



Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

KvK Utrecht 30276683

T 030 274 91 11
info@rivm.nl

Datum
1 december 2021

Ons kenmerk
M&V-2021-0173

Auteurs

[Redacted]

Behandeld door

DDB

T [Redacted]

Briefadvies

Risico's voor mens en milieu bij toepassing van struviet uit huishoudelijk afvalwater als meststof op de bodem, update

Samenvatting

Bij de zuivering van huishoudelijk afvalwater in rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) komen diverse reststromen vrij, zoals slib en mineralen. Die kunnen nuttig worden toegepast als dat ook veilig is voor mens en milieu. De vraag was of het toepassen van producten op de bodem op basis van de uit huishoudelijk afvalwater herwonnen grondstof struviet risico's voor mens of milieu kunnen opleveren. Deze risico inventarisatie en het aanvullend onderzoek naar pathogenen dat daarvoor nodig was, is uitgevoerd door Waternet en Aquaminerals. Er is door de opdrachtgever en de sector besloten dat deze struviet studie zich richt op de veiligheidsaspecten. Hierbij wordt wel erkend dat daarnaast ook duurzaamheidsaspecten relevant kunnen zijn bij het beoordelen van nieuwe hergebruikroutes. In dit briefadvies geeft RIVM haar visie op de uitvoering van de risico-inventarisatie en op de interpretatie van de resultaten. In een eerder rapport¹ heeft RIVM adviezen gegeven over de aanpak van de beoordeling. Ook heeft RIVM tijdens het onderzoek een adviserende rol gehad.

Het aan de productie van struviet gekoppelde potentiële microbiologische risico is beheersbaar indien het proces van struvietwinning onder gecontroleerde omstandigheden wordt uitgevoerd. Een dergelijk proces levert een gestandaardiseerd product op met voldoende kiemdodende werking. Het is daarbij van belang dat met name de voor pathogenen aanwezige hoeveelheid beschikbaar vocht in struviet, weergegeven in een a_w -waarde, voldoende laag is en blijft of dat struviet voldoende lang wordt opgeslagen. Deze a_w -waarde en opslagtijd zijn door de sector inmiddels proefondervindelijk onderzocht. In een dergelijk droog of voldoende lang opgeslagen product kunnen weliswaar nog sporenvormende pathogenen aanwezig zijn, maar deze leveren bij de beoogde toepassing geen nieuw of verhoogd risico.

Het RIVM concludeert dat de beoogde toepassing van struviet uit afvalwater als meststof op de bodem als veilig kan worden beschouwd voor zowel de stofgerelateerde aspecten (medicijnresten, PFAS) als de microbiologische aspecten (pathogenen, antibioticaresistentie), als struviet voldoende droog is, of als struviet voldoende lang wordt opgeslagen voor vermarkting.

¹ Van der Grinten en Spijker, 2018, RIVM rapport 2017-0144

Inhoudsopgave

Samenvatting — 1

Inhoudsopgave — 2

1. Introductie — 3

2. Medicijnresten en PFAS in struviet — 5
 - 2.1 Criteria medicijnresten — 5
 - 2.1.1 Keuze van stoffen — 5
 - 2.1.2 Analysemethodes medicijnresten — 6
 - 2.1.3 Toetswaarden voor medicijnresten — 7
 - 2.1.4 Effectmetingen hormonen met ER Calux — 8
 - 2.1.5 Te gebruiken toepassingsscenario's voor medicijnresten — 8
 - 2.2 Metingen en beoordeling medicijnresten — 9
 - 2.3 PFAS — 11
 - 2.4 Conclusies medicijnresten en PFAS — 12

3. Pathogenen in struviet — 13
 - 3.1 Criteria — 13
 - 3.1.1 Wettelijke criteria voor struviet en vergelijkbare producten — 13
 - 3.1.2 Andere niet-wettelijke criteria — 15
 - 3.1.3 Door RIVM gewenste criteria — 15
 - 3.2 Metingen — 17
 - 3.2.1 Observaties — 17
 - 3.2.2 Toetsing van metingen aan criteria — 20
 - 3.3 Conclusie pathogenen — 21
 - 3.3.1 Niet-sporevormende pathogenen — 21
 - 3.3.2 Sporevormende pathogenen — 22

4. Antibioticaresistentie in struviet — 23
 - 4.1 Criteria — 23
 - 4.1.1 Beschikbare criteria antibioticaresistentie — 23
 - 4.1.2 Andere criteria — 23
 - 4.2 Metingen — 24
 - 4.2.1 Observaties — 24
 - 4.2.2 Toetsing van metingen aan criteria — 24
 - 4.3 Conclusie antibioticaresistentie — 25
 - 4.3.1 Antibiotica — 25
 - 4.3.2 Antibioticaresistente bacteriën — 25
 - 4.3.3 Overdracht van genetische informatie (via resistentiegenen) — 25
 - 4.3.4 Conclusie — 25

5. Conclusies en aanbevelingen — 26
 - 5.1 Conclusie — 26
 - 5.2 Aanbevelingen — 26

6. Referenties — 28

1. Introductie

In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft RIVM de Waterschappen (in het bijzonder Waternet) geadviseerd over het inschatten van risico's voor mens en milieu bij het toepassen van producten op de bodem op basis van de uit huishoudelijk afvalwater herwonnen grondstof struviet (van der Grinten en Spijker, 2018). Daartoe heeft RIVM een overzicht gegeven van de tot dan toe beschikbare kennis, aanbevelingen gedaan voor de vervolgaanpak en aangegeven welk aanvullend onderzoek nodig was om de risico's voor mens en milieu goed te kunnen inschatten.

Dit aanvullend onderzoek is daarna door Waternet samen met Aquaminerals uitgevoerd. RIVM heeft ook tijdens het onderzoek een adviserende rol gehad. RIVM heeft het rapport van Waternet en Aquaminerals (de Jong en Vriend 2020) over het uitgevoerde onderzoek en de risicobeoordeling beoordeeld. Op basis hiervan heeft RIVM een eerdere versie van dit briefadvies opgesteld (dd 15 december 2020, briefkenmerk M&V-2020-241), waarin wordt aangegeven of het inschatten van risico's voor mens en milieu op de juiste manier is gedaan. Ook gaf RIVM hierin haar interpretatie van de resultaten weer en wat die betekenen voor de veiligheid voor mens en milieu bij beoogde toepassing.

Vanwege ontbrekende gegevens voor het goed beoordelen van het risico van pathogenen is er aanvullend onderzoek gedaan, dat in een geüpdatete versie van het conceptrapport van Waternet is beschreven (de Jong en Vriend 2021). Dit voorliggende geüpdatete RIVM briefadvies geeft de conclusies weer, waarbij de resultaten van het aanvullende onderzoek zijn meegewogen.

RIVM heeft zich beperkt tot het risicobeoordelingsscenario waarin struviet wordt toegepast als meststof op bodems. Daarbij is als worst-case aanname gedaan dat de totale maximale fosfaatgift per ha per jaar (fosfaatgebruiksnorm zoals bepaald in de meststoffenwet art. 11.1) van het betreffende struviet afkomstig is. Als met dit worst-case scenario geconcludeerd kan worden dat toepassing veilig is, dan geldt dit ook voor alle toepassingen waarbij minder fosfaat/struviet in de bodem wordt gebracht, of waarbij het eindproduct minder struviet bevat dan in deze worst-case aanname. Verder is dit advies beperkt tot de in de Jong en Vriend (2021) beschreven winningsprocessen, inclusief de opslag vóór vermarkting.

Het gevolgde proces had als uitgangspunt dat de producent, in dit geval Waternet, bijgestaan door Aquaminerals, zelf de studie naar risico's voor mens en milieu uitvoerde en rapporteerde. Het RIVM trad op als adviseur op gebied van risico-inventarisatie met de focus op potentiële risico's en metingen die nodig zijn om deze potentiële risico's te schatten. Gedurende de loop van het onderzoek is door Waternet en Aquaminerals veelvuldig gebruik gemaakt van deze advisering. Dit maakt dat de producent de verantwoordelijkheid heeft voor de gevolgde beoordeling en de daarvoor benodigde tussentijdse stappen, zoals meetrondes. Deze verantwoordelijkheid blijft ook in de toekomst bestaan. Dat kan bijvoorbeeld van belang zijn wanneer de in te zetten afvalstromen veranderen van samenstelling. RIVM geeft in dit briefadvies duiding aan de behaalde resultaten en conclusies.

Parallel aan de case struviet en het inschatten van risico's voor mens en milieu daarvan, loopt er bij RIVM een traject voor het opstellen van een generiek kader voor de beoordeling van risico's voor mens en milieu in samenhang met duurzaamheid en circulariteit (Safe and Sustainable Material Loops (SSML); Quik et al. 2018). Bij de advisering bij en beoordeling van de case struviet heeft RIVM gaandeweg nieuwe input uit dit

generieke kader zoveel mogelijk meegenomen. De aanpak in de case struviet is grotendeels gelijk aan die in het generieke kader, maar kan op onderdelen daarvan afwijken vanwege het parallelle tijdsspoor van beide trajecten.

Huishoudelijk afvalwater is vooral besmet met humane ontlasting. Voor de struviet case is ervoor gekozen om naar die gevaren te kijken die voorkomen in humane ontlasting: medicijnresten, pathogenen en antibioticaresistentie. In de huidige Waternet studie is ook nog specifiek gekeken naar PFAS stoffen (een onderdeel van de groep Zeer Zorgwekkende stoffen, ZZS), omdat de mogelijkheid bestaat dat deze stoffen via afvalwater in struviet terecht zouden kunnen komen. Wanneer het huidige generieke kader (SSML) wordt gevolgd, wordt ingezet op deze gevaren, maar het zou nog breder ingezet kunnen worden op verschillende onderdelen, bijvoorbeeld ook andere zeer zorgwekkende stoffen (naast PFAS²) en circulariteits- en duurzaamheidsaspecten. Er is door de opdrachtgever en de sector besloten dat deze struviet studie zich richt op de veiligheidsaspecten. Hierbij wordt wel erkend dat ook duurzaamheidsaspecten relevant zijn bij het beoordelen van nieuwe hergebruikroutes.

In de volgende hoofdstukken zullen achtereenvolgens medicijnresten en PFAS (hoofdstuk 2), pathogenen (hoofdstuk 3) en antibioticaresistentie (hoofdstuk 4) worden besproken. Daarbij wordt steeds eerst ingegaan op de te gebruiken criteria voor: de keuze van stoffen, de analysemethoden, de toetsing en de toepassingsscenario's. Daarna volgt een paragraaf over de metingen en de interpretatie daarvan en tenslotte een deelconclusie per onderdeel. In hoofdstuk 5 worden de eindconclusies en aanbevelingen gegeven.

² In een eerdere STOWA studie (Morgenschweis et al., 2015), is wel al getoetst aan de eisen voor zware metalen en enkele ZZS in struviet, wanneer het toegepast wordt als meststof. Deze voldoen daaraan. De module ZZS uit het SSML rapport is nog niet gebruikt.

2. Medicijnresten en PFAS in struviet

2.1 Criteria medicijnresten

2.1.1 *Keuze van stoffen*

Afvalwater kan een groot aantal verschillende medicijnresten bevatten. Om een beeld te krijgen van de mate van verontreiniging is door RIVM in het struvietrapport uit 2018 (van der Grinten en Spijker, 2018) het gebruik van indicatorstoffen aanbevolen. Deze indicatorstoffen moeten een representatief beeld schetsen van de aanwezigheid van medicijnresten. De criteria die gebruikt worden voor het kiezen van die indicatorstoffen moeten ervoor zorgen dat in de uiteindelijke lijst, stoffen met allerlei eigenschappen vertegenwoordigd zijn. In het struvietrapport uit 2018 is aangegeven welke criteria specifiek voor de casus struviet gebruikt zouden moeten worden, maar staat geen definitieve lijst van indicatorstoffen.

Waternet heeft nu een korte lijst met stoffen opgesteld, die kunnen dienen als indicator voor de aanwezigheid van medicijnresten in struviet. Deze benadering gebruikt RIVM zelf ook bij andere cases, bijvoorbeeld bij de beoordeling van luierreycling (Lijzen et al., 2019). In een bijlage van het Waternetrapport (de Jong en Vriend, 2020) wordt de selectie van indicatorstoffen en de door hen gebruikte criteria uitgebreid toegelicht. Het gaat om:

- De hoeveelheid (kg/jr) die in Nederland wordt voorgeschreven, zoals verzameld in de GIP databank³ (er wordt geen rekening gehouden met metabolisme in de mens). Deze hoeveelheid wordt o.a. gerelateerd aan de minimale hoeveelheid die dan in de bodem teruggevonden kan worden. Als deze lager is dan een bepaalde triggerwaarde (hier gebaseerd op detectielimiet + veiligheidsfactor) wordt de stof niet geprioriteerd. Aanbeveling is wel om te benoemen uit welk jaar de gegevens uit de GIP databank zijn gebruikt.
- De concentratie van stoffen die in influent wordt gevonden (binnen standaard monitoring meetpakketten van de waterbeheerders, zoals verzameld in de Watson database⁴),
- Stoffen die vanuit literatuur specifiek in de belangstelling staan, bijvoorbeeld tetracyclines, waarvoor aanwijzingen bestonden dat ze in het struvietkristal kunnen worden opgenomen (van der Grinten en Spijker, 2018).
- Ecotoxiciteit van stoffen (op basis van indicatieve PNECsoil, omgerekend vanaf PNECaqua), en/of aanwijzingen voor significante schadelijkheid voor de bodem uit de literatuur (bv uit Duitse studie aan struviet; Stenzel et al. 2019).
- Afbraak in de zuivering (stoffen die preferent in de slibfase terecht komen én slecht afbreekbaar zijn worden geprioriteerd).

Stoffen worden op basis van bovenstaande criteria geprioriteerd in een groslijst. Stoffen met lage prioriteit vallen af. Per stofgroep (gesorteerd op type medicijn) is uit de groslijst de stof gekozen die het hoogste scoort op vracht (jaarlijks volume) en de laagste indicatieve PNECsoil heeft.

In de prioriteringsfase is door Waternet gebruik gemaakt van een berekening op basis van PNECaqua waarden uit de literatuur. RIVM heeft deze waarden gecontroleerd en een aantal aanpassingen aanbevolen. In het Waternetrapport zijn deze waarden aangepast, maar in de bijlage voor prioritering (de Jong en Vriend, 2020, bijlage 1) nog niet. Waternet heeft de prioritering wel opnieuw bekeken en stelt dat die niet anders zou zijn uitgepakt als de nieuwe PNECaqua-waarden gebruikt zouden zijn. De reden

³ Informatiesysteem van Zorginstituut Nederland, dat gegevens bevat over het gebruik van genees- en hulpmiddelen in Nederland. <https://www.gipdatabank.nl/>

⁴ <http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/erpub/wsn/default.aspx>

hiervoor is vooral dat stoffen vanwege meerdere criteria op de lijst zijn gekomen en de paar veranderingen in PNEC hadden maar minieme invloed op de plek op de lijst.

De door Waternet gekozen criteria en de prioriteit die daarmee aan stoffen wordt gegeven is in een eerder stadium afgestemd met RIVM en akkoord bevonden.

Er zijn 13 stoffen uitgekomen die Waternet in haar metingen wil betrekken. RIVM is van mening dat de gekozen combinatie van stoffen de functie van indicatorstoffenlijst kan vervullen.

2.1.2 *Analysemethodes medicijnresten*

Aan Waternet zijn geen concrete eisen gesteld voor wat betreft de te gebruiken analysemethodiek. Wel is gevraagd om gebruik te maken van state of the art methoden en geaccrediteerde labs. In de luierreyclingstudie (Lijzen et al., 2019) die ongeveer gelijktijdig liep, is een additionele eis van 85% recovery gekozen voor dit soort analyses. Deze eis waarborgt dat de methodiek de aanwezige stoffen daadwerkelijk op een goede manier kan aantonen. Die eis is in deze studie niet toegepast. Waternet heeft wel getallen gepresenteerd van de recovery in hun studie (tabel 8 en bijlage 2). Voor een aantal stoffen is de recovery niet bekend. RIVM beveelt aan in vervolgonderzoek deze gegevens wel te verzamelen. De andere stoffen halen een recovery >70% bij 0,05 mg/kg. Bij een recovery van 70% zou het in theorie dus zo kunnen zijn dat 30% van de aanwezige stof niet in de meting naar voren komt. Hiervoor zou je een worst case aanname kunnen doen, dat de gemeten hoeveelheid maar 70% is van wat er daadwerkelijk aanwezig is. In de voorliggende Waternetstudie zou een worst case correctieberekening naar volledige recovery niet tot een andere conclusie hebben geleid. Dus zelfs bij een verhoging van de gemeten waarde van 30% voldoen de waarden aan de gestelde criteria. In vervolgstudies zal wel gestreefd moeten worden naar 85% recovery, om een voldoende betrouwbaar resultaat te borgen.

Waternet heeft ook inzicht gegeven in de detectielimiet per stof. De gekozen labs halen een detectielimiet die vergelijkbaar is met andere studies (tabel 9). Het is wel gebleken dat voor sommige stoffen de detectielimiet hoger is dan de toetswaarde (zie par 8.3 tabel 19 de Jong en Vriend, 2020), wanneer het ruwe struviet aan de criteria voor bodem zouden worden getoetst.

Daardoor kan er niet meteen een uitspraak gedaan worden over de veiligheid van het pure struviet en moet er gekeken worden naar de bodemtoepassing en de daarbij behorende verdunningsfactor. Bij de berekening voor de bodemtoepassing wordt dan, voor stoffen die niet worden aangetoond boven de detectielimiet, de worst case aanname gedaan dat de maximaal gemeten concentratie op de detectielimiet ligt, terwijl deze in werkelijkheid aanzienlijk lager zou kunnen zijn. Het is voor deze stoffen dus de moeite om voor vervolgonderzoek te kijken of deze detectielimiet lager kan worden door optimalisatie in de analysemethodiek. Mocht dit niet mogelijk zijn, dan zou dit een reden kunnen zijn om te beslissen een andere stof in de plaats te kiezen van deze stoffen, zodat je laag genoeg kunt meten om aan te kunnen tonen dat je aan de toetswaarden voldoet.

Waternet heeft analyse certificaten opgenomen in de bijlagen. Alle analyses zijn uitgevoerd bij geaccrediteerde labs.

2.1.3 Toetswaarden voor medicijnresten

2.1.3.1 Ecotoxiciteit

Er zijn geen wettelijke toetswaarden voor ecotoxiciteit van medicijnresten in struivet beschikbaar. Ook in bodem bestaan er geen wettelijke grenswaarden voor ecotoxiciteit van medicijnresten waaraan getoetst kan worden (bijvoorbeeld MTRs⁵).

Waternet heeft daarom in de literatuur gezocht naar beschikbare grenswaarden. Zij hebben voor de indicatorstoffen concentraties waarbij geen effect werd gevonden in waterig milieu opgezocht (Predicted No Effect Concentration in water: PNECaqua). Deze waarden zijn omgerekend via een partitieberekening naar waarden voor bodem (indicatieve PNECsoil). Hier is het woord indicatief toegevoegd omdat ze niet gebaseerd zijn op experimentele waarden maar op een omrekening. RIVM heeft gedurende deze exercitie geadviseerd over de selectie van de juiste PNECaqua en de berekening van PNECaqua naar PNECsoil. De adviezen hierover van RIVM zijn meegenomen door Waternet. Voor de toetsing⁶ zijn deze PNECaqua waarden gebruikt.

De door Waternet gepresenteerde toetswaarden in de vorm van indicatieve PNECsoil per stof (bijlage 4 uit Waternet 2020) zijn op dit moment gebaseerd op de best beschikbare informatie voor toetsing van de gemeten concentraties. Het gaat hier om niet wettelijk vastgestelde waarden en deze kunnen door voortschrijdend inzicht (bv nieuwe literatuurstudies) wijzigen.

De generieke triggerwaarde van 1 ug/kg d.s. voor medicijnresten in bodem die in de rapportage van de luiercasus (Lijzen et al., 2019) is opgenomen als waarde waaronder geen effecten worden verwacht, wordt door Waternet wel genoemd, maar niet als zodanig gebruikt. Waternet kiest de per-stof benadering door naar individuele toetswaarden per stof te kijken. Deze detaillering steunt RIVM, mede omdat in de Waternetstudie blijkt dat de triggerwaarde van 1 ug/kg niet voor alle stoffen risico's uitsluit (de indicatieve PNECsoil ligt er voor sommige stoffen onder).

In het STRUBIAS voorstel (Huygens et al 2018) wordt het organisch koolstofgehalte van de droge stof als proxy voor de aanwezigheid van organische microverontreiniging gebruikt. De waarde van deze proxy (<3%) is echter nog niet voldoende wetenschappelijk onderbouwd. RIVM beveelt aan deze nog niet te gebruiken. Waternet doet dat ook niet en kiest hier voor de per-stof benadering.

2.1.3.2 Humane toxiciteit

Voedselgewassen zijn in staat om medicijnresten op te nemen (de Boer et al., 2018, Sabourin et al., 2012), al is dit maar een heel klein deel van wat er in de het poriewater zit⁷. Voor medicijnresten in voedselgewassen bestaan echter momenteel geen maximale residu limieten (MRLs⁸), gerelateerd aan humane toxiciteit. Waternet heeft dan ook geen criteria voor humane toxiciteit van medicijnresten gebruikt in hun studie. Het huidige protocol van de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM, 2016) toetst bodemconcentraties aan Maximaal toelaatbaar Risico (MTRs), die in principe ook routes voor humane blootstelling afdekken. De Fertilizer Products Regulation 2019/1009 (FPR), die in 2022 in werking treedt, vraagt

⁵ Maximaal toelaatbaar Risico: dit is een norm voor het gehalte van een stof in bodem, voor bodemorganismen, maar ook voor routes naar de mens.

⁶ Bij de selectie van de stoffen voor de indicatorstoffenlijst zijn nog oude PNECaqua waarden gebruikt (bijlage 1 de Jong en Vriend 2020), bij de toetsing zijn de nieuwe door RIVM geadviseerde waarden gebruikt.

⁷ bijvoorbeeld 0,004% voor ciprofloxacine in Sabourin et al., 2012

⁸ De MRL is een norm voor het gehalte van een stof in voedsel. De MRL is gelijk aan of lager dan de risicogrens voor mensen.

om te toetsen dat gehalten in gewassen voldoen aan MRLs, maar er is nog geen methodiek voorhanden om daaraan te toetsen. Zodra er een geaccepteerde methodiek ligt⁹, beveelt RIVM wel aan om ook expliciet aan de MRLs, als maat voor bescherming van de mens, te toetsen. Hiervoor kan worden aangesloten bij de ontwikkelingen bij de implementatie van de FPR 2019/1009. Het is op voorhand niet in te schatten hoe zich deze MRL waarden zullen verhouden met de toetswaarden voor ecotoxiciteit (MTR of PNEC soil).

2.1.4 *Effectmetingen hormonen met ER Calux*

Metingen aan hormonen zijn mogelijk op twee manieren: chemisch en met bioassays. Een chemische meting van deze stoffen moet voldoen aan erg lage detectielimieten omdat de toetswaarde (indicatieve PNECsoil) heel laag is. Veel chemische analyse methoden halen deze lage detectie niet. In de Waternetstudie is op advies van RIVM gekozen voor het meten van effecten van hormonen met de bioassay ER Calux, die gevoeliger is dan chemisch meten en specifiek effecten van oestrogenen meet. Andere hormoonachtige effecten dan oestrogeniteit worden door deze assay niet gemeten). Om de uitkomst van een bioassay te interpreteren kan gebruik worden gemaakt van een effect based trigger value (EBT). Dit is de drempelconcentratie waarboven er effecten kunnen optreden. Een triggerwaarde voor de bodem is niet beschikbaar. Voor effecten van oestrogenen in water geldt een EBT van 0,5 ng EEQ/L¹⁰ als waarde waarbij er een laag risico is op ecotoxicologische effecten (niet humaan risico) (Van der Oost et al, 2017).

2.1.5 *Te gebruiken toepassingsscenario's voor medicijnresten*

2.1.5.1 Voorgestelde toepassingen

Waternet stelt een aantal scenario's voor waarin struviet in verschillende producten wordt toegepast (Hoofdstuk 3 uit de Jong en Vriend, 2020). De producten verschillen in samenstelling van 1 tot 100% puur struviet en in toepassing.

De meeste toepassingen zijn als meststof op de bodem. De risicobeoordeling die Waternet heeft gedaan is hierop toepasbaar. Daarbij is namelijk o.a. gebruik gemaakt van specifiek in de meststoffenwet beschreven beoordelingsmethodiek (zie ook 2.4.2), zoals een maximale fosfaatgebruiksnorm en een vastgestelde mengzone in de bodem. RIVM beveelt aan om in meststof-producten geen rekening te houden met "verdunding" en uit te gaan van puur struviet als meststofproduct (worst-case benadering), zodat ook meststofproducten waarbij struviet een bestanddeel is (en dus minder dan 100% van de meststof uitmaakt) onder deze benadering vallen.

Voor enkele toepassingen geldt dat deze niet direct passen binnen de bodemscenario's die bij de risicobeoordeling gebruikt zijn. Er is niet specifiek voor deze toepassingen bekeken welke scenario's hiervoor geschikt zijn. De beoordeling die Waternet maakt is dus niet direct toepasbaar op deze scenario's.

2.1.5.2 Toepassing als meststof op de bodem

In de Meststoffenwet wordt de maximale fosfaatgift op de bodem gereguleerd. Omdat struviet als toepassing op de bodem als meststof zal dienen, kan deze maximale fosfaatgebruiksnorm als scenario dienen voor het berekenen van de maximale concentratie die in de bodem kan optreden. Op advies van RIVM gebruikt Waternet deze insteek om te berekenen welke

⁹ Bijvoorbeeld als deze ontwikkeld wordt onder de FPR.

¹⁰ EEQ staat voor 17beta-estradiolequivalenten. Omdat de ER-calux geen individuele concentraties van stoffen meet, maar de effecten van een (vaak onbekende) groep stoffen, wordt het gevonden effect uitgedrukt in equivalenten van een individuele stof: 17beta-estradiol.

concentratie medicijnresten maximaal in de bodem kan optreden na toepassing, op basis van de metingen in struviet (par 8.2 figuur 11 in de Jong en Vriend 2020). Deze berekening is correct uitgevoerd. In de meststoffenwet wordt als toetscriterium gebruikt dat er per gift niet hoger dan het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR) aan stoffen in mag zitten. Er wordt ook de eis gesteld dat na 1 jaar het gehalte aan stoffen gedaald moet zijn tot op of onder het Verwaarloosbaar Risico (VR). Dit Verwaarloosbaar Risico is beleidsmatig gesteld op 1/100 van MTR. De voorgestelde indicatieve PNECsoil per stof (bijlage 4 uit de Jong en Vriend 2020) kan worden gebruikt bij afwezigheid van MTR-waarden¹¹. Als generieke insteek stelt RIVM voor om uit te gaan van een jaarlijks herhaalde toediening van 100 jaar, voordat MTR bereikt mag worden door stapeling in de bodem. Deze insteek is een vereenvoudiging van de CDM methodiek. Waternet heeft deze scenarioberekeningen en toetsingen op de juiste wijze uitgevoerd voor de stoffen waarvoor daadwerkelijk een concentratie in struviet is gevonden. Waternet kiest ervoor ook de stoffen te toetsen die onder de detectielimiet zaten bij de metingen. Voor deze stoffen toetsen ze aan de detectielimietwaarden, als worst-case aanname van de maximaal aanwezige concentratie, eventueel gecombineerd met afbraakberekening, daar waar de 100-jaar eis niet wordt gehaald.

2.2 Metingen en beoordeling medicijnresten

Er zijn in drie rondes metingen verricht. Niet alle stoffen zijn in alle meetrondes gemeten, vanwege foutjes bij monsternamen of analyse. De stof metformine is geheel niet gemeten, terwijl deze wel door Waternet was geprioriteerd en op de indicatorstoffenlijst voor medicijnresten van Waternet staat. Onduidelijk is waarom deze niet is gemeten. De stof heeft weliswaar een hoge indicatieve PNEC waarde maar is vanwege de grote hoeveelheid gebruik wel geselecteerd als indicatorstof. Dit is een aandachtspunt bij de beoordeling.

De kwaliteit van de metingen is voldoende (hoewel recovery niet overal groter is dan de gewenste 85%) en de detectielimiet soms te hoog is om daadwerkelijk te kunnen toetsen of wordt voldaan aan de toetswaarde. Het RIVM vindt de overgebleven meetset van voldoende waarde om een oordeel op te kunnen baseren, omdat het uitgangspunt van het gebruik van een indicatorstoffenlijst overeind blijft.

Voor twee stoffen zijn gehalten boven detectielimiet gevonden (ciprofloxacin en metoprolol), waarvan de stof ciprofloxacin meermaals is aangetroffen. Na toetsing bij toepassing op de bodem blijken deze gevonden concentraties van beide stoffen geen risico voor milieu te vormen. Hierbij wordt de worst case aanname gedaan dat deze stoffen niet afbreken in de bodem. Bij jaarlijkse toepassing zouden deze stoffen dan opstapelen in de bodem. Met deze aannames zou het langer dan 100 jaar duren voordat het Maximaal Toelaatbaar Risico in de bodem door deze stapeling bereikt wordt. Van de andere indicatorstoffen weten we niet wat de concentratie in struviet is; ze zijn alle onder de detectielimiet gemeten. Als voor deze stoffen de rapportagegrens genomen wordt als concentratie, voldoen deze ook aan de norm. Voor 4 stoffen moet hierbij rekening worden gehouden met afbraak om aan de 100 jaar norm te voldoen.

¹¹ De indicatieve PNECsoil dekken niet alle routes af die bij een gedegen MTR-afleiding bekeken moeten worden, maar zijn meer vergelijkbaar met ad-hoc MTRs.

Tabel 14 uit de Jong en Vriend, 2020. Chemische bepalingen medicijnresten (mg/kg)

	Monsterronde	17alfa-Ethinylestradiol	17beta-Estriol	Carbamazepine	Ciprofloxacin	Clarithromycine	Diclofenac	Doxycycline	Gemfibrozil	Metoprolol	Oxazepam	Paracetamol	Sulfamethoxazole
A'dam West extra wassing	1			<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01
	2	<0,05	<0,05	<0,05	0,05				<0,05	0,02	<0,005	<0,05	<0,05
	3	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	<0,01	<0,05	<0,01	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05
A'dam West	1			<0,01	0,03		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01
	2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05				<0,05	<0,01	<0,005	<0,05	<0,05
	3	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,01	<0,05	<0,01	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05
Amersfoort	1			<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01
	2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05				<0,05	<0,01	<0,005	<0,05	<0,05
	3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,01	<0,05	<0,01	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05
Apeldoorn	1			<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01
	2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05				<0,05	<0,01	<0,005	<0,05	<0,05
	3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,01	<0,05	<0,01	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05
Land van Cuijk	1			<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,01	<0,01
	2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05				<0,05	<0,01	<0,005	<0,05	<0,05
	3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,01	<0,05	<0,01	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05

Nb. Metformine is niet bepaald

Ook voor de hormonen gemeten met effectmetingen geldt deze conclusie. De ER Calux metingen voor effecten van oestrogenen voldoen aan de Effect Based Triggerwaarde van 0,5 ng EEQ/L. De hoogst gemeten concentratie komt op 20% van de triggerwaarde. Hormonen breken snel af en rekening houdend met afbraak voldoet Waternet ook aan de 1% insteek van de triggerwaarde, die we bij het toetsen van chemische metingen ook gebruiken.

Tabel 15 uit de Jong en Vriend 2020. Calux metingen uit Waternetrapport 2020

	Monsterronde	17b-Estradiol (ng EEQ/g)
A'dam West extra wassing	1	0,037
	2	0,095
	3	0,024
A'dam West	1	0,076
	2	0,088
	3	0,033
Amersfoort	1	0,024
	2	0,022
	3	0,023
Apeldoorn	1	0,005
	2	0,008
	3	0,079
Land van Cujik	1	0,037
	2	0,012
	3	0,016

2.3 PFAS

Voor PFAS zijn ook metingen verricht. Waternet geeft geen toetsingskader voor de gemeten waarden en ook geen uitleg over de analysemethode. De getallen duiden erop dat 0,1 de LOQ (Limit of Quantification) was, en dat de som nooit meer is, en dus alle individuele waarden <0,1 ug/kg waren. Individuele stoffen zijn dus niet aangetroffen op of boven 0,1 ug/kg. Zonder uitleg over de analysemethode is dit echter niet met zekerheid te bevestigen. Deze waarden liggen onder de nieuwe achtergrondwaarden van 1,4 ug/kg voor PFOS en 1,9 ug/kg voor PFOA, zoals voor bodem voorgesteld in Wintersen et al. (2020) en leveren daarmee dus geen aanvullende problemen op. Voor andere PFAS zijn geen metingen gedaan in struviet, maar daarvoor zijn geen achtergrondwaarden vastgesteld. Voor een compleet overzicht kunnen ook andere PFAS nog gemeten worden, PFOA en PFOS bepalen naar verwachting wel het risico (Zeilmaker et al., 2018)

Tabel 16 Uit de Jong en Vriend 2020: PFAS

Indicator	Eenheid	A'dam West	Amersfoort	Apeldoorn
Monsterronde nr.		5	5	5
som PFOA*	µg/kg ds	0,1	0,1	0,1
som PFOS*	µg/kg ds	0,1	0,1	0,1

*) bovengrens van de som, individuele waarden gemeten PFAS en PFOS verbindingen <0,1

2.4 Conclusies medicijnresten en PFAS

Waternet heeft voldoende aangetoond dat de gemeten struvieten, met als toepassing meststof op de bodem, geen risico zullen vormen voor het milieu, voor wat betreft medicijnresten of PFAS.

Waternet stelt voor om tweejaarlijks steekproefsgewijs te monitoren om in de gaten te houden of er nieuwe stoffen in het struviet terecht komen, of dat de stoffen uit de indicatorstoffenlijst in hogere concentraties terug worden gevonden in het struviet. Dit is volgens RIVM een goede manier om een vinger aan de pols te blijven houden voor wat medicijnresten betreft.

3. Pathogenen in struviet

3.1 Criteria

Rioolwater is potentieel besmet met humaan pathogene micro-organismen. Struviet is een meststof die o.a. wordt gewonnen bij de zuivering van rioolwater. Struviet is daarom potentieel besmet met humaan pathogene micro-organismen. Het gebruik van besmet struviet in de productie van voedselgewassen kan zorgen voor introductie van pathogenen in de bodem en de voedsel productieketen. Hieronder volgt een overzicht van wettelijke en niet-wettelijke microbiologische criteria die van toepassing kunnen zijn op bemestingsproducten en mest.

Naast genoemd risico kunnen medewerkers op rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) aan pathogenen in rioolwater en slib worden blootgesteld. Op dit risico is de ARBO-wetgeving van toepassing. Criteria uit de ARBO-wet (specificering in Richtlijn 2000/54/EG¹²) worden in deze bijdrage niet verder behandeld.

3.1.1 *Wettelijke criteria voor struviet en vergelijkbare producten*

3.1.1.1 Meststoffenwet

Struviet is een product uit afvalwater dat als meststof kan worden toegepast. Hierop is de meststoffenwet van toepassing. In 2014 heeft een wijziging plaatsgevonden van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet. In de gewijzigde regeling is, met het oog op het minimaliseren van de risico's voor de volksgezondheid en het milieu, artikel 6a toegevoegd waarin wordt gesteld dat 'Herwonnen fosfaten uit rioolzuiveringsslib worden behandeld langs biologische, chemische of thermische weg, door langdurige opslag of volgens enig ander geschikt procedé, dat tot gevolg heeft dat het grootste deel van de in het zuiveringsslib aanwezige pathogene organismen afsterft'.

3.1.1.2 Verordening (EG) 1069/2009 en (EG) 142/2011

Volgens de Verordening 1069/2009 (betreffende dierlijke bijproducten die niet bestemd zijn voor humane consumptie) is mest een categorie-2 materiaal¹³. In art. 13 wordt het toepassingsgebied van mest beschreven. Onder f staat aangegeven dat mest onbehandeld mag worden uitgereden op het land als de bevoegde autoriteit niet denkt dat mest een ernstige overdraagbare ziekte kan overbrengen. Voor de verwerking van dierlijke bijproducten zijn in de Verordening (EG) 142/2011 in Bijlage IV, hoofdstuk 3 een aantal standaardverwerkingsmethoden beschreven (1 t/m 5). De standaardmethoden omvatten een verkleinings- en verhittingsstap. Een andere methode kan worden goedgekeurd voor de verwerking van categorie-2 materiaal (verwerkingsmethode 7) indien kan worden voldaan aan de volgende microbiologische criteria die gelden direct na behandeling:

<i>Clostridium perfringens</i> :	afwezig in 1 gr
<i>Salmonella</i> :	afwezig in 5 monsters van elk 25 gr
<i>Enterobacteriaceae</i> :	in maximaal 2 van de 5 monsters van 1 gr mag het aantal kiem-vormende eenheden (kve) tussen minimaal 10 en maximaal 300 liggen.

¹² Richtlijn 2000/54/EG van het Europees Parlement en de Raad van 18 september 2000 betreffende de bescherming van de werknemers tegen de risico's van blootstelling aan biologische agentia op het werk (zevende bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 83/391/EEG)

¹³ Globaal betreft dit slachthuisproducten die niet geschikt zijn voor humane consumptie, maar met een beperkt risico voor de volksgezondheid. Categorie-2 materiaal kan nog wel verwerkt worden bijvoorbeeld tot diervoeder voor niet-voedselproducerende dieren.

De criteria moeten garanderen dat toepassing van een product dat met verwerkingsmethode 7 is behandeld geen noemenswaardig risico inhoudt voor de volksgezondheid en de diergezondheid.

3.1.1.3 Verordening (EU) 2019/1009

In de nieuwe Verordening (EU) 2019/1009 (betreffende bemestingsstoffen) zijn microbiologische criteria opgenomen voor de diverse bemestingsstoffen. Deze Verordening moet in Nederland in juli 2022 omgezet zijn in nationale wetgeving. De Verordening maakt onderscheid tussen producten en componenten.

Onder andere voor product functie categorie (PFC) 1 (meststoffen), 3A (organische bodemverbeteraars), 4 (groeimedia) en 6B (niet-microbiële biostimulanten) gelden twee criteria:

<i>Salmonella</i> :	afwezig in 5 monsters van elk 25gr
<i>Escherichia coli</i> of <i>Enterococcaceae</i> :	max. 1000 kiemvormende eenheden aanwezig in elk van de 5 monsters van 1 gr.

Alleen voor PFC 6A (microbiële stimulanten) gelden strengere normen. De normen gelden voor niet-sporevormende soorten: *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Vibrio*, *Shigella* en *Staphylococcus aureus* (afwezig in 25 gr), *Escherichia coli* (afwezig in 1 gr). Voor *Enterococcaceae*, anaerobe soorten en gist en schimmels gelden minder strenge grenswaarden.

Tabel uit Verordening (EU) 2019/1009: grenswaarden voor micro-organismen.

n: te onderzoeken aantal monsters

c: aantal monsters waarin de grenswaarde mag worden overgeschreden

Micro-organismen/toxinen en metabolieten	Bemonsterings-plannen		Grenswaarde
	n	c	
<i>Salmonella</i> spp.	5	0	Afwezig in 25 g of 25 ml
<i>Escherichia coli</i>	5	0	Afwezig in 1 g of 1 ml
<i>Listeria monocytogenes</i>	5	0	Afwezig in 25 g of 25 ml
<i>Vibrio</i> spp.	5	0	Afwezig in 25 g of 25 ml
<i>Shigella</i> spp.	5	0	Afwezig in 25 g of 25 ml
<i>Stafylococcus aureus</i>	5	0	Afwezig in 25 g of 25 ml
Enterococcaceae	5	2	10 kve/g
Anaeroob kiemgetal, tenzij de microbiële biostimulant voor planten een aerobe bacterie is	5	2	10 ⁵ kve/g of ml
Kiemgetal gisten en schimmels, tenzij de microbiële biostimulant voor planten een zwam is	5	2	1 000 kve/g of ml

Naast product functie categorieën, worden ook component materiaal categorieën (CMC's) onderscheiden. CMC's kunnen als bestanddeel van een bemestingsproduct worden gebruikt. Aan CMC's zijn geen specifieke microbiologische criteria verbonden, wel worden voor bepaalde CMC's behandelingseisen beschreven die als doel hebben eventuele microbiologische risico's te beperken. De beschreven behandelingen hebben een pasteuriserend effect, dwz dat bacteriële cellen sterk gereduceerd zullen worden. De beschreven behandelingen hebben geen effect op bacteriële sporen, die kunnen overleven onder dergelijke omstandigheden.

3.1.2 Andere niet-wettelijke criteria

In het zogenaamde STRUBIAS-project (STRUvite, Blochar and AShes) zijn de volgende criteria gedefinieerd (Huygens et al., 2018). De implementatie van dit JRC advies is reeds voorzien als de eerste aanpassing van de toekomstige nieuwe EU-meststofverordening 2019/1009 na invoering.

Tabel 11 Toekomstige EU-normen teruggewonnen fosfaten (Strubias advies)

Parameter	Voorgestelde norm
<i>Escherichia coli</i> of <i>Enterococcaceae</i>	< 1000 KVE/g (vers)
<i>Clostridium perfringens</i>	< 100 KVE/g (vers)
<i>Salmonella</i>	Niet aantoonbaar in 25 g
Viable <i>Ascaris</i> sp. eieren	Niet aantoonbaar in 25 gr

Deze normen zijn gebaseerd op de Franse normen voor organische meststoffen (NFU 44-095).

3.1.3 Door RIVM gewenste criteria

Om te kunnen overleven en/of groeien hebben bacteriën een gunstige omgeving nodig. In zo'n omgeving zijn voldoende nutriënten en water beschikbaar, is bijvoorbeeld de pH niet te hoog of te laag. Ook de temperatuur speelt een rol. Wordt niet aan de voorwaarden voor groei of overleving voldaan, dan zullen bacteriën minder snel kunnen groeien of,

onder echt ongunstige omstandigheden, afsterven. Alleen sporevormende bacteriën kunnen onder ongunstige omstandigheden eventueel als spore langdurig overleven.

Pathogenen in struviet vormen potentieel een gevaar voor de volksgezondheid. Vragen die hierbij spelen zijn: waar in de productieketen van struviet kunnen pathogenen worden geïntroduceerd, waar kan deze introductie eventueel worden voorkomen of waar kan een eventuele besmetting gereduceerd of geëlimineerd worden?

Struviet wordt gewonnen uit rioolwater en rioolwater is potentieel besmet met humaan pathogene micro-organismen. De introductie van pathogenen in struviet vanuit rioolwater kan niet worden voorkomen. Maar een eventuele besmetting van struviet kan wel worden gereduceerd, bijvoorbeeld door verhitting. Indien in de productie van struviet geen verhittingsstap (bijvoorbeeld hygiënisatie of sterilisatie) wordt toegepast, wordt in het huidige productieproces van struviet alleen tijdens opslag een eventuele besmetting gereduceerd of zelfs geëlimineerd. Op basis van de aangeleverde meetresultaten (zie 3.2) kan worden aangenomen dat er in zorgvuldig geproduceerd en opgeslagen struviet onvoldoende water beschikbaar is voor groei en overleving van niet-sporevormende bacteriën; de wateractiviteit, a_w , is mogelijk te laag. Om vast te kunnen stellen of struviet daadwerkelijk zorgvuldig is geproduceerd, kunnen criteria gesteld worden voor verschillende parameters die indicatief zijn voor een voldoende mate van zorgvuldigheid: a_w -meting, tijd en/of de afwezigheid van niet-sporevormende bacteriën zelf.

3.1.3.1 Droging: a_w -meting en tijd

Met deze parameter kan mogelijk aangetoond worden of het productieproces goed is verlopen. En daarmee of een eventueel aanwezig volksgezondheidsrisico verbonden aan struviet is gereduceerd. Welke a_w precies als norm moet worden ingesteld zal proefondervindelijk moeten worden vastgesteld. Groei van voedselpathogenen is niet meer mogelijk bij een a_w waarde lager dan 0,83¹⁴. Omdat van drogen geen direct dodelijke werking uitgaat, mag struviet met een bepaalde a_w waarde pas op de markt worden aangeboden als het aantal niet-sporevormende bacteriën met een bepaalde factor is gereduceerd. De a_w en daarvoor benodigde tijd zijn inmiddels proefondervindelijk vastgesteld (de Jong en Vriend 2021). Uit de Jong en Vriend (2021) blijkt dat *E. coli* na vier weken niet meer aantoonbaar was in de in die studie bestudeerde struvieten. Door zorgvuldig op beschreven wijze geproduceerd struviet dus voldoende lang te laten staan (ongeacht de a_w) voordat het wordt verhandeld, kan struviet op de markt gebracht worden waarin *E. coli* niet meer aantoonbaar is. De afwezigheid van *E. coli* toont aan dat voldoende is gedaan om een schoon en microbiologische voldoende veilig product te leveren. De exacte, minimale norm voor droging en tijd is nog niet experimenteel vastgesteld, maar er is aangetoond dat vier weken opslag voor de bestudeerde struvieten in ieder geval voldoende is.

3.1.3.2 Droging: Niet-sporevormende bacteriën

Indien voor een microbiologisch criterium (niet-sporevormende bacteriën) wordt gekozen om te toetsen of struviet zorgvuldig is geproduceerd, kan worden gekozen voor een criterium voor de afwezigheid van verschillende niet-sporevormende soorten die normaal in afvalwater voorkomen, maar die bij een lage a_w (droge omgeving) niet overleven, zoals bijvoorbeeld *E. coli*, *Enterobacteriaceae* of *Enterococcaceae*. Omdat van droogte geen direct afdodende werking uitgaat (bacteriën zullen langzaam afsterven), zal bij het instellen van een microbiologisch criterium ook het tijdstip van

¹⁴ Hazard Analysis and Risk-Based Preventive Controls for Human Food: Draft Guidance for Industry <https://www.fda.gov/media/99598/download>

bemonstering (bijvoorbeeld 'minimaal 1 week na productie') moeten worden vastgesteld. Dit is voor de struvieten uit het Waternetrapport niet gerapporteerd bij de gepresenteerde meetgegevens over pathogenen. In de situatie, zoals hierboven beschreven (3.1.3.1), waarin zorgvuldig geproduceerd struviet gedurende vier weken wordt opgeslagen, is dit niet meer nodig.

3.1.3.3 Sporevormende bacteriën

Sporevormende bacteriën aanwezig in afvalwater kunnen in struviet als spore overleven. Wettelijk gezien hoeft struviet niet vrij te zijn van sporevormers om veilig te kunnen worden toegepast, er is geen norm voor sporevormers in de meststoffenwet. Voor dierlijke producten categorie-2 geldt dat deze verhit moeten worden. De toe te passen verhittingsprocessen staan beschreven en moeten leiden tot een product waarop microbiologische criteria van toepassing zijn, waaronder één voor de sporevormer *Clostridium perfringens*. Deze criteria zijn bedoeld als proces indicator: wanneer aan deze criteria wordt voldaan geldt dat het verhittingsproces voldoende effectief is geweest. Mest, een dierlijk bijproduct categorie-2, mag zonder verwerking worden uitgereden op het land (Artikel 13 onder f)¹⁵. Vanuit wettelijk perspectief is er dus geen reden om een criterium voor sporevormers in struviet op te nemen.

Vanuit het perspectief van risicobeoordeling is een norm voor sporevormers in struviet volgens RIVM niet noodzakelijk. Sporevormers zijn normale bewoners van bodems. Toepassing van struviet als meststof zal dus niet leiden tot een nieuw risico. Sporevormers als SSRC of *Clostridium perfringens* zijn ook normale bewoners van maagdarmselsels van dieren. Het gebruik van struviet als vervanger van mest zal ook zeer waarschijnlijk niet leiden tot een meetbaar verhoogd risico. Hierbij moet worden aangetekend dat het risico voor de volksgezondheid zeer lastig is te bepalen. Bijvoorbeeld in de voedselketen van *bemestingsstof – grond – gewas – verwerking - eindproduct* kunnen op verschillende plaatsen dezelfde sporen en sporevormers vanuit verschillende bronnen geïntroduceerd worden. Grond en dieren zijn bijvoorbeeld ook een bron. Bovendien kunnen eventueel aanwezige sporevormers in aantallen toe- of afnemen, bijvoorbeeld in de grond. Dat maakt het zeer lastig om de mate van humane blootstelling aan het einde van de voedselketen aan ziekteverwekkende sporen of sporevormers vanuit struviet (gebruikt als bemestingsstof) te bepalen.

3.2 Metingen

3.2.1 Observaties

In een eerste studie waarin naar pathogenen in struviet is gezocht (Morgenschweis et al, 2015), is in slib, struviet en opgeschoond¹⁶ struviet gezocht naar *E. coli*, sporen van sulfiet reducerende *Clostridia* (SSRC) en bacteriofagen. *E. coli* komt soms in hoge aantallen voor in slib, maar kan in struviet en opgeschoond struviet niet worden aangetoond. Voor bacteriofagen gold dat deze soms aantoonbaar waren in slib en struviet, maar opgeschoond struviet was vrij van fagen. Alleen SSRC waren aantoonbaar in slib (hoge aantallen), struviet (gereduceerde aantallen tov slib) en opgeschoond struviet (nog verder gereduceerde aantallen). Zie tabel 6.8.

¹⁵ Overige categorie-2 bijproducten moeten wel verhit worden, en wel dusdanig dat sporevormers niet kunnen overleven. Voor dergelijke bijproducten geldt WEL een norm voor *Clostridium perfringens*, nl. afwezig in 1 gr.

¹⁶ Bij opgeschoond struviet is handmatig organisch materiaal verwijderd, nadat het uit de struvietreactor kwam (Morgenschweis et al., 2015)

Tabel 6.8 uit: Morgenschweis et al, 2015: Verkenning van de kwaliteit van struviet uit de communale afvalwaterketen. Meetresultaten STOWA studie pathogenen in struviet.

TABEL 6.8 RESULTATEN ANALYSE VAN DE INDICATOREN VOOR PATHOGENEN IN DE ONDERZOCHE STRUVIETEN EN UITGEGIST SLIBBEN (ENKELVOUDIGE BEMONSTERINGEN PER LOCATIE) ZOALS GEMETEN DOOR KWR

Omschrijving	SLIB (*)			STRUVIET (*)			OPGESCHOOND STRUVIET (**)		
	E.coli	SSRC	F-specifieke fagen	E.coli	SSRC	F-specifieke fagen	E.coli	SSRC	F-specifieke fagen
	(kve/ml)	(kve/ml)	(kve/ml)	(kve/ml)	(kve/ml)	(kve/ml)	(kve/ml)	(kve/ml)	(kve/ml)
Echten	<33	42.000	<5	-	93	<2,6	-	49	-
Amsterdam West	34.000	110.000	335	-	2.500	<3,1	-	4,5	-
Leuven#	3.400	120.000	<5	-	13.000	<3,3	-	860	-
Land van Cuijk	-	-	-	-	1.600	>600	-	-	-

Soortgelijke metingen zijn later op grotere schaal en op meerdere locaties uitgevoerd en gerapporteerd in het Waternetrapport. Hier is struviet niet naderhand handmatig opgeschoond, maar het struviet uit Amsterdam West heeft wel deels een extra wasstap ondergaan, en wordt dan als aparte monsterlocatie behandeld, zie hieronder.

Tabel 17 uit Waternetrapport de Jong en Vriend 2020. Meetresultaten indicatoren voor pathogenen in struviet.

Parameter		Ronde	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella</i>	<i>Clostridia Perfringens</i>	SSRC	<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Listeria monocytogenes</i>
Unit			KVE/g	/25g	nvt	KVE/g	KVE/g	/25g
Strubias advies norm			< 1.000	na	<100	nvt	nvt	nvt
Amersfoort	Mengmonster bigbags voorraad. Droog	1	<10	na			<10	na
	Mengmonster 15 bigbags voorraad. Droog	2	<10	na		<10	<10	na
	Mengmonster 5 bigbags voorraad. Droog	3	20	na		<10	20	na
	Mengmonster 5 bigbags voorraad. Droog, geurloos	4	<10	na	<10	70		
Apeldoorn	Mengmonsters bigbags	1	<10	na			<10	na
	Mengmonster 10 bigbags voorraad. Droog	2	<10	na		330	<10	
	Mengmonster 5 dagen verse productie. Vochtig.	3	10	na		>10.000	220	na
	Mengmonster 5 dagen verse productie. Vochtig, slibgeur.	4	60*	na	260	610		
Land van Cuijk	Mengmonster uit container.	1	1.000	na			6.100	na
	Mengmonster container meerdere grepen. Droog	2	460	na		900	2.500	na
	Mengmonster container meerdere grepen. Droog	3	10	na		>10.000	20	na
	Mengmonster volle container, 3 wkn oud (productie lag stil), vrij droog, weinig geur.	4	<10	na	<10	<10		
Amsterdam West	Mengmonster uit container.	1	60	na			>100.000	na
	Mengmonster 10 grepen uit container. Droog	2	<10	na		530	>100.000	na
	Mengmonster 5 dagen verse productie. Vochtig	3	850	na		300	>100.000	na
	Mengmonster 5 dagen vers/nat	4	3.400*	na	<10	470		
Amsterdam West extra gewassen	Droog	1	<10	na			<10	na
	Droog	2	<10	na		90	<10	na
	Mengmonster 5 dagen vers daarna gewassen. Gedroogd.	3	<10	na		80	12.000	na
	Mengmonster 5 dagen vers daarna gewassen. Gedroogd.	4	<10	na	<10	<10		

Het beeld dat uit dit onderzoek naar voren komt is minder eenduidig dan het beeld dat uit de studie van Morgenschweis (2015) naar voren komt. Niet-sporevormende bacteriën (*E. coli*, *Enterobacteriaceae*) zijn soms aantoonbaar in struviet, en ook *C. perfringens* en SSRC zijn aantoonbaar aanwezig.

3.2.1.1 Niet-sporevormende bacteriën

De resultaten uit Amersfoort en Apeldoorn voldoen aan de verwachting dat zorgvuldig geproduceerd, droog struviet vrij is van niet-sporevormende bacteriën: *E. coli* en *Enterobacteriaceae* zijn afwezig, tenzij er sprake is van vers geproduceerd, vochtig struviet (Apeldoorn). De monsters uit het Land van Cuijk en Amsterdam West (niet extra gewassen) zijn vaak besmet. Onduidelijk is waar deze besmetting vandaan komt. Omdat in de extra gewassen struviet uit Amsterdam West veel lagere besmettingsniveaus worden aangetroffen, kan het zijn dat struviet (niet-extra gewassen) soms een te hoog gehalte aan organisch materiaal heeft waardoor het struviet onvoldoende droog is en de niet-sporevormende bacteriën niet volledig worden afgedood. Mogelijk is er ook sprake van besmetting van opgeslagen product door ongedierte of vogels. Een dergelijke nabesmetting kan worden voorkomen door gebruik te maken van hygiënische opslagcondities.

3.2.1.2 Sporevormende bacteriën

SSRC worden volgens verwachting op elke locatie aangetoond, maar niet in alle monsters. *C. perfringens* wordt minder vaak aangetroffen dan SSRC, omdat *C. perfringens* slechts één van de soorten is die behoort tot de groep van SSRC.

3.2.2 Toetsing van metingen aan criteria

De meetgegevens worden getoetst aan de beschikbare criteria. Hieronder wordt het resultaat van die toetsing beschreven.

3.2.2.1 Meststoffenwet

Bij toepassing van struviet op de bodem geldt de meststoffenwet. Alle niet-sporevormende humaan pathogene soorten, zoals *E. coli* en *Salmonella*, kunnen niet lang overleven in struviet. Het is wel mogelijk dat sporen van sporevormende pathogenen overleven. Een groot gedeelte van de pathogenen zal hierdoor dus afsterven, maar niet allemaal. Of daarmee is voldaan aan de voorwaarde dat het 'grootste deel van de ziekteverwekkers moet afsterven', kan RIVM niet beoordelen.

3.2.2.2 Verordening (EG) 1069/2009 en (EG) 142/2011 (dierlijke bijproducten)

<i>Clostridium perfringens</i> :	afwezig in 1 gr
<i>Salmonella</i> :	afwezig in 5 monsters van elk 25 gr
<i>Enterobacteriaceae</i> :	in maximaal 2 van de 5 monsters van 1 gr mag het aantal kiemvormende eenheden tussen minimaal 10 en maximaal 300 liggen

De norm voor *C. perfringens* wordt een keer overschreden (Apeldoorn, 260 kve/gr). *Salmonella* is in geen van de onderzochte locaties aangetoond. In zes monsters wordt de norm voor *Enterobacteriaceae* van max. 300 kve per gram niet gehaald. Of in de andere monsters aan de norm van *Enterobacteriaceae* wordt voldaan is niet duidelijk omdat het niet duidelijk is of er steeds 5 monsters van elk 1 gr zijn onderzocht (tabel 17 Waternetrapport).

3.2.2.3 (EU) Nr 2019/1009 (meststoffen)

Salmonella: afwezig in 5 monsters van elk 25gr
Escherichia coli of *Enterococcaceae*: maximaal 1000 kiemvormende eenheden
aanwezig in elk van de 5 monsters van 1 gr.

Slechts één monster voldoet niet aan de *E. coli* norm (Amsterdam West, 3400 kve/gr), maar het geteste struviet was volgens rapportage nat. Bij zorgvuldig geproduceerd struviet (voldoende droog) verwacht je afwezigheid van *E. coli*. *Salmonella* is in geen van de monsters aangetoond.

3.2.2.4 Strubias

In de Strubias tabel zijn naast de metingen ook de Strubias criteria vermeld:

E. coli : <1000 kve/gr
Salmonella : afwezig
C. perfringens : <100 kve/gr

Slechts één monster voldoet niet aan de *E. coli* norm (Amsterdam West, 3400 kve/gr), maar het geteste struviet was nat. *Salmonella* is in geen van de monsters aangetoond en slechts één monster voldeed niet aan het criterium voor *C. perfringens* (260 kve/gr).

3.3 Conclusie pathogenen

3.3.1 Niet-sporevormende pathogenen

De metingen die zijn verricht aan struviet en die vermeld staan in de Strubias tabel van Huygens et al, 2018 zijn niet eenduidig te interpreteren. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat struvieten van verschillende kwaliteiten en versheid met elkaar zijn vergeleken. Wel blijkt dat het mogelijk is om struviet te produceren dat niet besmet is met niet-sporevormende bacteriën (zoals *E. coli*, *Salmonella* of *Enterobacteriaceae*). Dit pleit voor het opstellen van een criterium voor a_w , tijd of voor niet-sporevormende bacteriën.

Deelconclusie 1: bij zorgvuldige productie van struviet sterft tijdens opslag een groot aantal potentiële ziekteverwekkers af. Dit betreft niet-sporevormende soorten. Met een criterium voor de mate van droging (a_w), tijd of voor niet-sporevormende bacteriën (afwezig) is dit operationeel periodiek te controleren. De exacte, minimale norm voor droging en tijd zal experimenteel moeten worden vastgesteld. Hoewel een exacte minimale norm nog niet vastgesteld is, kan voorlopig een opslagperiode van minimaal vier weken van struviet na productie worden aangehouden, omdat voor deze periode is aangetoond dat dit een veilig struviet oplevert.

3.3.2 Sporevormende pathogenen

In struviet dat vrij is van niet-sporevormende soorten als *E. coli*, *Salmonella* of *Enterobacteriaceae* zijn sporevormers aangetroffen, zoals SSRC en *C. perfringens*. Dit is in lijn met de verwachting: *C. perfringens* komt voor in het maagdarmsstelsel van mensen en wordt tijdens de productie van struviet niet afgedood omdat een voldoende efficiënte verhittingsstap niet aanwezig is. De frequentie waarmee *C. perfringens* wordt aangetroffen is laag en ook de gerapporteerde aantallen zijn laag. Het gebruik van met sporevormende bacteriën besmet struviet als bemestingsproduct in de productie van voedselgewassen zal volgens RIVM niet leiden tot een nieuw risico omdat sporevormers normale bewoners zijn van bodem en het gebruik van struviet als vervanger van mest zeer waarschijnlijk ook niet zal leiden tot een meetbaar verhoogd risico omdat *C. perfringens* een normale bewoner is van dierlijke maagdarmsstelsels. Volgens het warenwetbesluit Bereiding en behandeling van levensmiddelen hoeven voedselgewassen ook niet vrij te zijn van *C. perfringens* (norm: maximaal 100.000 kve per gram of ml), tenzij deze voedselgewassen voor consumptie geen kiemreducerende behandeling (koken/bakken/opwarmen en dergelijke) meer ondergaan.

Deelconclusie 2: Een aanvullende eis voor afwezigheid van sporevormende pathogene bacteriën acht RIVM niet noodzakelijk.

4. Antibioticaresistentie in struviet

Het risico op verspreiding van antibioticaresistentie naar het milieu kan in beeld gebracht worden door drie verschillende invalshoeken te combineren:

- Als eerste geeft de aanwezigheid van antibiotica zelf aan dat resistentievorming in het milieu plaats zou kunnen vinden.
- Ten tweede geeft de aanwezigheid van resistente bacteriën in het milieu een risico op de transmissie/overdracht van bacteriën die resistent zijn tegen antibiotica en die via gewassen in de voedselketen terecht zouden kunnen komen.
- Ten derde kan via resistentie-genen, waarin de afweermechanismen van resistente bacteriën tegen antibiotica genetisch zijn vastgelegd, een overdracht plaats vinden van deze afweermechanismen tussen verschillende soorten bacteriën (Schmitt et al., 2017).

In het Waternetrapport zijn alleen metingen van antibioticaresiduen (zie ook hst 2) en bacteriën in het algemeen (zie ook hst 3) gepresenteerd, er is niet naar resistentiegenen of specifiek resistente bacteriën in struviet gekeken. Omdat de risico's van resistentiegenen nog moeilijker in te schatten zijn, vormt dat op dit moment geen aandachtspunt. Resistentiegenen op zich zijn nog niet gevaarlijk, maar pas als deze op een bacterie zitten waarmee mensen geïnfecteerd kunnen raken. In principe kunnen resistentiegenen uiteindelijk tussen verschillende soorten bacteriën overgedragen worden, maar of dat in het algemeen en voor de toepassing van struviet van belang is, is nog onduidelijk.

4.1 Criteria

4.1.1 *Beschikbare criteria antibioticaresistentie*

Er bestaan geen specifieke criteria voor de aanwezigheid van antibiotica, resistentiegenen of antibiotica resistente bacteriën in bijvoorbeeld meststoffen (meststoffenwet of verordening over bemestingsstoffen, verordening over dierlijke bijproducten), of andere producten.

4.1.2 *Andere criteria*

4.1.2.1 Antibiotica residuen

De aanwezigheid van antibiotica residuen in een milieu kan zorgen voor de selectie van antibiotica resistente bacteriën. Voor de selectie van resistente bacteriën door antibacteriële stoffen werden door Bengtsson-Palme et al. (2016) PNECselectie waarden afgeleid. Deze zijn tevens opgenomen in de lijst van PNEC waarden voor effluenten van bedrijfsafvalwater van producenten van antibiotica ("AMR Industry alliance Antibiotic Discharge Targets" ¹⁷).

¹⁷ https://www.amrindustryalliance.org/wp-content/uploads/2018/09/AMR_Industry_Alliance_List-of-Predicted-No-Effect-Concentrations-PNECs.pdf

4.1.2.2 Antibiotica resistente bacteriën

De belangrijkste resistente bacteriën zijn niet-sporenvormers. Voor de aanwezigheid van resistente bacteriën kan gekeken worden naar *E. coli* als indicatorbacterie voor Gram negatieve bacteriën die resistenties van bijzonder hoge relevantie voor de volksgezondheid kunnen bevatten, zoals extended spectrum beta lactamase resistentie (ESBL) of carbapenemase resistentie. Voor criteria voor *E. coli* in struviet zie de module pathogenen (en het Strubias advies daarin).

4.1.2.3 Resistentie-genen

Resistentie-genen worden in afvalwater bij RWZIs aangetoond (Schmitt et al. 2017). Er zijn echter geen criteria waaraan getoetst kan worden of hierdoor risico op verspreiding van antibioticaresistentie ontstaat of niet. Ook is niet voorzien dat deze binnen de komende 5-10 jaar kunnen worden ontwikkeld. Daarom is er op advies van RIVM voor gekozen om deze metingen niet voor struviet uit te voeren.

4.2 Metingen

4.2.1 Observaties

In struviet werden de volgende antibiotica onderzocht: ciprofloxacine, clarithromycine, sulfamethoxazol en doxycycline. Van deze antibiotica werd alleen ciprofloxacine aangetoond, in concentraties van maximaal 70 ug/kg. Na bodemtoepassing (zie berekeningen in de Jong en Vriend, 2020) wordt dit een concentratie van 0,0299 ug/kg in de bodem. Wat betreft resistentievorming is ciprofloxacine van deze antibiotica de meest relevante omdat fluoroquinolone-resistente *Campylobacter* tot de WHO "priority pathogens"¹⁸ behoren. Dit zijn pathogenen van hoge prioriteit voor de ontwikkeling van nieuwe antibiotica. Tevens behoren fluoroquinolonen tot de lijst van WHO "critically important antimicrobials"¹⁹ in de humane gezondheidszorg.

Voor de observaties van *E. coli* zie hoofdstuk 3 van deze memo over pathogenen. Resistentiegenen zijn niet onderzocht.

4.2.2 Toetsing van metingen aan criteria

PNECselectie voor ciprofloxacine is 0,064 ug/L (Bengtsson-Palme et al. 2016). Deze toetswaarde is vergelijkbaar met een PNECaqua alleen geeft hij, in plaats van ecotoxiciteit, aan boven welke concentratie resistentievorming plaats zou kunnen vinden (in water). Omdat we voor struviet moeten toetsen aan bodemtoetswaarden moet er een omrekening plaatsvinden van deze PNECselectie. Dit gebeurt op dezelfde manier als het omrekenen van de gewone PNECaqua naar PNECsoil voor ecotoxiciteit, zoals gedaan in bijlage 4 uit Waternet 2020. De PNECselectie-soil voor ciprofloxacine komt dan uit op 3,24 ug/kg, waarboven selectie van resistente bacteriën plaats zou kunnen vinden.

De gemeten concentraties in struviet bedragen max 1% ($0,0299/3,24 * 100 = 0,92\%$) van de PNECselectie in bodem. De andere gemeten antibiotica hebben alle een hogere PNECselectie en bovendien werden deze antibiotica niet boven de detectielimiet aangetroffen. Worden voor deze antibiotica de detectielimieten van hun bepaling in struviet aangenomen als maximale concentratie, en deze op dezelfde manier getoetst aan de stofspecifieke

¹⁸ Prioritization of pathogens to guide discovery, research and development of new antibiotics for drug resistant bacterial infections, including tuberculosis. WHO reference number: WHO/EMP/IAU/2017.12

https://www.who.int/medicines/areas/rational_use/prioritization-of-pathogens/en/

¹⁹ World Health Organization 2019. Critically important antimicrobials for human medicine, 6th revision. ISBN 978-92-4-151552-8. https://www.who.int/foodsafety/areas_work/antimicrobial-resistance/cia/en/

PNECselectie, omgerekend naar PNECsoil, dan voldoen alle antibiotica aan het criterium voor selectie van resistentie. Voor de toetsing van de aanwezigheid van *E. coli* als voorbeeld voor niet-sporevormende, mogelijk resistente, bacteriën: zie de hoofdstuk 3 van deze memo over pathogenen.

4.3 Conclusie antibioticaresistentie

4.3.1 *Antibiotica*

Bij toetsing van de aanwezigheid van antibiotica aan (niet wettelijke) criteria blijkt dat de geschatte concentratie in de bodem niet zal leiden tot de selectie van resistentie.

Uit de module pathogenen blijkt bij toetsing van de aanwezigheid van niet-sporevormende bacteriën zoals *E. coli* dat bij zorgvuldige productie van struviet door droging *E. coli* niet kan overleven. Daarmee is ook het risico op verspreiding van antibioticaresistentie via resistente bacteriën verwaarloosbaar.

4.3.2 *Antibioticaresistente bacteriën*

Introductie van struviet op de bodem zou tot contaminatie van voedselgewassen kunnen leiden. De absolute risico's van de aanwezigheid van resistente bacteriën in voedselgewassen voor de volksgezondheid zijn nog niet goed te schatten. Het is aannemelijk dat verspreiding van resistente bacteriën van mens tot mens een grotere rol speelt dan blootstelling via voedsel en specifiek via gewassen (Mughini-Gras et al. 2019).

4.3.3 *Overdracht van genetische informatie (via resistentiegenen)*

Er is geen onderzoek gedaan naar de mogelijke overdracht van genetische informatie, omdat er geen criteria zijn waaraan dit getoetst kan worden.

4.3.4 *Conclusie*

Omdat voor selectie van resistentie door antibiotica en voor aanwezigheid van niet-sporevormende bacteriën geen risico's worden voorzien, wordt geen extra onderzoek aanbevolen specifiek voor antibioticaresistentie in struviet.

5. Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusie

De methodiek zoals die is gebruikt en gerapporteerd in het Waternetrapport is geschikt voor het in kaart brengen van risico's voor mens en milieu. Voor zover mogelijk zijn in het Waternetrapport de data op zorgvuldige wijze geïnterpreteerd. Een aantal aanbevelingen voor het vervolgtraject worden in paragraaf 5.2 weergegeven.

Met de gebruikte methodiek is voldoende in kaart gebracht wat de risico's voor het milieu zijn. Humane risico's zijn voor pathogenen ook voldoende in beeld gebracht.

RIVM concludeert na bestudering van de relevante onderdelen dat de beoogde toepassing van struviet uit afvalwater als meststof op de bodem als veilig kan worden beschouwd voor zowel de stof-gerelateerde aspecten (medicijnresten, PFAS) als de microbiologische aspecten (pathogenen, antibioticaresistentie). In het eerdere briefadvies werd nog onduidelijkheid over het microbiologische risico geconstateerd, die met het vervolgonderzoek is weggenomen.

Het aan de productie van struviet gekoppelde potentiële microbiologische risico is beheersbaar indien het proces van struvietwinning onder gecontroleerde omstandigheden wordt uitgevoerd. Een dergelijk proces levert een gestandaardiseerd product op met voldoende kiemdodende werking. Het is daarbij van belang dat met name de voor pathogenen aanwezige hoeveelheid beschikbaar vocht in struviet voldoende laag is en blijft en dat struviet voldoende lang (huidige situatie: minimaal 4 weken) wordt opgeslagen, voordat tot vermarkting wordt overgegaan. In een dergelijk droog of voldoende lang opgeslagen product kunnen weliswaar nog sporenvormende pathogenen aanwezig zijn, maar deze leveren bij de beoogde toepassing geen nieuw of verhoogd risico.

Het is niet mogelijk om risico's absoluut uit te sluiten, maar de risico's kunnen beheersbaar worden en blijven als bij de procescontrole een aantal aandachtspunten worden meegenomen.

5.2 Aanbevelingen

Om risico's van pathogenen beheersbaar te houden dient er bij de productie van struviet, analoog aan de toepassing van HACCP in de productie van levensmiddelen, een criterium voor de mate van droogte, tijd of afwezigheid van niet-sporevormende bacteriën te worden opgenomen in het procescontrolesysteem. De opslagtijd van minimaal 4 weken, zoals proefondervindelijk vastgesteld in de aanvullende Waternet studie, kan worden aangehouden, totdat is aangetoond wat hiervoor de minimale norm is.

Er zijn ook aandachtspunten voor het vervolgtraject. De criteria voor selectie van stoffen en de eisen aan de analysemethodiek dienen in acht te worden genomen. Nu zijn er enkele missende gegevens, waardoor bijvoorbeeld voor één stof in zijn geheel geen resultaten zijn verkregen. Ook is het van belang te streven naar het voldoen aan de eisen voor recovery van de analyses in struviet (85%) en het verlagen van de detectielimiet, daar waar de toetswaarden daaronder liggen.

Voor de toetswaarden zelf geldt dat dit indicatieve afgeleide waarden zijn. In het vervolgtraject dienen de toetswaarden steeds aangepast te worden aan de actuele stand der kennis, bijvoorbeeld bij het beschikbaar komen van experimentele toetswaarden.

Op het moment is het nog niet goed mogelijk de risico's voor de mens via voedsel (gewassen) mee te nemen. Zodra hier richtlijnen voor komen is het raadzaam om ook aan deze richtlijnen te toetsen.

Wanneer andere toepassingen dan op de bodem beoordeeld moeten worden, is het zinnig eenzelfde aanpak te kiezen als hier voor de bodemtoepassing is gedaan. Daarbij moet in ieder geval bekeken worden of de relevantie van de gekozen indicatorstoffen ook geldt voor deze andere toepassing (nu is deze gebaseerd op ecotoxiciteit in de bodem). Daarnaast moet worden vastgesteld of en tot welke waarde de toe te voegen hoeveelheid struviet gemaximeerd kan worden. Bij bodemtoepassing zoals in deze memo is dit gereguleerd via de maximale fosfaatgebruiksnorm. Ook dient er dan een toepassing specifieke toetswaarde te komen, voor bodemtoepassing is hiervoor nu een indicatieve PNECsoil gebruikt. Achtergrond waarden van de gekozen indicatoren dienen in ogenschouw te worden genomen, wanneer bij de specifiek te beoordelen toepassing een bepaald risico niet uitgesloten kan worden. Bij de hier beoordeelde toepassing gaat het bijvoorbeeld om al in bodem voorkomende sporevormende pathogenen, wat maakt dat de toepassing geen toegevoegd of verhoogd risico oplevert.

6. Referenties

Bengtsson-Palme, J., en Larsson, D.G., 2016. Concentrations of antibiotics predicted to select for resistant bacteria: Proposed limits for environmental regulation. *Environ Int*, 86, 140-9.

Boer, M. de, M. Hammerton, J. Ch. Slootweg, 2018. Uptake of pharmaceuticals by sorbent-amended struvite fertilisers recovered from human urine and their bioaccumulation in tomato fruit. *Water Research* 133 19-29.

Commissie Deskundigen Meststoffenwet, 2016. Protocol beoordeling stoffen Meststoffenwet. Versie 3.2. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. WOt-technical report 71, <https://edepot.wur.nl/394876> .

Grinten E. van der, J. Spijker, 2018. Medicijnresten, pathogenen en antibioticaresistentie in struviet uit Nederlands huishoudelijk afvalwater. RIVM rapport 2017-0144.

Huygens D., H. Saveyn, D. Tonini, P. Eder en L. Delgado Sancho, 2018. Pre-final STRUBIAS Report Circulated 13/8/18. DRAFT STRUBIAS recovery rules and market study for precipitated phosphate salts & derivates, thermal oxidation materials & derivates and pyrolysis & gasification materials in view of their possible inclusion as Component Material Categories in the Revised Fertiliser Regulation. Circular Economy and Industrial Leadership Unit, Directorate B - Growth and Innovation, Joint Research Centre - European Commission.

Jong A.-L. de, P. Vriend, 2020. Pathogenen en medicijnresten in struviet uit communaal afvalwater. Onderzoek voor een rechtsoordeel einde-afvalfase. (versie 4.2, 7 juli 2020).

Jong A.-L. de, P. Vriend, 2021. Pathogenen en medicijnresten in struviet uit communaal afvalwater. Onderzoek voor een rechtsoordeel einde-afvalfase. (conceptversie 19 augustus 2021).

Lijzen J., E. van der Grinten, A. van Drongelen, C. Moermond, B. Venhuis, 2019. Beoordeling hergebruik van luier- en incontinentiemateriaal : Stappenplan en risicobeoordelingskader voor de mogelijke risico's van stoffen en pathogenen in producten. RIVM Rapport 2019-0111.

Morgenschweis, C., Vergouwen, L., van Schöll, L., Leenen, I., 2015. Verkenning van de kwaliteit van struviet uit de communale afvalwaterketen. ISBN 978-90-5773-711-4. STOWA, 2015-34.

Mughini-Gras L., Dorado-García A., van Duijkeren E., van den Bunt G., Dierikx C.M., Bonten M.J.M., Bootsma M.C.J., Schmitt H., Hald T., Evers E.G., de Koeijer A., van Pelt W., Franz E., Mevius D.J., Heederik D.J.J., 2019. Attributable sources of community-acquired carriage of *Escherichia coli* containing β -lactam antibiotic resistance genes: a population-based modelling study. *ESBL Attribution Consortium. Lancet Planet Health*. Aug; 3(8): e357-e369.

Sabourin, L., P. Duenk, S. Bonte-Gelok, M. Payne, D.R. Lapen, E. Topp, 2012. Uptake of pharmaceuticals, hormones and parabens into vegetables grown in soil fertilized with municipal biosolids. *Science of the Total Environment* 431 233–236.

Stenzel, F., J. Rolf, S. Wiesgickl, 2019. Arzneimittelrückstände in Rezyklaten der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlämmen, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-, und Energietechnik, im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, TEXTE 31/2019.

Quik J., J. Lijzen J. Spijker, 2018. Creating safe and sustainable material loops in a circular economy: Proposal for a tiered modular framework to assess options for material recycling [Blauwdruk voor veilige en duurzame kringlopen in een circulaire economie] RIVM report 2018-0173. RIVM, Bilthoven.

Schmitt, H., Blaak, H., Kemper, M., van Passel, M., Hierink, F., van Leuken, J., de Roda Husman, A.M., van der Grinten, E., Rutgers, M., Schijven, J., de Man, H., Hoeksma, P. en Zuidema, T., 2017. Bronnen van antibioticaresistentie in het milieu en mogelijke maatregelen. RIVM Rapport 2017-0058.

Wintersen, A., Spijker J, van Breemen P, van Wijnen H., 2020. Achtergrondwaarden perfluoralkylstoffen (PFAS) in de Nederlandse landbodem, [Background values of perfluoroalkyl substances (PFAS) in Dutch soil]. RIVM briefrapport 2020-0100.

Zeilmaker, M.J., S. Fragki. E.M.J. Verbruggen, B.G.H. Bokkers, J.P.A. Lijzen, 2018. Mixture exposure to PFAS: A Relative Potency Factor approach. RIVM Report 2018-0070.