



> Retouradres Postbus 43006 3540 AA Utrecht

De heer dr. mr. G.C.M.J. Bakker  
Inspecteur-Generaal van de NVWA  
Catharijnesingel 59  
3540 AA Utrecht



**bureau Risicobeoordeling & onderzoek**

Catharijnesingel 59  
3511 GG Utrecht  
Postbus 43006  
3540 AA Utrecht  
www.nvwa.nl

**Contactpersoon**

Prof. dr. Dick Sijm

T 088 223 22 33

F 088 223 33 34

risicobeoordeling@nvwa.nl

**Onze referentie**

TRCVWA/2024/748

Datum 12 februari 2024

Betreft Indicatieve risicobeoordeling voor de volksgezondheid door amfetamines in digestaat

Geachte heer Bakker,

In 2023 hebben de Noordelijke omgevingsdiensten bij 33 covergisters digestaat onderzocht op de aanwezigheid van radioactiviteit, zware metalen, MDMA, amfetamine en methylamfetamine (methamfetamine). Hieruit bleek dat 23 monsters amfetamine bevatten en één monster ook methamfetamine. Naast (met)amfetamine bevatten 23 monsters verhoogde gehalten koper en zink.

Wanneer digestaat wordt toegepast op landbouwgrond kunnen de aanwezige stoffen in de voedselketen terecht komen. Daarom stelde de directie Handhaven van de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) de volgende vragen aan bureau Risicobeoordeling & onderzoek (BuRO):

1. Als positief op amfetamine getest digestaat wordt uitgereden vanaf 15 februari 2024, wat zijn dan de risico's voor voedselveiligheid en volksgezondheid?
2. Wat kan BuRO zeggen van de afbraaksnelheid van amfetamine in digestaat, rekening houdend met de omgevingsomstandigheden?

Onder de term amfetamine(s) wordt zowel methamfetamine (methylamfetamine) als amfetamine verstaan. In de vraagstelling wordt onderscheid gemaakt tussen risico's voor voedselveiligheid en volksgezondheid. In de beantwoording van de vraag wordt dit onderscheid niet gemaakt omdat beide terminologieën hetzelfde uitgangspunt hebben, namelijk de risico's voor de gezondheid van de consument wanneer hij/zij voedsel met amfetamines eet.

**Aanpak**

Gezien de korte termijn waarop antwoord vereist was is door BuRO gericht gezocht naar relevante literatuur. Er is geen uitgebreid literatuuronderzoek verricht. Uit de door de directie Handhaven meegeleverde documentatie bleek dat het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) een indicatieve beoordeling van de risico's voor de volksgezondheid uitvoerde in opdracht van de Omgevingsdienst Groningen. Vervolgens heeft BuRO contact gelegd met RIVM en gevraagd of deze indicatieve risicobeoordeling wanneer die afgerond was ook met BuRO gedeeld kon worden. Dit is gebeurd op 9 februari jongstleden. De

bijbehorende documentatie is als bijlage I bij deze brief bijgevoegd. Er is door BuRO bewust geen onderzoek gedaan naar de mogelijke bron van amfetamine in het digestaat. Dat onderzoek is wel belangrijk om na te gaan hoe amfetamine in het digestaat is gekomen. Momenteel loopt daar nader onderzoek naar, ook vanuit de sector<sup>1</sup>.

### Amfetamine

Amfetamine is een racemisch mengsel<sup>2</sup> van dexamfetamine (S-amfetamine) en levamfetamine (R-amfetamine). Methamfetamine is een racemisch mengsel van d-methamfetamine (S-methamfetamine) en l-methamfetamine (R-methamfetamine). In de analysemethode die is gebruikt bij het aantonen van amfetamine in het digestaat is geen onderscheid gemaakt tussen de S- en R-enantiomeren van amfetamine en methamfetamine.

Amfetamines stimuleren het centraal zenuwstelsel door de afgifte van dopamine en noradrenaline in het centraal zenuwstelsel te verhogen. Naast amfetamine en methamfetamine behoren bijvoorbeeld ook methylfenidaat, methyleendioximethamfetamine (MDMA, ecstasy), 3,4-methyleendioxyamfetamine (MDA) en 3,4-methylenedioxy-N-ethylamfetamine (MDEA) tot de amfetamines. In Nederland worden amfetamine en metamfetamine gebruikt als recreatieve drug. Dexamfetamine en lisdexamfetamine (i.e. inactieve prodrug van dexamfetamine) worden in Nederland voorgeschreven als geneesmiddel bij de behandeling van ADHD bij kinderen en adolescenten (Eliesen, 2024).

Methamfetamine is meer lipofiel dan amfetamine, waardoor het in grotere mate het centrale zenuwstelsel bereikt; bij een vergelijkbare dosis zal methamfetamine dus meer of sterkere effecten op het centrale zenuwstelsel veroorzaken dan amfetamine (Eliesen, 2024).

RIVM heeft een indicatief Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (iMTR) voor orale blootstelling van de mens<sup>3</sup> afgeleid van 0,05 µg/kg lichaamsgewicht per dag. Deze waarde gaat uit van de laagst aanbevolen orale therapeutische dosering van dexamfetamine (3,6 mg/dag; voor kinderen van 6-17 jaar), een standaard lichaamsgewicht van 70 kg en een onzekerheidsfactor van 1000 om ongewenste effecten op het zenuwstelsel te voorkomen. Voor meer details wordt verwezen naar de rapportage van RIVM. Het iMTR geldt voor de som van amfetamine en methamfetamine, onder andere omdat deze stoffen een gelijk werkingsmechanisme lijken te hebben (Eliesen, 2024).

### Overdracht naar de voedselketen

Wanneer digestaat wordt toegepast op landbouwgrond kunnen de aanwezige amfetamines in de voedselketen terecht komen doordat de stoffen door

<sup>1</sup> <https://www.platformgroengas.nl/2024/02/06/lees-hier-het-hele-informatiedocument-amfetamine-vergisters/>

<sup>2</sup> Een racemisch mengsel is een mengsel van gelijke delen van optische isomeren (spiegelbeelden van dezelfde stof).

<sup>3</sup> Een indicatief Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau voor orale blootstelling van de mens is het gehalte van een stof voedsel of drinkwater dat een mens gedurende levenslange blootstelling kan innemen voordat nadelige effecten op de gezondheid optreden.

landbouwgewassen opgenomen worden. De betrokken gewassen kunnen direct door de mens geconsumeerd worden of gebruikt worden als diervoeder. Via diervoeder kunnen amfetamines vervolgens terecht komen in producten van dierlijke oorsprong, zoals vlees, melk of eieren. In het verleden heeft besmetting van mest met MDMA geleid tot de aanwezigheid van deze stof in de bodem van een landbouwperceel en het daarop geteelde gewas (BuRO, 2018). De besmetting met MDMA was in dat geval het resultaat van drugsdumping, waardoor hoge concentraties MDMA in mest aangetroffen werden. De huidige situatie is van een andere orde grootte, maar overdracht naar de voedselketen kan ook hier niet à priori worden uitgesloten.

Uitgaande van het iMTR heeft RIVM met behulp van het model CSOIL 2020 uitgerekend wat het gehalte amfetamine en methamfetamine in de bodem mag zijn waaronder geen risico's voor de mens worden verwacht. Hierbij wordt in een worst-case scenario aangenomen dat 100% van de geconsumeerde groenten en 50% van de geconsumeerde aardappelen afkomstig is van een perceel waar amfetamines in de bodem aanwezig zijn. Omdat de iMTR gebaseerd is op de som van amfetamine en methamfetamine is de laagste waarde in bodem (i.e. 0,02 mg/kg droge stof voor methamfetamine) gebruikt om een gehalte in digestaat te berekenen (i.e. 1 mg/kg vers gewicht) (RIVM, 2024a).

### Beantwoording van de vragen

1. *Als positief op amfetamine getest digestaat wordt uitgereden vanaf 15 februari 2024, wat zijn dan de risico's voor voedselveiligheid en volksgezondheid?*

Op basis van de indicatieve beoordeling van RIVM concludeert BuRO dat het eenmalig uitrijden van digestaat met een gesommeerd gehalte van amfetamine en methamfetamine kleiner dan of gelijk aan 1 mg/kg vers gewicht (i.e. 1000 µg/kg vers gewicht) niet leidt tot risico's voor de volksgezondheid. De concentraties in monsters die in 2023 van digestaat genomen zijn, varieerden tussen 12 en 769 µg/kg voor amfetamine; de enkele concentratie van methamfetamine was 3,9 µg/kg.

RIVM heeft de mogelijke stapeling van amfetamines in de bodem bij herhaaldelijke toepassing niet beoordeeld maar is uitgegaan van de maximale hoeveelheid digestaat die per jaar mag worden uitgereden. Op die manier dekt de berekening voor eenmalige toepassing die voor herhaalde toepassing af, omdat geen rekening wordt gehouden met afbraak tussen toepassingen. Mogelijk bevatte digestaat dat in het verleden is uitgereden ook amfetamines. Het is denkbaar dat dit tot stapeling in de bodem en overdracht naar gewassen en vervolgens producten van dierlijke oorsprong heeft geleid. Om deze theorie te toetsen is nader onderzoek noodzakelijk door de bodem en de daarop geteelde gewassen te analyseren. Als gewassen amfetamines blijken te bevatten, is nader onderzoek nodig door dierlijke producten van dieren die gevoerd zijn met deze gewassen te analyseren.

2. *Wat kan BuRO zeggen van de afbraaksnelheid van amfetamine in digestaat, rekening houdend met de omgevingsomstandigheden?*

In de literatuur zijn geen gegevens gevonden over afbraak van amfetamine of methamfetamine in digestaat. Wel zijn gegevens gevonden over de afbraak van amfetamine of methamfetamine in rivierwater, rioolslib en bodem. Daarnaast zijn er gegevens uit een stabiliteitstest van WFSR met amfetamine in oppervlaktewater, grondwater, bodem en mest, en metingen van de sector in een covergister.

De afbraak van amfetamine is het snelst in de aanwezigheid van geactiveerd rioolslib (halfwaardetijden minder dan 1 dag). In rivierwater varieert de halfwaardetijd tussen <1 dag en 6,8 dagen onder aerobe condities; in afwezigheid van zuurstof neemt de halfwaardetijd toe tot 19 dagen. In grondwater breekt amfetamine niet of nauwelijks af, met een geschatte halfwaardetijd van 373 dagen. Voor afbraak in bodem lopen de halfwaardetijden behoorlijk uiteen. Waarden uit de literatuur variëren tussen 1 dag en 5,6 dagen, afhankelijk van temperatuur en startconcentratie. De waarden afgeleid uit de stabiliteitstest van WFSR liggen hoger (45-68 dagen), wat mogelijk te verklaren is door de (onbekende) testomstandigheden. Afbraak in mest is sneller dan in bodem maar minder snel dan in water, met geschatte halfwaardetijden van 4,5 dagen tot twee weken. Opgemerkt moet worden dat de testomstandigheden voor de afbraak in mest niet bekend zijn, waardoor niet duidelijk is voor welke situatie de afgeleide halfwaardetijden van toepassing zijn.

Methamfetamine breekt in alle matrices langzamer af dan amfetamine. Ook voor deze stof is de afbraak in aanwezigheid van geactiveerd rioolslib het snelst, gevolgd door die in water. Onder anaerobe condities breekt amfetamine in water niet af. In bodem is de afbraak erg langzaam, waarbij halfwaardetijden aanzienlijke verschillen laten zien voor bodems van verschillende samenstelling (131 tot 502 dagen). Afbraaksnelheden in mest zijn niet bekend.

Afbraaksnelheden in digestaat tijdens opslag of na uitrijden zijn niet bekend. Om toch een indicatie te krijgen van de mogelijke afbraak, heeft BuRO op basis van de beschikbare gegevens in bodem, mest en een anaerobe vergister een schatting gemaakt van de mogelijke afbraaksnelheden. Voor aerobe omstandigheden wordt hierbij uitgegaan van de halfwaardetijden in bodem, omdat de afbraaksnelheid van amfetamine in mest binnen de range van snelste en langzaamste afbraak in bodem ligt. De halfwaardetijd van amfetamine in aeroob digestaat (na uitrijden) wordt zo geschat tussen 1 en 68 dagen. Hierbij moet opgemerkt worden dat de halfwaardetijd van 68 dagen een geschatte waarde is, waarvan niet bekend is bij welke temperatuur deze geldt. De daadwerkelijke waarde kan dus hoger of lager zijn. Gezien de grote spreiding in geschatte halfwaardetijden kan niet met zekerheid geconcludeerd worden hoe snel amfetamine in digestaat afbreekt. Daarvoor is een diepgaande evaluatie van de stabiliteitsstudie nodig.

Voor methamfetamine zijn geen gegevens over afbraak in mest bekend en worden de geschatte halfwaardetijden in digestaat na uitrijden (onder aerobe omstandigheden) gelijk gesteld aan die in bodem (i.e. 131-502 dagen).

Onder anaerobe omstandigheden wordt geen afbraak verwacht. Voor amfetamine is deze verwachting gebaseerd op de metingen in een anaerobe covergister; voor

methamfetamine op de waarneming dat in bodem onder anaerobe condities geen afbraak optrad.

### **Indicatieve risicobeoordeling milieu door RIVM**

In een indicatieve risicobeoordeling voor het milieu heeft RIVM berekend dat een maximale amfetamineconcentratie in digestaat van 0,40 mg/kg veilig is voor bodemleven en niet leidt tot overschrijding van het criterium voor toelating van gewasbeschermingsmiddelen in oppervlakkig grondwater in grondwaterbeschermingsgebieden (0,01 µg/L). Deze berekening is gebaseerd op een halfwaardetijd voor amfetamine in bodem van één dag.

Uit gegevens die RIVM niet ter beschikking had ten tijde van de indicatieve beoordeling blijkt dat de halfwaardetijd in bodem mogelijk hoger ligt (68 dagen). Als deze waarde gebruikt wordt, is de maximale concentratie in digestaat die veilig is voor bodemleven en niet leidt tot overschrijding van het criterium voor grondwater lager, te weten 0,05 mg/kg.

### **Consumentenvertrouwen**

De NVWA onderzoekt de consumentenbeleving van voedselveiligheid om knelpunten in het vertrouwen en zorgen van consumenten ten aanzien van de veiligheid van producten en productiemethoden te identificeren (Peeters & van den Heuvel, 2021). Het algemene vertrouwen in de veiligheid van voedingsmiddelen is tussen 2003 en 2021 redelijk stabiel. Voedselincidenten, zoals die van paardenvlees in 2013 en fipronil in eieren in 2017, bleken voor een lichte vertrouwensdaling te zorgen. Het vertrouwen dat consumenten hebben in de veiligheid van verschillende soorten voedingsmiddelen verschilt wel aanzienlijk. Tijdens het fipronil-incident bleek het vertrouwen in de veiligheid van eieren (tijdelijk) te dalen, maar dat had nauwelijks invloed op het vertrouwen in de veiligheid van andere levensmiddelen (BuRO, 2022). Het systeem van de voedselveiligheid kan worden ondermijnd en het vertrouwen van de consument kan worden beschadigd wanneer digestaat waarin amfetamines zijn aangetroffen bewust in de voedselketen worden gebracht.

### **Conclusie**

Het eenmalig uitrijden van digestaat met een gesommeerd gehalte van amfetamine en methamfetamine kleiner dan of gelijk aan 1 mg/kg vers gewicht (i.e. 1000 µg/kg vers gewicht) leidt niet tot risico's voor de volksgezondheid. Omdat de berekening is gebaseerd op de hoeveelheid digestaat die in totaal in een jaar mag worden uitgereden, dekt deze conclusie ook het risico voor herhaalde toepassing van dit digestaat af. Of er sprake is van risico's voor de volksgezondheid als gevolg van stapeling vanuit het verleden is onbekend.

Gegevens over de afbraak van amfetamines in digestaat zijn niet gevonden. Op basis van de gegevens over afbraak in bodem en mest, en op basis van enkele metingen in een anaerobe covergister, wordt verwacht dat amfetamine en methamfetamine onder anaerobe omstandigheden niet afbreken in digestaat. Onder aerobe omstandigheden wordt verwacht dat amfetamine en methamfetamine zich gedragen zoals in bodem, met halfwaardetijden tussen 1 en 68 dagen voor amfetamine en tussen 131 en 502 dagen voor methamfetamine.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de langste halfwaardetijd voor amfetamine mogelijk een over- of onderschatting is.

Bij het uitrijden van digestaat waarvan bekend is dat het amfetamines bevat worden bewust amfetamines in de voedselketen gebracht. Dit kan het vertrouwen in het systeem van de voedselveiligheid ondermijnen.

### **Advies**

Het bovenstaande in ogenschouw nemende adviseer ik u het volgende:

- Zie er op toe dat de gehalten aan amfetamines en andere contaminanten in de levensmiddelen en diervoeders afkomstig van met digestaat bemeste landbouwgronden geen risico's vormen voor de voedselveiligheid en diergezondheid en dring er bij de verantwoordelijke partijen op aan dat de bron van amfetamines bekend wordt.
- Zorg voor een adequate risicocommunicatie naar de betrokken verantwoordelijken en de consument indien er (toch) amfetamines of andere contaminanten in deze levensmiddelen en diervoeders aangetroffen worden.

*Met vriendelijke groeten,*

*Prof. dr. Dick T.H.M. Sijm*

*Directeur bureau Risicobeoordeling & onderzoek*

### **Bijlage(n)**

Ia – Aanbiedingsbrief rapportage digestaat amfetamine

Ib – RIVM 2024 Advies 16188A00 i-MRThumaan amfetamine

II – Onderbouwing beantwoording vraag afbraaksnelheid amfetamine in digestaat

**bureau Risicobeoordeling &  
onderzoek**

**Datum**

12 februari 2024

**Onze referentie**

TRCVWA/2024/748

## **Bijlage I**

Ia – Aanbiedingsbrief rapportage digestaat amfetam

Ib – RIVM 2024 Advies 16188A00 i-MRThumaan amfetam

Beide documenten zijn als apart pfd-bestand bijgevoegd.

## Bijlage II

**Wat kan BuRO zeggen over de afbraaksnelheid van amfetamine in digestaat, rekening houdend met de omgevingsomstandigheden? De vraag heeft betrekking op de omstandigheden tijdens opslag van het digestaat en op de omstandigheden na uitrijden op het land.**

### Aanpak

Om deze vraag te beantwoorden is in PubMed naar literatuur gezocht. Zoektermen waren "degradation of amphetamine" en "degradation of amphetamine in soil". Zoektermen met "fermented manure" of "manure" leverden geen resultaten op. Er is niet gezocht naar afbraak in planten.

Er werden vijf mogelijk relevante artikelen gevonden, die in enige mate van detail bekeken zijn. Eén van de artikelen betrof de afbraak van amfetamine en methamfetamine in rivierwater uit het Verenigd Koninkrijk onder verschillende condities (licht, donker, biotisch, abiotisch, en met en zonder sediment) (Bagnall et al., 2013). De publicatie van Evans en collega's (Evans et al., 2016) beschrijft een aantal testen met rivierwater en geactiveerd slib uit een rioolwaterzuivering (rioolslib) in het Verenigd Koninkrijk. Daarnaast zijn er drie publicaties over afbraak van amfetamine of methamfetamine in bodem, uitgevoerd met bodems uit Schotland (amfetamine; (Petrie et al., 2018; Bertin et al., 2020)) of Australië (methamfetamine; (Pal et al., 2011)). De publicaties over afbraak in bodem zijn door RIVM beschouwd in de indicatieve risicobeoordeling van 30 januari 2024 (RIVM, 2024b).

De afbraaksnelheid wordt aangegeven door de halfwaardetijd ( $DT_{50}$ ). Dit is de tijd die nodig is om een bepaalde concentratie te halveren; hoe lager de halfwaardetijd, hoe sneller de afbraak. Niet in alle publicaties zijn (alle) halfwaardetijden gegeven. Waar nodig, zijn deze daarom afgeleid op basis van eerste orde kinetiek volgens Vergelijking 1 en Vergelijking 2. Hierin zijn  $C_0$  en  $C_t$  de concentraties op tijdstippen 0 en  $t$ ,  $t$  de tijd die verstreken is sinds tijdstip 0 en  $k$  de snelheidsconstante.

Vergelijking 1:

$$k = \frac{\ln(C_0) - \ln(C_t)}{t}$$

Vergelijking 2:

$$DT_{50} = \frac{\ln(2)}{k}$$

Overigens moet worden opgemerkt dat eerste orde kinetiek mogelijk niet de beste beschrijving van de afbraakdata geeft. Om dit vast te stellen is een grondige evaluatie van de afbraakgegevens nodig, op basis van ruwe data van de



verschillende testen en met modellen zoals beschreven voor gewasbeschermingsmiddelen. Dit was nu niet mogelijk. Hieronder worden de vier relevante artikelen samengevat.

## Artikel 1 – Bagnall et al., 2013 (amfetamine en methamfetamine)

### *Methodiek*

In de studie van Bagnall en collega's (Bagnall et al., 2013) werden drie verschillende testen uitgevoerd om de afbraak van amfetamine en methamfetamine in rivierwater te bepalen. Testen met mengsels van stoffen (racemische mengsels van amfetamine, methamfetamine en cafeïne) werden uitgevoerd met gefilterd (0,7 µm) rivierwater en sediment uit de Avon rivier in het Verenigd Koninkrijk, verzameld in de zomer van 2011. Daarnaast werden afbraaktesten met enkele stoffen uitgevoerd in ongefilderd rivierwater dat verzameld was in Saltford in de nazomer van 2011. Alle testen werden in duplo uitgevoerd. In de testen met mengsels van stoffen werd afbraak gemeten onder biotische en abiotische condities in het licht (8 uur daglengte) en het donker, en in aanwezigheid of afwezigheid van sediment (1 g/L). Abiotische omstandigheden, waarin al het (microbieel) leven is gedood, werden verkregen door toevoegen van natriumazide (1 g/L). De testsystemen werden in een geventileerde ruimte gezet om de temperatuur constant te houden. Tijdens de 15 dagen durende testperiode werden drie tot vijf keer monsters genomen voor analyse van (met)amfetamine. In de testen met enkele stoffen werd de biologische afbraak van (met)amfetamine bepaald in licht en donker, en monsters werden twee keer per week genomen. Zuurstofgehalten waren altijd  $\geq 7,0$  mg/L, pH varieerde tussen 8,4 en 9,3 en de temperatuur was 23-30°C.

### *Resultaten*

Amfetamine en methamfetamine werden onder abiotische omstandigheden niet afgebroken en biodegradatie was sneller in licht dan in donker. Van de initiële concentratie amfetamine van 693 ng/L was na 8 dagen in het licht nog 135 ng/L over, en daarna nam de concentratie snel verder af tot onder de kwantificatielimiet (5 ng/L). In het donker was de concentratie op dag 15 nog 121 ng/L. Methamfetamine brak minder snel af, van een initiële concentratie van ongeveer 1400 ng/L naar 594 ng/L op dag 15 in het licht en naar 1110 ng/L op dag 15 in het donker (afgelezen uit een grafiek).

Uit de testen met mengsels van stoffen bleek bovendien dat er een verschil in snelheid was in de biodegradatie van de stereo-isomeren van amfetamine: vanaf dag 5 was er alleen nog R-amfetamine aanwezig, zowel in licht als in donker. Deze stereo-specifieke biodegradatie was minder duidelijk bij methamfetamine, waar de bijdrage van S-methamfetamine in 15 dagen afnam van 51% naar 38-41%.

In aanwezigheid van sediment nam de biodegradatie van amfetamine toe: binnen 8 dagen was de degradatie 86% tegenover 56% zonder sediment. Dit werd ook gezien voor methamfetamine, waar de degradatie toenam van 16% zonder sediment naar 78% met sediment. In het donker werd voor beide stoffen geen verschil gemeten tussen biodegradatie in aan- of afwezigheid van sediment.

In testen met alleen amfetamine of methamfetamine werd duidelijk dat de afbraak nog sneller was dan uit de mengseltesten bleek, wat te wijten was aan het monsternameschema. Voor amfetamine werd meer dan 90% afbraak gemeten binnen 3 dagen in licht en in donker; vanaf die dag was alleen nog het R-enantiomeer aanwezig. In de testen met alleen methamfetamine werd de dag na toevoegen van methamfetamine zowel in licht als in donker amfetamine gemeten. Dit is te verklaren doordat amfetamine een afbraakproduct is van methamfetamine. De afbraak in donker was langzamer dan in licht: in donker nam de concentratie in 30 dagen af van ongeveer 1000 ng/L naar ongeveer 600 ng/L, terwijl de concentratie in licht binnen 30 dagen afnam van ongeveer 1000 ng/L naar ongeveer 100 ng/L (afgelezen uit een grafiek). De auteurs concluderen dat de afbraak van (met)amfetamine het gevolg is van biologische processen in het licht, die versneld worden door aanwezigheid van sediment.

#### *Halfwaardetijden*

Halfwaardetijden werden niet gerapporteerd, en zijn daarom door BuRO berekend op basis van eerste orde kinetiek en de gerapporteerde initiële en uiteindelijke concentraties. Deze worden hieronder weergegeven (Tabel 1). Omdat afbraak niet optrad onder abiotische omstandigheden, zijn halfwaardetijden alleen berekend voor de biologische afbraak.

**Tabel 1.** Overzicht van halfwaardetijden voor biodegradatie van amfetamine en methamfetamine onder verschillende omstandigheden in rivierwater, berekend door BuRO op basis van gerapporteerde gemeten concentraties in (Bagnall et al., 2013)

test uitgevoerd met	stof	aanwezigheid van sediment	halfwaardetijd in dagen	
			licht	donker
stofmengsel	amfetamine	zonder	3,4	6,0
	amfetamine	met	2,8	6,8
enkele stof	amfetamine	zonder	0,9	0,9
stofmengsel	methamfetamine	zonder	12	45
	methamfetamine	met	3,7	32
enkele stof	methamfetamine	zonder	8,7	35

## **Artikel 2 – Evans et al., 2016 (amfetamine en methamfetamine)**

### *Methodiek*

Resultaten van analyse van rivierwater van een niet nader omschreven rivier in het Verenigd Koninkrijk en in in- en effluent van een rioolwaterzuiveringsinstallatie waarop 910,000 mensen zijn aangesloten worden beschreven door Evans en collega's (Evans et al., 2016).

In dezelfde studie werden ook biodegradatie testen uitgevoerd met rivierwater en effluent (90:10) en met geactiveerd rioolslib. Testen met water werden in licht (12 uur per dag) of donker en biotische of abiotische condities uitgevoerd bij een temperatuur tussen 21 en 29 °C. Abiotische condities werden verkregen door toevoeging van 1 g/L diazide. Monsters werden gedurende twee weken dagelijks

genomen. Testen met rioolslib werden in het donker uitgevoerd, en 11 monsters werden genomen gedurende 24 uur. Alle testen werden in duplo uitgevoerd, met een enkele stof of met een mengsel van stoffen (onduidelijk is welke stoffen in de mengsels aanwezig waren).

### *Resultaten*

In rivierwater werd geen (met)amfetamine aangetroffen (kwantificatielimiet 0,9-1,3 ng/L voor amfetamine en 0,3-0,4 ng/L voor methamfetamine). In afvalwater (influent) werd amfetamine aangetroffen in concentraties tussen ongeveer 250 en 740 ng/L (afgelezen uit een grafiek); deze bleven ongewijzigd in de bezinkingstank, maar namen drastisch af onder invloed van geactiveerd rioolslib. Het effluent bevatte nog maar een klein deel van de concentratie in het influent (geschat uit grafiek: ongeveer 30 ng/L, ofwel 4-12% van influent). De ratio tussen S-amfetamine en R-amfetamine nam tijdens het gehele proces af: in het influent bedroeg de bijdrage van S-amfetamine 60%; in het effluent was dit nog maar 40%. Methamfetamine werd in influent gemeten in concentraties onder 50 ng/L; de verwijderingsefficiëntie van de rioolwaterzuivering was variabel met  $23 \pm 88\%$ .

### Amfetamine

In rivierwater was geen sprake van abiotische afbraak. In testen met mengsels van stoffen was voor de biotische afbraak geen licht nodig en bijna 100% degradatie werd binnen 10 dagen bereikt; vanaf dag 3 werd alleen nog de R-enantiomeer gezien. Onder licht werd amfetamine na twee weken weer aangetroffen, waarschijnlijk als afbraakproduct van methamfetamine. Onder zuurstofarme omstandigheden werd amfetamine nog steeds afgebroken maar wel minder snel (40% na twee weken). In testen met alleen amfetamine was de afbraak in water binnen 3 dagen compleet onder licht; in het donker duurde dat bijna een week. De S-enantiomeer brak altijd het snelst af.

Ook in rioolslib trad abiotische afbraak niet op. Onder biotische condities brak de S-enantiomeer sneller af dan de R-enantiomeer. S-amfetamine werd ook hier tijdens de latere fase van de test gevormd, waarschijnlijk door afbraak van S-methamfetamine. In testen met alleen amfetamine trad snelle afbraak op, zodat binnen zes uur alleen R-amfetamine overbleef. De afbraaksnelheid van R-amfetamine was vijf keer langzamer dan die van S-amfetamine.

### Methamfetamine

Methamfetamine brak alleen onder biotische condities af in rivierwater. Daarbij was de stereoselectiviteit zoals gezien bij amfetamine veel minder duidelijk; het aandeel R-methamfetamine was slechts een fractie toegenomen in de tweede week van de test. In de testen met enkel methamfetamine werd wel stereoselectieve afbraak gezien in het donker, ondanks dat de afbraak in het donker langzamer was dan die in het licht. Opgemerkt moet worden dat de grafische weergave van concentraties in de tijd voor testen met mengsels van stoffen geen duidelijk verschil laat zien tussen afbraak in licht en donker; in beide gevallen nam de concentratie af van ongeveer 800 ng/L op dag 0 tot ongeveer 400 ng/L op dag 14 (afgelezen uit een grafiek).

In de testen met alleen methamfetamine was een duidelijker verschil te zien (afgelezen uit de grafiek); in licht nam de concentratie in 14 dagen af van

ongeveer 2600 ng/L naar 400 ng/L, terwijl in donker een afname werd gezien van ongeveer 2350 ng/L naar 800 ng/L, ook in 14 dagen.

In rioolslib werd S-methamfetamine binnen negen uur bijna volledig afgebroken. In testen met alleen methamfetamine werd veel S-amfetamine geproduceerd. Opvallend was dat amfetamine ook gevormd werd onder abiotische condities, maar een verklaring hiervoor kon niet gegeven worden. R-methamfetamine werd niet afgebroken.

#### *Halfwaardetijden*

Gerapporteerde halfwaardetijden voor afbraak door geactiveerd rioolslib werden door de auteurs berekend op basis van de resultaten van de testen met enkele stoffen. Deze zijn door BuRO samengevat in Tabel 2. Vanwege gebrek aan afbraak R-methamfetamine werden geen halfwaardetijden berekend voor deze enantiomeer en het racemisch mengsel. Halfwaardetijden voor afbraak in water werden door de auteurs niet gerapporteerd en zijn daarom door BuRO afgeleid op basis van eerste orde kinetiek en concentraties die zijn afgelezen uit de verschillende gerapporteerde grafieken, zie Tabel 3.

**Tabel 2.** Overzicht van halfwaardetijden voor biodegradatie van amfetamine en methamfetamine door geactiveerd rioolslib, berekend door Evans en collega's op basis van testen met enkele stoffen (Evans et al., 2016).

<b>systeem</b>	<b>stof</b>	<b>halfwaardetijd in uren (en dagen)</b>
geactiveerd rioolslib	amfetamine (racemisch mengsel)	0,85 (0,035)
	S-amfetamine	0,25 (0,010)
	R-amfetamine	1,34 (0,056)
	S-methamfetamine	3,50 (0,15)

**Tabel 3.** Halfwaardetijden voor biodegradatie van amfetamine en methamfetamine in rivierwater met effluent onder verschillende omstandigheden, berekend door BuRO op basis van gerapporteerde gemeten concentraties in (Evans et al., 2016)

test uitgevoerd met	stof	zuurstof omstandigheid	halfwaardetijd in dagen	
			licht	donker
stofmengsel	amfetamine	met zuurstof	0,8	0,8
	amfetamine	zonder zuurstof	19	19
enkele stof	amfetamine	met zuurstof	<0,2	<0,5
stofmengsel	methamfetamine	met zuurstof	± 14	± 14
	methamfetamine	zonder zuurstof	geen afbraak	geen afbraak
enkele stof	methamfetamine	met zuurstof	5,2	9,0

### Artikel 3 – Pal et al., 2011 (methamfetamine)

#### Methodiek

Afbraak in bodem werd in 2011 bestudeerd in bodems afkomstig uit Australië (Pal et al., 2011). Voor de degradatietesten werden bodems verzameld van drie verschillende locaties, representatief voor stedelijk gebied, inheems begroeid gebied en landbouwgrond. De bodems hadden verschillende eigenschappen: de bodem van stedelijk gebied was een alkaline zanderige leemgrond (pH 8,91, organisch koolstofgehalte 1,11%), de bodem uit inheems begroeid terrein was een licht zure zanderige leemgrond (pH 5,98, organisch koolstofgehalte 2,88%) en de landbouwbodem was een licht zure leemgrond (pH 5,64, organisch koolstofgehalte 2,26%). Van iedere bodem werd een monster genomen van de bovenste 15 cm en daarna werd de bodem gezeefd tot 2 mm. Afbraak van methamfetamine werd onder abiotische en biotische omstandigheden bestudeerd in het donker gedurende een periode van een jaar. Om abiotische condities te krijgen werd de bodem geautoclaveerd. Methamfetamine werd aan de bodems toegevoegd via een doseeroplossing in water. Gedurende de test werd het vochtgehalte in de bodems constant gehouden door toevoeging van steriel gedestilleerd water. De testen werden in duplo uitgevoerd.

#### Resultaten & halfwaardetijden

Onder abiotische condities trad geen afbraak op. Biodegradatie van methamfetamine was 68% in de bodem uit stedelijk gebied, 90% in de bodem uit inheems begroeid gebied en 46% in de bodem van landbouwgrond. De bijbehorende halfwaardetijden zijn respectievelijk 274 dagen, 131 dagen en 502 dagen (Tabel 4). De auteurs concluderen dat methamfetamine redelijk stabiel is in bodem en weinig beïnvloed wordt door fysisch-chemische en biologische processen.

**Tabel 4.** Overzicht van halfwaardetijden voor biodegradatie van methamfetamine in bodem (Pal et al., 2011)

<b>bodemtype</b>	<b>halfwaardetijd in dagen</b>
stedelijk; alkaliën zanderig leem	274
inheemse begroeiing; licht zuur zanderig leem	131
landbouwgrond; licht zuur leem	502

#### **Artikel 4 – Petrie et al., 2018 (amfetamine)**

##### *Methodiek*

Petrie en collega's rapporteren over de ontwikkeling van een analysemethode, die tijdens de studie ook gebruikt werd om afbraak van amfetamine te onderzoeken (Petrie et al., 2018). Bodem werd verzameld van een akkerbouwbedrijf in Schotland en gezeefd tot 2 mm. Deze bodem was in de 10 jaar voor verzamelen niet behandeld met vergist slib of dierlijke mest. De degradatietest werd uitgevoerd met het racemisch mengsel (100 ng/g), in open buisjes in het donker bij een temperatuur van 20°C. Tijdens de test werd het vochtgehalte op peil gehouden. Monsters voor analyse werden genomen op dag 0, 3, 7, 14, 28 en 56.

##### *Resultaten*

Binnen 28 dagen was amfetamine volledig afgebroken. De afbraak was stereoselectief: de initiële concentraties in de test met het racemisch mengsel waren  $52,3 \pm 1,7$  ng/g S- amfetamine en  $54,4 \pm 1,8$  ng/g R-amfetamine. Na 3 dagen waren deze concentraties afgenomen tot  $1,1 \pm 0,1$  ng/g S-amfetamine en  $10,0 \pm 0,8$  ng/g R-amfetamine. De initiële bijdrage van S-amfetamine aan de totale hoeveelheid amfetamine was dus van 49% afgenomen tot 10%, wat te wijten was aan de snellere afbraak van deze enantiomeer.

##### *Halfwaardetijden*

Halfwaardetijden werden door de auteurs niet gerapporteerd en zijn daarom door BuRO afgeleid op basis van eerste orde kinetiek en de gerapporteerde concentraties voor 0 en 3 dagen, zie Tabel 5.

**Tabel 5.** Overzicht van halfwaardetijden voor biodegradatie van amfetamine in bodem berekend op basis van gegevens van (Petrie et al., 2018).

test uitgevoerd met	stof	halfwaardetijd in dagen
racemisch mengsel	S-amfetamine	0,5
	R-amfetamine	1,2

## Artikel 5 – Bertin et al., 2020 (amfetamine)

### Methodiek

Bertin en collega's beschrijven de uitvoer en resultaten van degradatietesten in bodem (Bertin et al., 2020). Degradatietesten met amfetamine werden uitgevoerd onder biotische en abiotische condities. Bodem werd verzameld van een akkerbouwbedrijf in Schotland waarop de laatste vijf jaar geen biologische vaste stoffen of mest waren toegepast. Bodem werd van de bovenste 10 cm verzameld en gezeefd tot 2 mm. Om abiotische condities te krijgen werd bodem geautoclaveerd en daarna behandeld met natriumazide (200 µg/g). Bodem werd behandeld met 10 of 100 ng/g amfetamine met behulp van een waterige stock oplossing. Biodegradatie van het racemische mengsel van amfetamine werd bestudeerd bij 4°C en bij 18°C, terwijl abiotische afbraak alleen bij 18°C werd bestudeerd. De testen werden in het donker uitgevoerd. Monsters voor analyse (3 replica's per monsternamen) werden genomen op dag 0, 1, 3, 7, 14, 28, 42 en 56. Aanvullende biotische testen werden uitgevoerd met de S- en R-enantiomeren apart, bij een concentratie van 50 ng/g.

### Resultaten & halfwaardetijden

Amfetamine brak af onder biotische omstandigheden, maar niet onder abiotische omstandigheden. De S-enantiomeer brak sneller af dan de R-enantiomeer, die na drie dagen meer dan 80% bijdroeg aan de totale hoeveelheid overgebleven amfetamine. Volledige afbraak werd bij 18°C binnen 28 dagen bereikt; bij 4°C duurde dit 42 dagen.

Op basis van de afbraaksnelheden in de testen met het racemische mengsel werden halfwaardetijden voor biodegradatie berekend voor de specifieke enantiomeren (Tabel 6). Deze bedroegen 1,9 dagen voor 100 ng/g S-amfetamine bij 4°C; 2,8 en 5,6 dagen voor 100 ng/g R-amfetamine bij 18°C en 4°C en 1,8 dagen voor 10 ng/g R-amfetamine bij 4°C. Bij gebrek aan voldoende data konden halfwaardetijden voor andere combinaties van stof, temperatuur en concentratie niet berekend worden door de auteurs. Halfwaardetijden werden ook berekend op basis van de afbraaksnelheden in de testen met de aparte enantiomeren. Volgens de auteurs bedroegen deze 1,0 dagen voor de S-enantiomeer en 2,3 dagen voor de R-enantiomeer, maar zonder vermelding van de temperatuur. De grafiek waarin de afbraak bij verschillende temperaturen wordt getoond laat een verschil zien tussen afbraak bij de twee geteste temperaturen. Voor de S-enantiomeer bedroeg de afbraak na 7 dagen 100% bij 18°C en ongeveer 55% bij 4°C; de R-enantiomeer was na 7 dagen volledig afgebroken bij 18°C, terwijl de afbraak bij

4°C slechts ongeveer 70% was. De gerapporteerde halfwaardetijden gelden dus waarschijnlijk voor een temperatuur van 18°C.

**Tabel 6.** Overzicht van halfwaardetijden voor biodegradatie van amfetamine in bodem (Bertin et al., 2020) , bij verschillende temperaturen (T).

test uitgevoerd met	stof	T (°C)	test concentratie (ng/g)	halfwaardetijd in dagen
racemisch mengsel	S-amfetamine	4	100	1,9 ± 0,4
	R-amfetamine	18	100	2,8 ± 0,2
	R-amfetamine	4	100	5,6 ± 0,4
	R-amfetamine	4	10	1,8 ± 0,5
S-amfetamine	S-amfetamine	18	50	1,0 ± 0,2
R-amfetamine	R-amfetamine	18	50	2,3 ± 0,0

## Aanvullende informatie vanuit WFSR

### Methodiek

In 2018 rapporteerde het toenmalige RIKILT, inmiddels Wageningen Food Safety Research (WFSR) de afname van amfetamine-concentraties in oppervlaktewater, grondwater, zandgrond, kleigrond, varkensmest en koeienmest. Het onderzoek werd uitgevoerd in het kader van het project WOT-02-0047-014 'methodeontwikkeling en inventariserend onderzoek diervoeders'. Over dit rapport is een notitie geschreven (WFSR, 2024), die wel de resultaten maar geen omschrijving van de testcondities van het onderzoek bevat. De gerapporteerde resultaten zijn die van stabiliteitsstudies, die mogelijk niet vergelijkbaar zijn met afbraakstudies zoals beschreven in de literatuur. Volgens de notitie zijn monsters voor analyse genomen op dag 0 (direct na toevoegen van de stof aan de matrix) en na 1 dag, 3 dagen, 1 week, 2 weken, 1 maand, 2, 4 en 6 maanden.

### Resultaten

De notitie van WFSR bevat grafieken waarin het verloop van de concentraties van amfetamine in de verschillende matrices wordt getoond en een summier beschrijvende tekst. Op basis van de grafieken kan worden afgeleid dat de afbraak van amfetamine sneller was in oppervlaktewater dan in grondwater. In oppervlaktewater was de afbraak binnen 3 dagen ongeveer 20%, daarna gevolgd door weinig afbraak tot het monsternametijdstip van 2 weken en door een zeer snelle afbraak tot 100% tussen 2 weken en 1 maand. In grondwater lijkt eerst een afbraak te zijn opgetreden van ongeveer 20% in 1 week, daarna gevolgd door een ogenschijnlijke toename in de week daarna. Uiteindelijk was na 4 en 6 maanden ongeveer 20% afgebroken. In bodem brak amfetamine binnen 3 dagen ongeveer 20% af, in 2 maanden ongeveer 60% en in 6 maanden ongeveer 90%. Er was geen verschil tussen zand- en kleigrond. Afbraak in varkens- en koeienmest laat over de eerste 4 maanden een verschillend verloop zien, maar na 6 maanden was amfetamine in beide mestsoorten volledig verdwenen. In koeienmest was dit al het geval na 2 maanden; in varkensmest werd na 2 en 4 maanden nog ongeveer 30% en 20% van de initiële hoeveelheid amfetamine aangetroffen.



### Halfwaardetijden

De notitie bevat geen halfwaardetijden. Deze zijn daarom door BuRO berekend op basis van eerste orde kinetiek (Tabel 7).

**Tabel 7.** Overzicht van halfwaardetijden berekend door BuRO voor afbraak van amfetamine in een stabiliteitsstudie in verschillende matrices (WFSR, 2024).

matrix	halfwaardetijd in dagen
oppervlaktewater	2,3
grondwater	373
zandgrond	± 50
kleigrond	45-68
varkensmest	14
koeienmest	4,5

### Aanvullende informatie van de sector (The Moss Group, 2023)

In een rapport van de sector worden analyseresultaten voor een reeks monsters van een anaerobe covergister gegeven. Deze covergister verwerkt uitsluitend kippenmest. Het rapport geeft aan dat ook monsters werden geanalyseerd van een covergister die een mengsel van kippenmest en andere agrarische restproducten verwerkt, maar in de omschrijving van de analyses (methode en resultaten) komt deze tweede locatie niet voor.

### Methodiek

De Universiteit van Wageningen onderzocht het digestaat van het bedrijf dat alleen kippenmest verwerkt. In de analysemethode werden alleen amfetamine, methamfetamine en MDMA meegenomen. Het is waarschijnlijk dat deze analyse onderdeel was van het onderzoek door de WUR dat aanleiding was voor de vraagstelling die in dit document wordt beantwoord.

KWR water heeft van hetzelfde bedrijf monsters van ongescheiden digestaat, vloeibaar digestaat na verwijdering van vaste stoffen, pellets geproduceerd uit verwijderde vaste stoffen, de productstroom ammoniumsulfaat, mest uit een opslagbunker, grondwater dat ter plaatse wordt gebruikt en water uit een badkamerkraan ter plaatse geanalyseerd. In de analysemethode werd specifiek gekeken naar amfetamine, methamfetamine en MDMA.

Nutrilab Agro heeft ook monsters van de covergister die alleen kippenmest verwerkt, geanalyseerd. De monsters werden genomen van vaste mest, uit de hoofdvergister, van ongescheiden digestaat, gescheiden verteerd (centrifuge na decanteren), pellets en ammoniumsulfaat. Ook werden monsters van een tweede locatie geanalyseerd. Deze monsters werden genomen op een installatie buiten Nederland, die op het perceel van een pluimveebedrijf staat en omschreven als een vergister-monster en een digestaat-monster. In de analysemethode werd gekeken naar amfetamine, methamfetamine, MDMA, MDA, MDEA, n-acetylamfetamine en ammoniumsulfaat.

**Resultaten**

De analyseresultaten voor amfetamine van de verschillende monsters worden weergegeven in Tabel 8. Methamfetamine en andere stoffen (in de analysemethode) werd niet aangetroffen boven de betreffende kwantificatiegrenzen.

**Tabel 8.** Analyseresultaten in monsters genomen van een anaerobe covergister.

lab	type monster	concentratie, µg/kg
		amfetamine
Universiteit Wageningen	digestaat	25
KWR water	digestaat	25
	gescheiden digestaat	20
	pellets	150
	ammoniumsulfaat	15
	mest	-
	grondwater	-
Nutrilab Agro	kraanwater	-
	mest (ingand)	-
	vergister	20
	digestaat	20
	gescheiden digestaat	20
	pellets	-
Nutrilab Agro, tweede locatie	ammoniumsulfaat	30
	vergister	40
	digestaat	40

De resultaten van Nutrilab Agro laten zien dat afbraak van amfetamine tijdens het vergistingsproces niet optreedt, immers, de concentratie in de vergister is gelijk aan die in het digestaat. De resultaten van KWR water en Nutrilab Agro spreken elkaar tegen wat betreft de verschillen tussen digestaat en gescheiden digestaat. In de monsters geanalyseerd door Nutrilab Agro is geen verschil te zien, terwijl de concentratie amfetamine in de gescheiden digestaat geanalyseerd door KWR water 20% lager is dan die in digestaat. Dit is mogelijk te verklaren door de hoge concentratie van amfetamine in de pellets.

**Discussie & conclusie**

Uit de literatuur is duidelijk dat er sprake is van stereo-selectieve afbraak van (met)amfetamine, waarbij de S-enantiomeer sneller afbreekt dan de R-enantiomeer. Dit geldt zowel voor water als bodem en geactiveerd rioolslib. Abiotische afbraak is niet relevant, zoals aangetoond door (Pal et al., 2011; Bagnall et al., 2013; Evans et al., 2016; Bertin et al., 2020). Hoewel (Pal et al., 2011) concludeert dat de biodegradatie van methamfetamine in bodem niet beïnvloed wordt door fysisch-chemische processen, laten de resultaten van (Bertin et al., 2020) zien dat temperatuur en concentratie wel een rol spelen. Voor biodegradatie in water is bovendien aangetoond dat licht een rol speelt; in aanwezigheid van licht gaat de afbraak sneller (Bagnall et al., 2013; Evans et al., 2016).

Voor afbraak in digestaat zijn in de literatuur geen gegevens beschikbaar. Analyseresultaten van twee anaerobe covergisters laten zien dat afbraak van amfetamine tijdens het vergistingsproces niet optreedt.

De afbraaksnelheid van amfetamine en methamfetamine in digestaat tijdens opslag of na uitrijden is niet met zekerheid te extrapoleren uit de data die beschikbaar zijn voor water, bodem, rioolslib en mest. De beschikbare halfwaardetijden zijn samengevat in Tabel 9 voor amfetamine en in Tabel 10 voor methamfetamine. Hierbij moet worden opgemerkt dat veel van de halfwaardetijden zijn geschat op basis van gerapporteerde concentraties in verschillende matrices, al dan niet afgelezen uit grafieken. Dit zijn daarom indicatieve waarden, die gebruikt kunnen worden om een algemeen beeld te vormen. Om toch een indicatie te krijgen van de mogelijke afbraak in digestaat kunnen de halfwaardetijden in bodem en mest gebruikt worden om een best-case en een worst-case scenario te schetsen. De geschatte halfwaardetijden worden gegeven in Tabel 11.

**Tabel 9.** Overzicht van halfwaardetijden voor de afbraak van amfetamine in verschillende matrices (door BuRO berekende waarden zijn aangegeven met de annotatie B).

systeem	stof	specifieke omstandigheid	halfwaardetijd in dagen	
			licht	donker
rivierwater (Bagnall et al., 2013)	amfetamine	zonder sediment	3,4 <sup>B</sup>	6,0 <sup>B</sup>
	amfetamine	met sediment	2,8 <sup>B</sup>	6,8 <sup>B</sup>
	amfetamine	zonder sediment	0,9 <sup>B</sup>	0,9 <sup>B</sup>
geactiveerd rioolslib (Evans et al., 2016)	amfetamine (racemisch mengsel)	-	-	<1 (0,85 uur)
	S-amfetamine	-	-	<1 (0,25 uur)
	R-amfetamine	-	-	<1 (1,34 uur)
rivierwater met effluent (Evans et al., 2016)	amfetamine	met zuurstof	0,8 <sup>B</sup>	0,8 <sup>B</sup>
	amfetamine	zonder zuurstof	19 <sup>B</sup>	19 <sup>B</sup>
	amfetamine	met zuurstof	<0,2 <sup>B</sup>	<0,5 <sup>B</sup>
bodem (Petrie et al., 2018)	S-amfetamine	20°C	-	0,5 <sup>B</sup>
	S-amfetamine	20°C	-	1,2 <sup>B</sup>
bodem (Bertin et al., 2020)	S-amfetamine	4°C, 100 ng/g	-	1,9 ± 0,4
	R-amfetamine	18°C, 100 ng/g	-	2,8 ± 0,2
	R-amfetamine	4°C, 100 ng/g	-	5,6 ± 0,4
	R-amfetamine	4°C, 10 ng/g	-	1,8 ± 0,5
	S-amfetamine	18°C, 50 ng/g	-	1,0 ± 0,2
	R-amfetamine	18°C, 50 ng/g	-	2,3 ± 0,0
oppervlaktewater (WFSR, 2024)	amfetamine	onduidelijk	2,3 <sup>B</sup>	
grondwater (WFSR, 2024)	amfetamine	onduidelijk	373 <sup>B</sup>	
zandgrond (WFSR, 2024)	amfetamine	onduidelijk	± 50 <sup>B</sup>	
kleigrond (WFSR, 2024)	amfetamine	onduidelijk	45-68 <sup>B</sup>	
varkensmest (WFSR, 2024)	amfetamine	onduidelijk	13-14 <sup>B</sup>	
koeienmest (WFSR, 2024)	amfetamine	onduidelijk	4,5 <sup>B</sup>	

Uit het overzicht in Tabel 9 wordt duidelijk dat de afbraak van amfetamine het snelst is in de aanwezigheid van geactiveerd rioolslib. In rivierwater varieert de halfwaardetijd tussen <1 dag en 6,8 dagen onder aerobe condities; in afwezigheid van zuurstof neemt de halfwaardetijd toe tot 19 dagen. In grondwater breekt amfetamine niet of nauwelijks af, met een geschatte halfwaardetijd van 373 dagen. Voor afbraak in bodem lopen de halfwaardetijden behoorlijk uiteen. De

waarden uit de studie van Bertin en collega's variëren tussen 1 dag en 5,6 dagen, afhankelijk van temperatuur en startconcentratie. De waarden afgeleid uit de data van WFSR (2024) zijn veel hoger en liggen rond de 45-68 dagen. Mogelijk is dit verschil te verklaren door de testomstandigheden, zoals zuurstofconcentratie en temperatuur, of door de samenstelling van de bodem (organisch stof gehalte, microbiële massa). Afbraak in mest is sneller dan in bodem maar minder snel dan in water, met geschatte halfwaardetijden van 4,5 dagen tot twee weken. Opgemerkt moet worden dat de testomstandigheden voor de afbraak in mest niet bekend zijn, waardoor niet duidelijk is voor welke situatie de afgeleide halfwaardetijden van toepassing zijn.

Methamfetamine breekt in alle matrices langzamer af dan amfetamine. Ook voor deze stof is de afbraak in aanwezigheid van geactiveerd rioolslib het snelst, gevolgd door die in water. In bodem is de afbraak erg langzaam, waarbij halfwaardetijden aanzienlijke verschillen laten zien voor bodems van verschillende samenstelling (131 tot 502 dagen). Afbraaksnelheden in mest zijn niet bekend.

**Tabel 10.** Overzicht van halfwaardetijden voor de afbraak van methamfetamine in verschillende matrices (door BuRO berekende waarden zijn aangegeven met de annotatie B; ∞ geeft aan dat afbraak niet optrad)

systeem	stof	specifieke omstandigheid	halfwaardetijd in dagen	
			licht	donker
rivierwater (Bagnall et al., 2013)	methamfetamine	zonder sediment	12 <sup>B</sup>	45 <sup>B</sup>
	methamfetamine	met sediment	3,7 <sup>B</sup>	32 <sup>B</sup>
	methamfetamine	zonder sediment	8,7 <sup>B</sup>	35 <sup>B</sup>
geactiveerd rioolslib (Evans et al., 2016)	S-methamfetamine	-	-	<1 (3,50 uur)
rivierwater met effluent (Evans et al., 2016)	methamfetamine	met zuurstof	14 <sup>B</sup>	14 <sup>B</sup>
	methamfetamine	zonder zuurstof	∞	∞
	methamfetamine	met zuurstof	5,2 <sup>B</sup>	9,0 <sup>B</sup>
bodem (Pal et al., 2011)	methamfetamine	stedelijke bodem	-	274
	methamfetamine	bodem van inheemse begroeiing	-	131
	methamfetamine	landbouwgrond	-	502

Afbraaksnelheden in digestaat tijdens opslag of na uitrijden zijn niet bekend. Om toch een indicatie te krijgen van de mogelijke afbraak, heeft BuRO op basis van de beschikbare gegevens in bodem, mest en een anaerobe vergister een aantal scenario's uitgewerkt. Deze scenario's schetsen de mogelijke best-case en worst-case afbraaksnelheid onder aerobe en anaerobe omstandigheden. Voor aerobe omstandigheden worden de geschatte halfwaardetijden gelijk gesteld aan die in bodem, omdat de afbraaksnelheid van amfetamine in mest binnen de range van snelste en langzaamste afbraak in bodem ligt. De halfwaardetijd van amfetamine in aeroob digestaat (na uitrijden) wordt zo geschat tussen 1 en 68 dagen. Hierbij

moet opgemerkt worden dat de halfwaardetijd van 68 dagen een geschatte waarde is, waarvan niet bekend is bij welke temperatuur deze geldt. De daadwerkelijke waarde kan dus hoger of lager zijn.

Voor methamfetamine zijn geen gegevens over afbraak in mest bekend en worden de geschatte halfwaardetijden in digestaat na uitrijden (onder aerobe omstandigheden) gelijk gesteld aan die in bodem (i.e. 131-502 dagen).

Onder anaerobe omstandigheden wordt geen afbraak verwacht. Voor amfetamine is deze verwachting gebaseerd de metingen in een anaerobe covergister; voor methamfetamine op de waarneming dat in bodem onder anaerobe condities geen afbraak optrad.

**Tabel 11.** Mogelijke halfwaardetijden voor afbraak in digestaat tijdens opslag (anaerobe condities) en na uitrijden (aerobe condities). Het teken  $\infty$  geeft aan dat afbraak niet verwacht wordt.

	Mogelijke halfwaardetijden in digestaat			
	Amfetamine		Methamfetamine	
	langzaam	snel	langzaam	snel
aerob	68	1	502	131
anaerob	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$

### Consequenties van de bevindingen

In een indicatieve risicobeoordeling voor het milieu door RIVM (RIVM, 2024b) wordt verwezen naar PEARL tabellen in bijlage VII van het RIVM rapport over de uniforme evaluatie van stoffen (RIVM, 2002). Deze tabellen geven de concentratie in grondwater als functie van de halfwaardetijd ( $DT_{50}$ ) in bodem en de partiticoëfficiënt voor organisch materiaal in de bodem ( $K_{OM}$ ), voor een toepassing van 1 kg/ha.

RIVM heeft de berekeningen gebaseerd op een  $DT_{50}$  van 1 dag (geometrisch gemiddelde van 1 waarde voor de S-enantiomeer en 3 voor de R-enantiomeer uit (Bertin et al., 2020), genormaliseerd naar 20°C) en een  $K_{OM}$  waarde van 44 L/kg. Bij eenmalige toepassing van 1 kg/ha in de lente wordt dan een grondwaterconcentratie verwacht die kleiner is dan 0,01  $\mu\text{g/L}$  (het criterium voor toelating van gewasbeschermingsmiddelen in oppervlakkig grondwater in grondwaterbeschermingsgebieden).

In dezelfde beoordeling heeft RIVM een veilige totale toepassingsdosering van amfetamine afgeleid op basis van de veilige concentratie voor bodemorganismen. Deze bedraagt 0,024 kg/ha (per jaar) en is dus lager dan 1 kg/ha. Derhalve wordt verwacht dat de concentratie in grondwater bij de voor bodemorganismen veilige toepassingsdosering kleiner is dan het criterium van 0,01  $\mu\text{g/L}$ .

Volgens de PEARL tabel is de grondwaterconcentratie voor  $K_{OM}$  waarde van 44 L/kg en een  $DT_{50}$  van 68 dagen hoger dan 0,01  $\mu\text{g/L}$ , namelijk 1,43-3,07  $\mu\text{g/L}$ . Dit geeft aan dat (bij een  $DT_{50}$  van 68 dagen) de toepassingsdosering 307 keer lager moet zijn dan 1 kg/ha om aan het toelatingscriterium van 0,01  $\mu\text{g/L}$  voor grondwater te voldoen (3,07 / 0,01). De toepassingsdosering zou dus niet hoger

mogen zijn dan 0,0033 kg amfetamine/ha. Voor 0,024 kg amfetamine/ha mag de concentratie in digestaat volgens RIVM maximaal 0,40 mg/kg zijn; voor 0,0033 kg/ha zou de concentratie dus 7,4 keer ( $24 / 3,3$ ) lager moeten zijn, ofwel maximaal 0,05 mg/kg.

Zonder verdere diepgaande evaluatie van de onderliggende stabiliteitsstudie (WFSR, 2024), kan geen uitspraak gedaan worden over welke  $DT_{50}$  het meest representatief is voor de afbraak in bodem. Als het geometrisch gemiddelde van alle halfwaardetijden, na normalisering naar 20°C, gebruikt kan worden, zal de te gebruiken waarde lager zijn dan wanneer de hoogst geschatte waarde gebruikt moet worden. Omdat de concentratie in grondwater toeneemt met toenemende  $DT_{50}$ , is het effect op de indicatieve risicobeoordeling door RIVM (i.e. de concentratie in grondwater en de daaraan gekoppelde maximale concentratie in digestaat) groter naarmate de uiteindelijke  $DT_{50}$  waarde meer afwijkt van de gebruikte waarde van 1 dag.

## Referenties

- Bagnall J, Malia L, Lubben A & Kasprzyk-Hordern B, 2013. Stereoselective biodegradation of amphetamine and methamphetamine in river microcosms. *Water Research*, 47, 5708-5718. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.06.057>
- Bertin S, Yates K & Petrie B, 2020. Enantiospecific behaviour of chiral drugs in soil. *Environmental Pollution*, 262, 114364. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114364>
- BuRO, 2018. Advies over MDMA in mais. Bureau Risicobeoordeling & onderzoek, Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit, Utrecht. Beschikbaar online: <https://www.nvwa.nl/documenten/consument/eten-drinken-roken/overige-voedselveiligheid/risicobeoordelingen/advies-van-buro-over-mdma-in-mais>
- BuRO, 2022. De consumentenmonitor 2003-2021 De ontwikkeling van vertrouwen in voedselveiligheid sinds de invoering van de Algemene Levensmiddelenverordening. Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit, Utrecht. Beschikbaar online: <https://www.nvwa.nl/documenten/consument/eten-drinken-roken/overige-voedselveiligheid/publicaties/duiding-buro-resultaten-consumentenmonitor-voedselveiligheid-2019-en-2021>
- Eliesen G, 2024. Advies 16188A00 - Indicatieve orale limietwaarde voor amfetamine en metamfetamine. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Evans SE, Bagnall J & Kasprzyk-Hordern B, 2016. Enantioselective degradation of amphetamine-like environmental micropollutants (amphetamine, methamphetamine, MDMA and MDA) in urban water. *Environmental Pollution*, 215, 154-163. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.103>
- Pal R, Megharaj M, Kirkbride KP, Heinrich T & Naidu R, 2011. Biotic and abiotic degradation of illicit drugs, their precursor, and by-products in soil. *Chemosphere*, 85, 1002-1009. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.06.102>
- Peeters M & van den Heuvel A, 2021. NVWA Consumentenmonitor 2021 Onderzoek naar het vertrouwen van de consument in de veiligheid van voedingsmiddelen. GfK. Beschikbaar online: <https://www.nvwa.nl/documenten/consument/eten-drinken-roken/overige-voedselveiligheid/publicaties/consumentenmonitor-voedselveiligheid-2021>
- Petrie B, Mrazovaa J, Kasprzyk-Hordern B & Yates K, 2018. Multi-residue analysis of chiral and achiral trace organiccontaminants in soil by accelerated solvent extraction andenantioselective liquid chromatography tandem–mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1572, 62-71. Beschikbaar online: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.08.034>



RIVM, 2002. Uniform System for the Evaluation of Substances (USES 4.0).

Beschikbaar online:

<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/601450012.pdf>

RIVM, 2024a. Amfetamines in digestaat. Risico's voor de volksgezondheid en het milieu. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

RIVM, 2024b. Amfetamines in digestaat. Risico's voor het milieu. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

The Moss Group, 2023. Rapport: Amfetamine in anaerobe vergisting.

WFSR, 2024. Notitie over Stabiliteitsstudie van amfetamine en MDMA in diverse matrices. Wageningen Food Safety Research.