verzameld (bij 187 wedstrijden) en onder natte omstandigheden (vochtig, nat veld of bij regen) werd 1,35 g per speler verzameld (bij 192 wedstrijden).



**Fig. 3** Noors citizen-scienceproject over infillverlies via spelerschoenen en -kleding (gegevens: [26]). **a** Percentage velden met bepaald type infill; **b** Effect van het weer op de verzamelde hoeveelheid granulaat op velden voor elftallen; **c** Effect van speelduur op de verzamelde hoeveelheid granulaat bij droog weer

De werkelijke speelduur varieerde van 10 tot 100 min. per wedstrijd, gemiddeld 29,3 min. De gegevens zijn in drie tijdsintervallen gegroepeerd, waarbij is onderzocht of de verzamelde hoeveelheid deeltjes gerelateerd is aan de speelduur. Het bleek dat de hoeveelheid rubber iets toenam bij een langere speelduur (fig. 3 c).

In een tweede casestudy uit 2019 in Kalmar (Zweden) is de hoeveelheid op schoenen en sokken van spelers achtergebleven granulaat bepaald door weging [32]. Na een speelduur van 60-120 min. (gemiddeld 93 min.) moesten spelers en coaches van verschillende voetbalteams hun kleding en schoenen afborstelen en ook hun schoenen legen in een speciale kuip. Het totale aantal spelers dat deelnam aan de enquête bedroeg 376 (gemiddeld 16 per keer). In de

periode oktober 2018 tot april 2019 is er 23 keer gemeten. Bij dit onderzoek is ook rekening gehouden met de weersomstandigheden. Bij nat weer werd aanzienlijk meer granulaat verzameld dan bij droog weer (eenzijdige *f*-toets,  $p = 0,02$ ). Gemiddeld werd 0,7 g/speler/keer aan granulaat verzameld bij droog weer ( $n = 12$ ) en 2,2 g/speler/keer bij nat weer ( $n = 12$ ). Het totale gemiddelde onder alle weersomstandigheden is 1,5 g/speler/keer.

Bij een derde onderzoek in Nederland werd de hoeveelheid granulaat op schoenen en sokken na één wedstrijd van 90 minuten bij droog weer onderzocht [40]. Na de wedstrijd liepen de spelers ca. 200 m naar de kleedkamers, waar ze sokken en schoenen overhandigden aan de onderzoekers, die het gewicht van het granulaat

**Tabel 2** Schatting van het infillverlies door hechting aan schoenen, sokken en kleding in drie onderzoeken

Land	Hoeveelheid op spelersokken/-schoenen achtergebleven granulaat (gram per persoon)			Speelduur (minuten)	Aantal geteste spelers	Verlies per veld per jaar (kg)
	Droog	Nat	Gemiddeld			
Noorwegen <sup>a</sup>	0,54	1,6	1,1	29	12.591	40 <sup>a</sup>
Zweden <sup>b</sup>	1,1	2,5	1,7	93	645	26,8 <sup>b</sup>
Nederland <sup>c</sup>	0,9	-	-	90	11	12 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> [26]

**0,88 g per speler x 22 spelers per veld x 2200 u (keer) per jaar**

**Bulkdichtheid van ELT-rubber = 0,45 g/ml**

<sup>b</sup> [32]

**1,66 g per speler x 21 miljoen spelers/1300 velden per jaar**

<sup>c</sup> [40]

**0,9 g per speler x 321 spelers per veld per week x 40 weken per jaar**

bepaalden. Uit deze enkelvoudige meting kwam een gemiddelde hoeveelheid voor het hele team van 10 g. Uitgaande van 11 spelers is dit 0,9 g per speler.

In tabel 2 worden de in de 3 onderzoeken bepaalde infillverliezen via schoenen en kleding vergeleken. Bij het Noorse onderzoek, dat veruit het uitgebreidst was, duurde de gemiddelde testwedstrijd echter slechts 29 min. Bij het Nederlandse onderzoek werd slechts eenmaal gespeeld. Het Zweedse gemiddelde van 1,5 g per speler is daarom het meest representatief voor een normale wedstrijd van 90 minuten.

De in de rapporten vermelde schattingen liepen uiteen van 12 tot 40 kg per veld per jaar. Bij elk onderzoek zijn verschillende extrapolatiemethoden toegepast om het totale verlies per veld te bepalen. De aannames en de werkelijke situaties verschillen per land. Op basis van de gegevens in tabel 3 en het gegeven aandeel van natte en droge dagen in elk land, kunnen schattingen worden gemaakt voor landen in verschillende klimaatzones.

### Verspreiding door onderhoud

#### Borstelafval

Borstelen wordt gedaan om het veld vlak te maken. Het infillverlies in borstelafval is in Nederland bepaald op 3 velden met ELT-infill [40]. De hoeveelheid vuil en het granulaatgehalte daarin is op 2 manieren bepaald: (1) op basis van vraaggesprekken met de verzorgers en (2) op basis van metingen na scheiding naar dichtheid van monsters. Tabel 1, deel B, geeft een overzicht van de veld-eigenschappen en resultaten. De hoeveelheid vuil lag tussen 1 en 3 kruiwagens per keer (één kruiwagen heeft een volume van  $80 \pm 20$  l). Het infillgehalte in een ELT-granulaatveldmonster was 7,8% v/v (3,8% m/m). Eén verzorger merkte echter op dat het ELT-granulaatgehalte wel 50% kan bedragen, wat met foto's werd ondersteund.

Het bleek dat er in werkelijkheid 0-7 keer per jaar werd geborsteld, minder vaak dan de aanbevolen eenmaal per 1 of 2 weken. De jaarlijkse hoeveelheid bij elkaar geborstelde rubber-infill wordt geschat tussen 0 en 140 kg per veld per jaar. Verspreiding in het milieu door borstelen kan tot een minimum worden beperkt als het residu als afval wordt afgevoerd.

**Tabel 3** Granulaat verwijderd uit een onderhoudsmachine (gram), na gebruik op een nat en een droog veld [32]

Veldomstandigheden	Reinigingsmethode	
	Borstelen en luchtblazen	Alleen luchtblazen
Droog	1775 (n = 1)	15 g (n = 3)
Nat	5100 (n = 1)	1765 (n = 2)

[26, 32, 40]

#### Sneeuwruimen

In Scandinavische landen wordt veel sneeuw geruimd. Dit gebeurt met sneeuwblazers, -bezems of -schuivers. Wat het meest geschikt is, hangt af van de sneeuwomstandigheden. Als sneeuw illegaal wordt gedumpt op naastgelegen grond of in sloten, kunnen aanzienlijke hoeveelheden granulaat in het milieu terecht komen. Bovendien is infillverlies bij sneeuwruimen ook een kostenpost voor gemeenten, omdat er ter aanvulling nieuwe infill moet worden gekocht. Meer bewustzijn over de verspreiding van microplastics heeft geleid tot betere instructies en de ontwikkeling van nieuwe sneeuwruimmachines die het granulaat op het veld achterlaten of terugstorten.

Hoeveel en hoe vaak er sneeuw geruimd wordt en hoeveel infill daarbij meekomt, varieert enorm per veld en hangt af van de klimaatomstandigheden, de grondigheid van het onderhoud en de sneeuwruimmethode. In een Zweeds onderzoek [38] werd de met sneeuwschuiven verwijderde infill geraamd op ongeveer 20-30 liter per keer. Het onderzoek is gebaseerd op vraaggesprekken met verzorgers van kunstgrasvelden in verschillende Zweedse gemeenten. Uitgaande van 10 sneeuwruimingingen met een bulkdichtheid van 0,5 kg/l wordt daarmee 100-150 kg/jaar aan ELT-granulaat van het veld gehaald. Als de sneeuw goed wordt opgeslagen, kan deze hoeveelheid na de dooi op de velden worden hergebruikt.

Ook binnen de Scandinavische regio is de noodzaak van sneeuwruimen echter zeer variabel. In Noorwegen speelt het onderhoud van kunstgrasvelden een zeer belangrijke rol bij de verspreiding van microplastics in de vorm van infillmateriaal, vooral in de winter [3]. Het scheelt enorm of de velden in het koude of het warme deel van Noorwegen liggen. Op velden dicht bij de kust valt de minste sneeuw en was het verlies aan infill het kleinst, terwijl er op de noordelijk, landinwaarts gelegen velden granulaatverlies was door sneeuwruimen. Vier velden aan de kust die 10 jaar in gebruik zijn geweest, werden onderzocht en wogen na recycling nog exact hetzelfde als toen ze nieuw waren, hoewel er nooit infill is toegevoegd. Op velden in relatief warme kustgebieden is de aangevulde hoeveelheid infill daarom klein. Velden in koude, noordelijk gelegen gebieden vragen 10-20 keer meer infill als gevolg van sneeuwruimen. Beide onderzoeken tonen aan dat de weersomstandigheden een belangrijke rol spelen bij de verspreiding van infill. De onderhoudsmethoden zijn echter van doorslaggevend belang.

#### Bladblazen

Voor zover ons bekend zijn er geen onderzoeken over het effect van bladblazen op de verspreiding van ELT-granulaat. Er zijn ook geen rapporten beschikbaar over windtransport van rubbergranulaat. Gezien de grootte en de



specifieke dichtheid ( $1,16 \text{ kg/m}^3$ ) van rubberdeeltjes is transport via de wind onwaarschijnlijk.

De hoeveelheid rubbergranulaat die verschillende soorten machines kunnen verspreiden varieert sterk. Bladeren en vuil kunnen worden verwijderd door te vegen en ze met de hand op te pakken, met bladblazers of met verschillende soorten elektrische vegers en stofzuigers. Een eenvoudige handbladblazer waarmee men van binnen naar buiten werkt, is bijvoorbeeld krachtig genoeg om bladeren en granulaat te verspreiden naar de grasbermen langs de velden. Vroeger werd het veld op efficiënte wijze van binnen naar buiten schoongebazen, waarbij de bladeren buiten het veld bleven liggen om te vergaan. Momenteel is er modernere apparatuur op de markt waarmee het verzamelde mengsel van bladeren en granulaat wordt gezeefd. Zo wordt bijna al het granulaat op het veld hergebruikt. Een onbekende hoeveelheid granulaat blijft achter in het verzamelde mengsel. Dit moet als afval worden afgevoerd en mag niet worden gecomposteerd.

#### **Reiniging van apparatuur**

Granulaat kan zich ook verspreiden wanneer onderhoudsapparatuur wordt gereinigd met borstels of hogedrukspuiten. In een Zweeds onderzoek werd vastgesteld hoeveel granulaat er vrijkomt bij het reinigen van borstelmachines [32]. Het onderzoek vermeldde niet om welk type, merk of model machines het exact ging. De apparatuur is meerdere malen gebruikt bij droge en natte veldomstandigheden. Na afloop werden de machines gereinigd. Reiniging van machines met perslucht met en zonder vooraf borstelen werd vergeleken. De resultaten staan in tabel 3.

Borstelen bleek een zeer effectieve methode om granulaat van de machines te verwijderen; gemiddeld werd meer dan 6 keer meer granulaat verwijderd door een combinatie van borstelen en luchtblazen dan door luchtblazen alleen. Bij een nat veld bleef er meer granulaat (meer dan een factor 3) op de apparatuur achter, wat te zien is aan de grotere hoeveelheden die van de machines werden verwijderd. Voor de extrapolatie van een incidenteel naar een jaarlijks verlies via de machines ging de auteur uit van 70 borstelbeurten per jaar onder 50% droge/natte omstandigheden en bij 10% verspreiding via de machines buiten het veld. Buiten het veld kunnen op borstels, wielen of de machine achtergebleven korrels door regen wegspoelen, wegwaaien of van de machine af trillen. Het totaalverlies aan granulaten via een onderhoudsvoertuig is daarom mogelijk ca.  $24 \text{ kg/veld/jaar}$ .

#### **Concentraties in het milieu**

##### **Verharde oppervlakken**

Infill-granulaat kan zich naar verharde oppervlakken verspreiden wanneer het wordt meegenomen via schoenen en onderhoudsmachines, maar volgens Weijer et al. [40] gebeurt dit (in Nederland) voornamelijk door bladblazen. In

Scandinavische landen kan het storten van geruimde sneeuw op verharde oppervlakken ook een oorzaak zijn.

In Nederland is de hoeveelheid infill bepaald op verharde oppervlakken langs 3 kunstgrasvelden met ELT-infill. Op de geselecteerde velden waren geen voorzorgsmaatregelen getroffen, zoals kantplanken langs de zijden. Granulaten konden zich daardoor ongehinderd naar verharde stukken verspreiden. Voor herhaalde waarnemingen werden aan de noord-, zuid-, oost- en westzijde van de velden verharde stukken gemarkeerd van  $1 \text{ m}^2$  op 20 m afstand van elkaar, wat neerkomt op 12 waarnemingen per veld. De hoeveelheid infill werd visueel vergeleken met referentiepercelen met bekende hoeveelheden infill. De resultaten zijn samengevat in tabel 1 deel C. De gemeten hoeveelheid naar verharde oppervlakken verspreide infill varieerde van 0,01 tot  $2,9 \text{ kg/m}^2/\text{week}$  (gemiddelde van 0,4, mediaan van 0,2 kg per  $\text{m}^2$  per week), ofwel 1 tot 60 kg verlies per veld per jaar. De gevonden hoeveelheid infill op verharde oppervlakken varieerde sterk. Wat betreft de geografische ligging werd geen statistisch significant effect gezien. De grootste hoeveelheden zijn gevonden op verharde oppervlakken in Amsterdam. Dit kan komen door het grotere aantal bomen rond het veld (de noodzaak voor bladblazen is dus hoger) dan op de andere locaties (bomen aan 3 versus 2 zijden van het veld) in combinatie met een blaasrichting van binnen naar buiten.

De in hetzelfde onderzoek bepaalde hoeveelheid infill in roosters en inloopmatten bedroeg gemiddeld  $11 \text{ kg}$  per mat ( $n = 10$ ).

#### **Drainagesysteem**

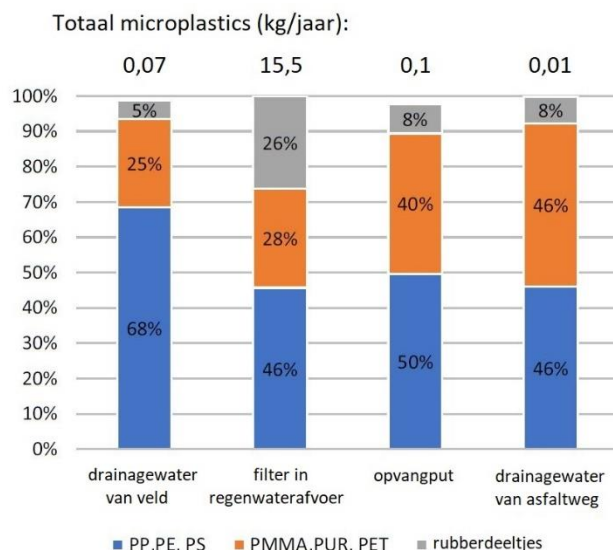
Granulaat dat niet van de verharde oppervlakken is geveegd komt mogelijk via regenwater in het drainagesysteem terecht. De hoeveelheid granulaat die in afvoerputten wordt opgevangen, hangt grotendeels af van de infrastructuur rond de velden (kantplanken, roosters), de onderhoudsapparatuur en het bewustzijn bij verzorgers en spelers. Bij twee onderzoeken is getracht het gewicht te bepalen van de infill die mogelijk in afvoerputten terechtkomt.

Bij het eerste onderzoek [40] werd in januari/februari 2018 slib in 28 afvoerputten nabij 2 kunstgrasvelden bemonsterd. De hoeveelheid infill in het slib werd achtereenvolgens visueel geïnspecteerd, gezeefd, gewassen, gedroogd en gewogen. In Rotterdam (veld van 1,5 jaar oud) bevatten acht jaarlijks gereinigde putten gemiddeld  $62 \text{ g}$  rubbergranulaat per put. In Hoogeveen (veld van 11 jaar oud) bevatten 20 putten elk gemiddeld  $341 \text{ g}$  rubberinfill. Volgens de verzorger waren de putten nog nooit gereinigd. Op basis van deze twee velden is het maximale infillverlies via het drainagesysteem bepaald op  $2 \text{ kg}$  per veld per jaar (zie tabel 1, deel D).

Bij het tweede onderzoek [32] werden regenwaterafvoeren en opvangputten geïnstalleerd bij een nieuw (in

september 2018 aangelegd) Zweeds voetbalveld met ELT-infill. Rond het veld waren kantplanken aangebracht om verspreiding van infill tegen te gaan, er was speciale winterbelijning voor de opslag van sneeuw op het veld, en er zaten filters van 100 en 200 pm om microplastics op te vangen in respectievelijk het drainagesysteem en de regenwaterafvoeren. De afvoeren werden aangelegd onder het veld, in de verharde stukken rond het veld om regenwater op te vangen, in opvangputten en (ter vergelijking) in het drainagesysteem van een geasfalteerde weg. De putten werden tot één jaar na de aanleg 7-8 maal bemonsterd. De monsters werden geanalyseerd op 5 categorieën plastics: (1) PP, PE, PS; (2) PMMA, PUR, PE; (3) rubberdeeltjes (met silicium); (4) chloorbevattende deeltjes, zoals PVC; (5) fluorhoudende deeltjes, zoals PTFE. Microplastics zijn bepaald via SEM-EDX- en FTIR-analyse. Hiermee konden microplastics > 10 pm worden gedetecteerd. De analyse-methode was niet geschikt om specifiek ELT-rubberdeeltjes te bepalen, maar die vallen onder de categorie 'siliciumhoudende deeltjes'. De resultaten zijn weergegeven in fig. 4.

Microplastics verspreiden zich voornamelijk door afspoelen van verharde stukken, met 15,5 kg per veld per jaar. De hoeveelheid rubberverbindingen in het regenwater bedroeg 26%, maximaal 4-5 kg ELT-granulaat per veld per jaar. Dit lijkt relatief veel in verhouding tot de hierboven genoemde 1 kg [40]. Bij het onderzoek van Weijer ging het om oudere velden en er waren geen filters geïnstalleerd in de drainageputten, zodat deeltjes mogelijk verderop in sloot sediment terecht zijn gekomen (zie het deel



**Fig. 4** Percentage van verschillende soorten microplastics in drainage- en spoelwater van een kunstgrasveld, vergeleken met dat in water van een geasfalteerde weg [32].

Microplasticdeeltjes gemeten op een in september 2018 aangelegd Zweeds kunstgrasveld. De infill bestond uit ELT-granulaat. Rubberdeeltjes werden bepaald op basis van de aanwezigheid van silicium. De hoeveelheid deeltjes met chloor (zoals PVC) of fluor (zoals PTFE) lag onder de detectiegrens.

'Sediment'). De regenwaterafvoeren in het onderzoek van Regnell [32] lijken een effectieve maatregel ter vermindering van de verspreiding, want het percentage rubberverbindingen verderop in de opvangputten was vergelijkbaar met dat in het van de weg gespoelde water. Opvallend is dat zo dicht bij het kunstgras rubbergranulaat slechts een klein aandeel vormt in het totale microplasticmengsel.

### Sediment

Granulaten kunnen in de sloten terecht komen via het drainagesysteem, afspoelend water en door onjuist bladblazen of sneeuwruimen. In twee Nederlandse onderzoeken zijn metingen beschreven van rubbergranulaat in sloot-sediment. ELT-granulaat is hydrofoob en zwaarder dan water en slaat dus dicht bij het lozingspunt neer. Normaal gesproken worden neergeslagen resten en dood plantmateriaal echter periodiek uit sloten verwijderd. Informatie over deze praktijk is nodig om de metingen te interpreteren.

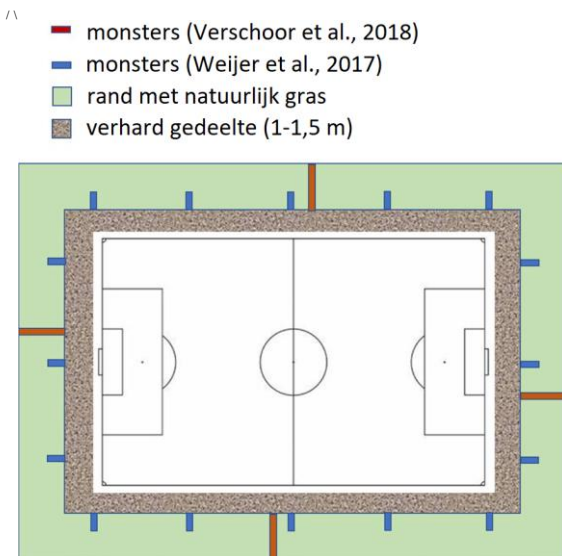
Bij het eerste onderzoek [40] liggen de sloten slechts op 3-4 m afstand van de 2 onderzochte kunstgrasvelden. Van 10 deelmonsters sediment uit sloten naast het veld werd een mengmonster gemaakt. Sediment in de Amsterdamse sloot bevatte 0,26% v/v ELT-granulaat, en dat in de Hoogeveense sloot 4,9% v/v (zie tabel 1, deel E). Rekening houdend met eerdere baggerwerkzaamheden en de afmetingen van de sloot wordt het jaarlijkse verlies van infill vanuit het kunstgras naar de sloot geschat op 4-6 kg per veld per jaar. Dit is ongeveer gelijk aan de hoeveelheid die Regnell [32] vond in de afvoerputten (zie hoofdstuk 'Drainagesysteem').

Bij het tweede onderzoek [37] lagen de sloten 8 tot 72 m van de kunstgrasvelden. In 10 verschillende gemeenten werden tussen 1990 en 2009 aangelegde velden met ELT-infill geselecteerd. De sloten bevatten gemiddeld 0,22 (0-2,8) g ELT-granulaat per kg droog sediment. De granulaatconcentraties bevinden zich in dezelfde orde van grootte als de laagste door Weijer et al. [40] gemeten waarde. De informatie over de tijd sinds er voor het laatst is gebaggerd, is niet compleet.

### Bodem

Bij twee onderzoeken in Nederland zijn met een graszodenmonsterboor (onafhankelijk van elkaar) monsters genomen van de bovengrond rond kunstgrasvoetbalvelden, voor bepaling van het gehalte aan rubbergranulaat. Het granulaatgehalte was gebaseerd op een gravimetrische scheiding van granulaat- en bodemdeeltjes en wordt in meer detail beschreven in het aanvullende bestand 1. De plaats van bemonstering ten opzichte van het kunstgrasveld bij beide onderzoeken is weergegeven in fig. 5.

Bij het onderzoek van Verschoor et al. [37] werden 20 monsters genomen van de bovenste 10 cm van de grasstrook



**Fig. 5** Schema van bodembemonstering in grasstroken rond kunstgrasvelden

rond het kunstgras. Om de 10 cm werden monsters genomen op 0-2 m afstand van de verharde stukken. Op 10 velden van ca. 10 jaar oud werd op 0-2 m afstand van het veld in de bovenste 10 cm een mediane rubberinfill-concentratie gevonden van 13 g/kg grond (bereik van 1-35 g/kg) [37].

Bij het onderzoek van Weijer et al. [40] werden drie sportvelden onderzocht: één in Amsterdam, één in Rotterdam en één in Hoogeveen. De graszoden (bovenste 2 cm) en de 5 cm daaronder werden afzonderlijk bemonsterd om inzicht te krijgen in de verticale verdeling van het granulaat. Aan elke zijde van het veld werden op 0-0,5 m afstand van de omringende verharde oppervlakken om de 20 m monsters over een loodrechte lijn genomen, die zijn gemengd tot één homogeen monster per zijde. Met behulp van een gravimetrische methode zijn deze kwantitatief en voorlopig kwalitatief bepaald. De resultaten staan in tabel 1, deel F.

Uit de bevindingen in Rotterdamse graszoden en ondergrond kan worden afgeleid dat 97% van de zich naar de omringende grond verspreide infill is aangetroffen in de 2 cm dikke graszoden. Slechts 3% werd gevonden in de 5 cm dikke laag eronder. Het ging hier echter om een nieuw veld; bodemprocessen en -organismen hebben slechts een half jaar de tijd gehad om de infill verticaal te verspreiden. In Hoogeveen daarentegen werd 78% van de infill gevonden in de ondergrond en 23% in de graszoden. Langdurige bouwwerkzaamheden in 2006 zorgden voor vermenging en homogenisering van granulaat in een dikkere bodemlaag. Hetzelfde kan in 2007 in Amsterdam het geval zijn geweest. Sinds 2010 is er meer aandacht voor de noodzaak om de granulaatverspreiding zoveel mogelijk te beperken, ook tijdens de aanleg.

Bij het onderzoek van Verschoor et al. waren de granulaatconcentraties [37] lager dan bij het onderzoek van

Weijer et al. [40]. Het verschil wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de bredere strook (0-2 m versus 0-0,5 m) en de dikkere laag (0-10 cm versus 0-7 cm) die bij de respectievelijke onderzoeken zijn bemonsterd.

### Massabalans

De circulaire economie heeft als uitgangspunt dat materialen eendeloos kunnen worden hergebruikt en gerecycled. Verliezen naar het milieu zijn onwenselijk. Verlies naar het milieu wordt beschouwd als een reden of de belangrijkste reden voor de noodzaak tot aanvullen [18]. Het is moeilijk om in het algemeen af te leiden hoe groot het verlies naar het milieu is, omdat dit afhangt van de regels voor onderhoud en gebruik, het gedrag van spelers en verzorgers, de beschikbare onderhoudsapparatuur en de infrastructuur. Daar komt nog bij dat de verspreiding van infill kan worden versneld door nat weer en vooral door sneeuw.

In fig. 2 is de materiaalcyclus van ELT-granulaat op kunstgras weergegeven. Een onjuiste manier van sneeuwruimen is mogelijk de belangrijkste reden voor granulaatverlies vanuit het veld. Grote delen van Europa hebben echter een gematigd of warm klimaat, waar sneeuwruimen geen probleem is. Het is waarschijnlijk geen toeval dat de meeste onderzoeken naar de lotgevallen van rubberinfill in Scandinavische landen zijn uitgevoerd, omdat het granulaat daar goed zichtbaar is in de smeltende sneeuwvelden in de buurt van het sportterrein. Er werd aangenomen dat 100-150 kg ELT-granulaat per veld per jaar verloren zou kunnen gaan door sneeuwruimen (zie het onderdeel 'Sneeuwruimen'). Een manier om grootschalig verlies te voorkomen is een beter sneeuwruimbeheer [3]. Met de juiste maatregelen en procedures kan de ELT die overblijft na het smelten van de sneeuw opnieuw worden gebruikt op het veld.

Wanneer op het hele veld sneeuw wordt geruimd, moet het hele veld (7140 m<sup>2</sup>) worden aangevuld met granulaat. In landen waar sneeuwruimen niet nodig is, hoeft de infill alleen te worden aangevuld op stukken met plaatselijke slijtage of intensief gebruik. In gematigde gebieden is het dus waarschijnlijk dat alleen lokale *hotspots* worden behandeld met extra infill, en niet het hele veld, zodat er minder granulaat nodig is.

Op basis van literatuuronderzoek schatten we in dat er jaarlijks ongeveer 600-1200 kg infill per veld nodig is, hoewel er voorbeelden zijn van sportvelden waarop het granulaat nooit is aangevuld. Door goed en verantwoord beheer kan verspreiding naar het milieu worden vermeden. De belangrijkste reden voor het jaarlijks aanvullen van granulaat op kunstgrasvelden is compactie (500-600 kg). Bij compactie is er geen sprake van verspreiding van infill naar het milieu. Het resterende deel kan worden opgevangen van verhardingen om het veld en afvoerputten en kan worden afgevoerd als afval (zie fig. 2).

### Risicobeperkende maatregelen

Niet alle verliezen van ELT-infill hoeven in het milieu terecht te komen. Er zijn veel mogelijkheden om de verspreiding van granulaten naar het milieu te beperken. Nu er meer aandacht is voor verontreiniging door microplastics, zijn er nieuwe protocollen ontwikkeld. Het Europees Normalisatiecomité heeft onlangs een leidraad gepubliceerd over hoe de verspreiding van infill naar het milieu tot een minimum kan worden beperkt [6]. De leidraad besteedt aandacht aan het ontwerp en de aanleg van het veld, het veldonderhoud met speciale aandacht voor sneeuwruimen, de kledkamers, retrofitting en hoe om te gaan met afgeschreven kunstgras. Ook producenten van infillmaterialen [17] en veldaannemers [5] bieden begeleiding.

Bij gemakkelijk toe te passen aanbevelingen gaat het om goede onderhoudsmethodes, zoals bladeren naar het midden van het veld blazen en afvoeren als afval in plaats van ze te composteren. Granulaten die zijn verspreid naar verharde oppervlakken, gebouwen en drainagesystemen kunnen worden ingezameld en afgevoerd als restafval. De laatste jaren is er nieuwe bladruimapparatuur ontwikkeld waarmee bladeren worden opgezogen. Het opgezogen materiaal wordt onmiddellijk gefilterd, waarbij het granulaat terugvalt op het veld en de bladeren achterblijven in de machine.

Er wordt geadviseerd om 3–4 keer per jaar een krachtige borstel- en harkbeurt toe te passen om vuil te verwijderen dat in de infillaag is beland en om compactie tegen te gaan [35]. Om verspreiding van rubbergranulaat naar het milieu te voorkomen, moet verzameld residu als afval worden beschouwd.

Bij sneeuwruimen wordt aanbevolen de sneeuw op te slaan in speciaal daarvoor bedoelde zones met een verharde ondergrond en een opstaande rand. Wanneer de sneeuw gesmolten is, kan het granulaat opnieuw worden gebruikt op de velden of worden afgevoerd als restafval. Het is gebruikelijk om delen van het kunstgrasveld vrij te maken en na het smelten van de sneeuw de infill opnieuw te verdelen over het vrijgemaakte veld met reguliere onderhoudsapparatuur. Bij veel velden zijn er specifieke verharde delen voor sneeuwruimen of worden delen van het toeschouwersgedeelte in de winter gebruikt om sneeuw op te slaan. Hoewel sneeuwhoppen er niet mooi uitzien, kunnen ze worden afgescheiden van het natuurlijke milieu.

De verspreiding van granulaat naar het milieu als gevolg van apparatuurreiniging kan volledig worden voorkomen als het reinigen plaatsvindt op een (afgescheiden) verhard oppervlak waar het granulaat kan worden opgevangen voor hergebruik op de velden of afvoer als restafval.

Het drainagesysteem in de verharde oppervlakken rondom het kunstgras is zo ontworpen dat overtollig water snel wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater of de

riolering. Afvoerputten, een onderdeel van het drainage-systeem, voorkomen verstopping van de afvoerbuizen met materiaal dat kan neerslaan, zoals zand, rubbergranulaat of gruis. De afvoerputten beschermen niet alleen tegen verstopping, maar voorkomen ook dat deze materialen in het oppervlaktewater terechtkomen. Deze putten moeten regelmatig worden gereinigd en eventueel aanwezig rubbergranulaat moet samen met het overige residu worden afgevoerd als restafval. Het plaatsen van filters in drainagesystemen om microplastics op te vangen blijkt een effectieve maatregel te zijn. Er is aangetoond dat slechts 1 kg per veld per jaar het filter passeert en in de sloot terechtkomt [32].

### Discussie

In het kader van beleid ter vermindering van microplastics wordt verregaand Europees beleid voorgesteld om ELT-infill op sportvelden te beperken. In dit artikel hebben wij uitgelegd dat de verspreiding van rubberinfill kan worden beheerd en tot vrijwel nul kan worden teruggebracht. Beleid om rubbergranulaat te verbieden zal dan ook niet helpen om het microplasticsprobleem op te lossen en kan zelfs averechts werken bij een andere belangrijke kwestie, de circulaire economie.

Er zijn geen peer-reviewed wetenschappelijke publicaties over de lotgevallen en de verspreiding van ELT-granulaat dat wordt gebruikt op buitenkunstgrasvelden en relevante grijze onderzoeken zijn gepubliceerd in andere talen dan het Engels. In deze paper is de grijze literatuur verzameld die bijdraagt aan de beschikbare kennis met gegevens uit metingen en experimenten. Onderzoek is vertaald en in deze review gebruikt om een overzicht te geven van de huidige kennis over de verspreiding van ETL-granulaat. Dat andere bronnen (polymeerdeeltjes die vrijkomen in het verkeer, textiel, microplasticpellets) veel relevanter zijn, werd al vermeld in de inleiding. In het onderzoek van Regnell et al. [32] werd aangetoond dat rubberinfill zelfs in de buurt van een kunstgrasveld slechts een kleine fractie uitmaakt van de totale hoeveelheid microplastics in het afvoerwater, filters in de regenwaterafvoer en opvangputten (zie fig. 4).

Het aantal onderzoeken met meetgegevens is gering. We hebben vier onderzoeken gevonden waarin monitoring-resultaten in buitenomstandigheden zijn beschreven. De doelstellingen en de onderzoeken verschilden, wat tot uiting komt in de onderzoeksopzet en in de nauwkeurigheid en bruikbaarheid van de resultaten. De doelstellingen varieerden van massabalans [40], milieu-impact [37] en infillverlies via schoenen [26] tot de effectiviteit van risicobeperkende maatregelen [32]. De bemonsteringsmethoden, analysemethoden en rapportage verschillen, wat het vergelijken van de onderzoeken lastig maakt. De bemonsteringsmethoden verschillen wat betreft

monstergrootte en diepte en/of afstand tot het veld. Verder zijn de meeste analyses fysisch van aard en is het polymeer zelden chemisch bevestigd. De gerapporteerde eindpunten variëren van het aantal deeltjes tot gewicht, volume of percentages. We hebben getracht de uitkomsten van deze onderzoeken om te zetten naar één uniforme eenheid: kg infill per veld per jaar die naar het milieu wordt verspreid. De verspreiding van rubbergranulaat uit kunstgras vertoont een enorme variatie. De plaatselijke omstandigheden – de leeftijd en het onderhoud van het veld en de geografische en meteorologische omstandigheden – lijken de overheersende factoren zijn. De onderzoeken waarin werd geprobeerd om de verspreiding van ELT-granulaat en de jaarlijks benodigde hoeveelheid infill te kwantificeren, zijn allemaal uitgevoerd op velden die werden aangelegd en onderhouden in een periode waarin er nog geen risicobeperkende maatregelen waren, met uitzondering van het onderzoek van Regnell [32]. De ingeschatte hoeveelheden moeten dan ook worden beschouwd als worst-casesituatie. Worst-casesituaties doen zich vooral voor vanwege onwetendheid over de verspreiding van granulaten en over de noodzaak en de manier om de verspreiding van microplastics tegen te gaan. De grote benodigde hoeveelheid infill zoals geschat in Scandinavisch onderzoek lijken erop te duiden dat er vooral risico optreedt door verlies bij sneeuwruimen, waarbij er geen aandacht is voor compactie als verliesbron in het veld. Het is opvallend dat er geen meetgegevens zijn over de werkelijke verspreiding door sneeuw. Slechts in één Zweeds onderzoek [38] werd op basis van vraaggesprekken met verzorgers geschat dat per sneeuwruiming 20-30 liter infill wordt verwijderd. Hoe representatief en betrouwbaar deze waarde is, kan niet worden beoordeeld omdat de omstandigheden (nat of droog) tijdens het sneeuwruimen en het soort apparatuur niet zijn beschreven.

Eén gegeven lijkt bijzonder invloedrijk te zijn en dat is de geschatte benodigde hoeveelheid infill van 3000-5000 kg per jaar. Deze waarde gaat terug tot 2009, hoewel de oorspronkelijke Deense bron niet beschikbaar is. Uit dezelfde bron van 2012 komt echter een vergelijkbare verwijzing naar voren [7]. Bij gebrek aan betere gegevens zijn deze cijfers overgenomen in vele reviews, waarin deze waarde werd geëxtrapoleerd naar andere landen en de EU als geheel [18, 20, 22, 24, 36]. Uiteindelijk vormt dit nog steeds de basis voor het ECHA-voorstel tot beperking.

Het is de vraag of deze Scandinavische cijfers representatief zijn voor alle landen in de EU. Scandinavië behoort tot een koudere klimaatzone, terwijl West- en Zuid-Europa tot een meer gematigde klimaatzone behoren met minder sneeuwval [4]. Bij het sneeuwruimen kan een aanzienlijke hoeveelheid rubberinfill van de velden worden verwijderd. Als de geruimde sneeuw niet op de juiste manier wordt opgeslagen, kan dat leiden tot verspreiding van granulaat

naar het milieu.

Sneeuwruimen is niet gebruikelijk of niet nodig in landen met een gematigd of warm klimaat. Er zijn alleen gegevens uit Scandinavië en Nederland. We hebben geen onderzoeken uit Zuid-Europese landen gevonden. Het is logisch dat landen waar verspreiding van infill geen probleem is (of niet als zodanig wordt ervaren) niet hebben geïnvesteerd in monitoringonderzoek. Toch zouden zulke gegevens waardevol zijn, want dan kan per land worden bepaald hoeveel infill er nodig is en kan de hypothese worden getest dat het klimaat bijdraagt aan de benodigde hoeveelheid infill.

De laatste jaren is er meer aandacht voor de verspreiding van microplastics, wat heeft geleid tot aanpassing van de infrastructuur, standaardonderhouds-procedures en regels voor het gedrag van de spelers. De jaarlijkse benodigde hoeveelheid granulaat voor aanvulling kan worden teruggebracht tot 600-1200 kg per veld, met name voor de compensatie van compactie op intensief gebruikte oppervlakken en van kleine verliezen die kunnen worden verzameld als afval.

Naast bovengenoemde aanbevelingen en ontwikkelingen wordt er gesproken over het gebruik van andere infill-materialen of de aanleg van kunstgrasvelden zonder infill. Een verschuiving naar gangbare alternatieve infill-materialen zoals EPDM en TPE helpt niet, omdat die ook als microplastics worden beschouwd. Het gebruik van natuurlijke infillmaterialen valt te overwegen, alhoewel die gewoonlijk alleen voor gebruik bij woningen worden aanbevolen omdat ze gevoeliger zijn voor slijtage. Ook de beschikbaarheid, kwaliteit en certificering van natuurlijke materialen zijn onzekerder. Bovendien kunnen de lichte natuurlijke materialen bij harde regen worden weggespoeld. Ten slotte kan kunstgras zonder infill worden overwogen met vezels die worden ondersteund door kleinere vezels. Kunstgras zonder infill is echter gevoeliger voor meer slijtage van de polyethyleenvezels. Rubbergranulaat kan worden verzameld en hergebruikt, maar de versleten vezels van kunstgras zonder infill zijn moeilijk te verzamelen en kunnen niet opnieuw worden gebruikt in het veld. Door hun grootte en gewicht hebben rubberdeeltjes de neiging snel neer te slaan in afvoerputten en het sediment van sloten in de buurt. De verspreiding naar slootsediment kan effectief worden voorkomen door regelmatig vegen van verharde oppervlakken en filters in het drainagesysteem [32]. Uit de onderzoeken in deze review blijkt dat de verspreiding van rubbergranulaat een lokaal probleem is dat met de juiste infrastructuur en onderhoudsprocedures tot vrijwel nul kan worden teruggebracht.

## Conclusie

In deze paper wordt de huidige stand van kennis over de verspreiding van ELT-granulaat uiteengezet. Jaarlijks blijkt

ca. 600-1200 kg te moeten worden aangevuld om te compenseren voor compactie en voor verspilling van infill naar verharde stukken en afvoerputten. Aanbevolen maatregelen ter vermindering van de verspreiding zijn: insluiting door een optimaal aangelegd veld en drainagesysteem, geschikte onderhoudsapparatuur en regels voor goed onderhoud en gebruik voor spelers en veldbeheerders en voor de omgang met afgeschreven velden. Als deze aanbevelingen worden uitgevoerd, kan de verspreiding van ELT-granulaat naar het milieu vrijwel tot nul worden gereduceerd.

### Aanvullende informatie

De onlineversie bevat aanvullend materiaal en is beschikbaar (in het Engels) via <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00459-1>.

### Aanvullend bestand 1.

Kwantificering van rubbergranulaat in bodem en sediment.

### Dankwoord

De auteurs bedanken de Zweedse en Deense onderzoekers voor extra uitleg over hun gepubliceerd onderzoek.

### Bijdragen van de auteurs

AvG was betrokken bij het opstellen en kritisch lezen van het manuscript. AVJ heeft het eerste en het definitieve concept geschreven. AVJ en UH waren betrokken bij sommige van de achterliggende experimentele onderzoeken.

### Financiering

Dit werk is gefinancierd door RecyBEM, de Nederlandse organisatie voor afgedankte banden

### Beschikbaarheid van gegevens en materialen

Alle gegevens zijn openbaar toegankelijk via internet.

### Ethische goedkeuring en toestemming voor deelname

Niet van toepassing.

### Toestemming voor publicatie

Alle auteurs hebben de inhoud van het manuscript goedgekeurd.

### Tegenstrijdige belangen

De auteurs verklaren dat zij geen tegenstrijdige belangen hebben.

### Auteursgegevens

<sup>1</sup> De Milieutafel, Soest, Nederland. <sup>2</sup> RecyBEM, Den Haag, Nederland. <sup>3</sup> SGS INTRON, Sittard, Nederland.

Ontvangen: 9 november 2020 Geaccepteerd: 23 januari 2021

Online gepubliceerd: 5 maart 2021

### Referenties

- 1999/31/EC, Council Directive 1999/31/EC, of 16 April 1999 on the landfill of waste. Current consolidated version of 04 April 2018, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:01999L0031-20180704>. Accessed 28 July 2020
- Bastin J-F, Finegold Y, Garcia C, Mollicone D, Rezende M, Routh D, Zohner CM, Crowther TW (2019) The global tree restoration potential. *Science* 365(6448):76. <https://science.sciencemag.org/content/365/6448/76>
- Bauer B, Egebaek K, Aare AK (2017) Environmentally friendly substitute products for rubber granulates as infill for artificial turf fields. Norway: 42, <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M955/M955.pdf>
- Beck HE, Zimmermann NE, McVicar TR, Vergopolan N, Berg A, Wood EF (2018) Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data* 5(1):180214. <https://www.nature.com/articles/sdata2018214>
- BSNC (2019) Zorgplichtdocument milieu kunstgrasvelden. [https://bsnc.nl/wp-content/uploads/2020/01/BSNC-Rapport-Zorgplicht\\_Web\\_def\\_150120.pdf](https://bsnc.nl/wp-content/uploads/2020/01/BSNC-Rapport-Zorgplicht_Web_def_150120.pdf)
- CEN (2020) Surfaces for sports areas—synthetic turf sports facilities—guidance on how to minimize infill dispersion into the environment. <https://www.estc.info/wp-content/uploads/2020/03/FprCENTR-17519-Public.pdf>
- DBU (2012) Gode råd om vedligehold af 3. Generations kunstgræs—fodboldbaner. Gode råd som supplement til kunstgræsbane leverandørernes garanti afhængige vedligeholdelsesvejledninger. (Danish Boldspil Union). <https://docplayer.dk/1173936-Kunstgræs-fodboldbaner.html>. Accessed 24 June 2020
- ECHA (2017) Annex XV report. An evaluation of the possible health risks of recycled rubber granules used as infill in synthetic turf sports fields, p 71
- ECHA (2019) Annex XV restriction report. Proposal for a restriction. Substance name(s): intentionally added microplastics, version 1.2, 22 August 2019. Helsinki, ECHA. <https://echa.europa.eu/nl/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18244cd73>
- ECHA (2020a) RAC backs restricting intentional uses of microplastics, ECHA/NR/20/19. <https://echa.europa.eu/nl/-/rac-backs-restricting-intentional-uses-of-microplastics>
- ECHA (2020b) Restriction proposal on intentionally added microplastics—questions and answers. [https://echa.europa.eu/documents/10162/28801697/qa\\_intentionally\\_added\\_microplastics\\_restriction\\_en.pdf/5f3caa33-c51f-869e-81c8-7e1852a4171c](https://echa.europa.eu/documents/10162/28801697/qa_intentionally_added_microplastics_restriction_en.pdf/5f3caa33-c51f-869e-81c8-7e1852a4171c)
- ETRMA (2015) End-of-life Tyre report. <https://www.etrma.org/library/end-of-life-tyres-2015/>
- European Commission (2020) A new circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe, communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions, COM/2020/98 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2020:98:FIN>
- FIFA (2016) Laws of the game: 144. <https://img.fifa.com/image/upload/datz0pms85gbnqy4j3k.pdf>
- Fleming PR, Forrester SE, McLaren NJ (2015) Understanding the effects of decompaction maintenance on the infill state and play performance of third-generation artificial grass pitches. In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part P Journal of Sports Engineering and Technology 229(3): 169-182. doi: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1754337114566480>
- Fleming PR, Watts C, Forrester SE (2020) A new model of third generation artificial turf degradation, maintenance interventions and benefits. In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part P Journal of Sports Engineering and Technology. doi: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1754337120961602>
- Genan (2020) Maintenance of synthetic turf fields with rubber infill. Genan Inside, p 4. <https://www.genan.us/wp-content/uploads/2020/02/Maintenance-of-synthetic-turf-fields-with-rubber-infill-Genan-Inside.pdf>
- Hann S, Sherrington C, Jamieson O, Hickman M, Kershaw P, Bapasola A, Cole G (2018) Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by (but not intentionally added in) products, Eunomia. [https://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/microplastics\\_final\\_report\\_v5\\_full.pdf](https://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/microplastics_final_report_v5_full.pdf)
- Hartmann N, Hüffer T, Thompson RC, Hassellöv M, Verschoor A, Daugaard AE, Rist S, Karlsson T, Brennholt N, Cole M, Herrling MP, Hess MC, Ivleva NP, Lusher AL, Wagner M (2019) Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris. *Environ Sci Technol*

- 53(3):1039-1047. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.8b05297>
20. Kjær KB (2013) Miljø- og sundhedsskadelige stoffer i drænvand fra kunstgræsbaner. Oversigt over eksisterende analyseresultater på danske kunstgræsbaner samt supplerende måleprogram på to udvalgte baner, DHI: 96. <http://regnvandskvalitet-abc.teknologisk.dk/media/1037/miljoe-og-sundhedsskadelige-stoffer-i-draenvand-fra-kunstgraesbaner.pdf>
  21. Kreider ML, Panko JM, McAtee BL, Sweet LI, Finley BL (2010) Physical and chemical characterization of tire-related particles: comparison of particles generated using different methodologies. *Sci Total Environ* 408(3):652-659. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969709009590?via%3Dihub>
  22. Lassen C, Foss-Hansen S, Magnusson K, Norén N, Hartmann NI, Rehne-Jensen P, NTG, Brinch A (2015) Microplastics. Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark, Danish EPA: 208. [https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/118180844/Lassen\\_et\\_al\\_2015.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/118180844/Lassen_et_al_2015.pdf)
  23. Løkkegaard H, Malmgren-Hansen B, Nilsson NH (2018) Mass balance of rubber granulate lost from artificial turf fields, focusing on discharge to the aquatic environment. A review of literature. (Revised May 2019), DTI: 25. [https://www.genan.eu/wp-content/uploads/2020/02/Teknologisk-Institut\\_Mass-balance-of-rubber-granulate-lost-from-artificial-turf-fields\\_May-2019\\_v1.pdf](https://www.genan.eu/wp-content/uploads/2020/02/Teknologisk-Institut_Mass-balance-of-rubber-granulate-lost-from-artificial-turf-fields_May-2019_v1.pdf)
  24. Magnusson K, Eliasson K, Fråne A, Haikonen K, Hultén J, Olshammar M, Stadmark J, Voisin A (2016) Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment. A review of existing data. (revised version 2017), IVL: 89. [https://www.ccb.se/documents/ML\\_background/SE\\_Study\\_MP\\_sources.pdf](https://www.ccb.se/documents/ML_background/SE_Study_MP_sources.pdf)
  25. Merlin B, Vogt R (2020) Life cycle assessment of waste tyre treatments: material recycling vs. incineration in cement kilns. Project no. 11831036 commissioned by Genan Holding A/S.: 93
  26. Norges forskningsråd (2017) Sjøkk kunstgressbaner. FORSKNINGSKAMPANJEN 2017. Rapport fra undersøkelser om svinn av gummigranulat fra kunstgressbaner, gjennomført av over 12 000 elever og spillere høsten 2017 (Controleer het kunstgrasveld. DE ONDERZOEKSCAMPAGNE 2017. Rapportage van onderzoek naar afval van rubbergranulaat uit kunstgrasvelden, uitgevoerd door meer dan 12.000 leerlingen en spelers in het najaar van 2017). Norwegen: 19. [https://www.miljolare.no/innsendt/oppslag/1486/5af04d407fd75/rapport\\_forskningskampanjen\\_2017.pdf](https://www.miljolare.no/innsendt/oppslag/1486/5af04d407fd75/rapport_forskningskampanjen_2017.pdf)
  27. Oliveri-Conti G, Ferrante M, Banni M, Favara C, Nicolosi I, Cristaldi A, Fiore M, Zuccarello P (2020) Micro- and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. *Environ Res* 187:109677. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935120305703?via%3Dihub>
  28. OSPAR (2017) Assessment document of land-based inputs of microplastics in the marine environment, p 94. <https://www.ospar.org/documents?v=38018>
  29. Pronk MEJ, Woutersen M, Herremans JMM (2010) Synthetic turf pitches with rubber granulate infill: are there health risks for people playing sports on such pitches?" *J Exposure Sci Environ Epidemiol* 30(3):567-584
  30. RecyBEM (2015) Ecotest infill material, comparison different infill materials in relation to PAH restriction Regulation(EU) 1272/2013, 15p.
  31. Redondo-Hasselerharm PE, de Ruijter VN, Mintenig SM, Verschoor A, Koelmans AA (2018) Ingestion and chronic effects of car tire tread particles on freshwater benthic macroinvertebrates. *Environ Sci Technol* 52(23):13986-13994. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.8b05035>
  32. Regnell F (2019) Dispersal of microplastic from a modern artificial turf pitch with preventive measures—case study Bergaviks IP Kalmar, Ecoloop: 27. <https://www.genan.eu/wp-content/uploads/2020/02/MP-dispersal-from-Bergavik-IP-Kalmar-Report.pdf>
  33. SAPEA (2019) A scientific perspective on microplastics in nature and society. Berlin. <https://www.sapea.info/topics/microplastics/>
  34. Schneider K, Bierwisch A, Kaiser E (2020) ERASSTRI - European risk assessment study on synthetic turf rubber infill—part 3: exposure and risk characterisation. *Sci Total Environ* 718:137721. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720312328?via%3Dihub>
  35. Sharma P, Fleming P, Forrester S, Gunn J (2016) Maintenance of artificial turf—putting research into practice. *Procedia Eng* 147:830-835. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816307457?via%3Dihub>
  36. Sundt P Syversen F, Skogedal O, Schulze PE (2016) Primary microplastic pollution: measures and reduction potentials in Norway, Mepex, p 117. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M545/M545.pdf>
  37. Verschoor AJ, Bodar CWM, Baumann RA (2018) Verkenning milieueffecten rubbergranulaat bij kunstgrasvelden. The Netherlands, RIVM, p 112. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2018-0072.pdf>
  38. Wallberg (2016) Däckmaterial i konstgräsplaner: 44. [https://www.sdab.se/media/1120/daeckmaterial\\_i\\_konstgraesplaner.pdf](https://www.sdab.se/media/1120/daeckmaterial_i_konstgraesplaner.pdf)
  39. WBCSD (2019) Global ELT management - a global state of knowledge on regulation, management systems, impacts of recovery and technologies, p 57. <https://www.wbcsd.org/Sector-Projects/Tire-Industry-Project/End-of-Life-Tires-ELTs>
  40. Weijer A, Knol J, Hofstra U (2017) Verspreiding van infill en indicatieve massabalans, SWECO, SGS Intron: 48. <https://www.bsnc.nl/wp-content/uploads/2017/05/Rapportage-Verspreiding-van-infill-en-indicatieve-massabalans.pdf>
  41. Zitouni N, Bousserhine N, Belbekhouche S, Missawi O, Alphonse V, Boughtass I, Banni M (2020) First report on the presence of small microplastics (< 3 µm) in tissue of the commercial fish *Serranus scriba* (Linnaeus, 1758) from Tunisian coasts and associated cellular alterations. *Environ Pollut* 263:114576. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119374780?via%3Dihub>

### Opmerking van de uitgever

Springer Nature blijft neutraal met betrekking tot rechtsgebiedsclaims in gepubliceerde kaarten en institutionele banden.