



FRONT OFFICE VOEDSEL- EN PRODUCTVEILIGHEID

Beoordeling van fysische en chemische risico's in granen en mais afkomstig uit Oekraïne

Beoordeling aangevraagd door:	BuRO
Beoordeling opgesteld door:	RIVM
Datum aanvraag:	16-06-2023
Datum beoordeling:	05-10-2023 (concept) 25-10-2023 (definitief)
Projectnummer:	V/093130

Onderwerp

De aanleiding van de vraag is de voortdurende oorlog in Oekraïne. Bommen en ook andere gevolgen van de oorlog, zoals branden (dioxine), achtergelaten tanks etc. laten ongewenste stoffen achter in het milieu. Deze ongewenste stoffen kunnen via primaire producten als granen en mais etc. in de voedsel- en diervoederketen terecht komen. Oekraïne is, als 'graanschuur' van de wereld, een grote exporteur van granen en mais.

Vraagstelling

- 1) Identificeer de chemische gevaren die ten gevolge van de oorlog verhoogd of aanvullend aanwezig (kunnen) zijn in granen en mais afkomstig uit de Oekraïne die bestemd zijn als diervoeder of als voedsel voor de mens.
- 2) Leiden de geïdentificeerde chemische gevaren in granen en mais afkomstig uit de Oekraïne ook tot een risico voor de dier- of volksgezondheid?

Hierbij moeten de chemische gevaren, inclusief radioactiviteit, meegenomen worden.

Conclusies

Chemische stoffen

Vanwege de ernstige, langdurige en onherstelbare effecten van carcinogene, mutagene en reprotoxische (CMR) stoffen worden deze stoffen als het grootste nieuwe of toegevoegde chemische gevaar gezien als gevolg van de oorlog. CMR-stoffen die als gevolg van het conflict in Oekraïne verhoogd in of op eetbare delen van planten aanwezig kunnen zijn, zijn:

- Uranium (metaal)
- Cadmium
- Lood
- PFAS
- Dioxines
- Kwik
- Arseen



In welke mate landbouwgebieden in Oekraïne verontreinigd zijn met deze stoffen/stofgroepen is onzeker (zie 2.4). Aangezien er geen metingen zijn verricht in deze gebieden, is het ook niet mogelijk om eventuele risico's te berekenen. Wel zou er bij importcontroles extra gemonitord kunnen worden op bovenstaande stoffen/stofgroepen.

Radioactieve stoffen

Van de radioactieve stoffen die in Oekraïne in militaire toepassingen gebruikt worden geeft verarmd uranium gebruikt in munitie en bepantsering de grootste kans op contaminatie van voedsel of diervoeders. Op basis van gegevens van de VN missie in de Balkan geeft gebruik van verarmd uranium in munitie echter alleen zeer lokale besmettingen en is het stralingsrisico niet significant. Het grootste stralingsrisico is door inhalatie van radioactieve stoffen door mensen in de directe omgeving van waar munitie met verarmd uranium is afgegaan.

De meeste radioactieve stoffen uit militaire toepassingen zijn gemakkelijk te detecteren. Voor de zekerheid kan er ondanks de kleine kans op besmetting toch gekozen worden om (extra) op deze radioactieve stoffen te monitoren.

Inleiding

Oekraïne heeft samen met Rusland een leidende rol in de wereldwijde voorziening van onder andere tarwe, maïs, gerst, suikerbieten en zonnebloemolie omdat het land voor een groot deel uit zeer vruchtbare grond bestaat, ook wel Chernozem genoemd (Pozniak, 2019). De Russische invasie op 24 februari 2022 en de sindsdien vrijwel constant voortdurende oorlog op met name Oekraïens grondgebied is daarom zeer zorgwekkend zowel vanuit een voedseldistributieperspectief als vanuit een voedselveiligheidsperspectief. Van eerdere oorlogen is bekend dat sommige chemische stoffen die vrijkomen gedurende een oorlogsvoering (bijvoorbeeld bij het afvuren van munitie, bij het ontsteken van branden of via lekkende vloeistoffen uit achtergebleven oorlogsmateriaal) jarenlang in de grond aanwezig kunnen blijven. Deze stoffen kunnen vervolgens in lokaal-geteelde gewassen terecht komen. Een voorbeeld is de eerste wereldoorlog waarbij lang gevochten werd op bepaalde plaatsen in Frankrijk en België. Meer dan honderd jaar later worden er nog steeds verhoogde concentraties zware metalen gemeten in de grond van deze oorlogsgebieden (Williams & Rintoul-Hynes, 2022). In de omgeving van Verdun heeft dit tot gevolg dat het eten van lokaal-geteelde granen tot op de dag van vandaag nog steeds onverantwoord is vanwege te hoge concentraties arseen volgens Gorecki et al. (2017). Het in kaart brengen van chemische stoffen die vrijkomen bij de oorlog in Oekraïne en de eventuele contaminatie van voedsel en daarmee een verhoogde blootstelling is het primaire doel van deze beoordeling.

Behalve chemische stoffen kunnen er ook radioactieve stoffen vrijkomen door het gebruik van munitie en militair materieel, die mogelijk in voedsel terecht kunnen komen. Daarom wordt het risico op blootstelling aan radioactieve stoffen in voedsel afkomstig uit Oekraïense oorlogsgebieden ook meegenomen in deze FO beoordeling.

Secundaire risico's vallen buiten de scope van deze beoordeling. Voorbeelden van chemische secundaire risico's zijn blootstellingen aan chemische stoffen afkomstig uit beschadigde gebouwen ten gevolge van de oorlogsactiviteit. Voorbeelden van radioactieve secundaire risico's zijn incidenten bij de grootste kerncentrale van Europa in de Oekraïense stad Zaporizha of bij één van de andere kerncentrales in Oekraïne, en risico's gerelateerd aan het gebruik van (tactische) kernwapens in Oekraïne. Het Landelijk CrisisPlan Straling (LCP-S) houdt al rekening met een eventueel incident met een kerncentrale in het buitenland. Bij stralingsincidenten en inzet van kernwapens zal er ook extra internationaal gemonitord gaan worden op radioactiviteit.

Hoofdstuk 1 van deze beoordeling zal de chemische en radioactieve stoffen behandelen die een potentieel risico voor de voedselveiligheid vormen en hoofdstuk 2 zal de geschatte chemische en radioactieve risico's voor de volksgezondheid via voedsel behandelen.

1. Stoffen die mogelijk een gevaar vormen voor de voedselveiligheid

Dit hoofdstuk zal in sectie 1.1 starten met het bespreken van zorgwekkende chemische stoffen/stofgroepen toegepast in militaire situaties en de selectie daarvan. Daarna zal het in sectie 1.2 verder gaan met het bespreken van radioactieve stoffen in militaire toepassingen.

1.1 Chemische stoffen in militaire toepassingen

1.1.1 Werkwijze voor de totstandkoming van de lijst met stoffen

Bijlage I laat een overzicht zien van de chemische stoffen/stofgroepen die ten gevolge van oorlogsactiviteiten verhoogd aanwezig kunnen zijn in een oorlogsgebied. Deze lijst van stoffen/stofgroepen is met name gebaseerd op de onderstaande informatie:

- Chemische stoffen die veel op militaire oefenterreinen aangetroffen worden/werden (Bai, 2020, Gebka et al., 2016, Sanderson et al., 2008).
- Chemische stoffen die veel in eerdere oorlogen zijn gebruikt (Gorecki et al., 2017, Williams & Rintoul-Hynes, 2022).
- Chemische stoffen waarvan bekend is dat die veel in gedoneerde Westerse wapens aanwezig zijn¹ (Alfred et al., 2019, EPA, 2012).
- Chemische stoffen waarvan bekend is dat ze veel in oorlogssituaties voorkomen (Koban & Pfluger, 2023, TARDEC, 1996).
- Sommige metabolieten van chemische stoffen (Gorecki et al., 2017, USAPHC, 2020).

In het overzicht zijn chemische stoffen/stofgroepen meegenomen afkomstig uit zowel moderne munitie/apparatuur als verouderde munitie/apparatuur. Dit is gebaseerd op westerse nieuwsberichten en publicaties waarin gemeld wordt dat Oekraïne net als Rusland regelmatig terugvalt op verouderde munitie en oorlogsmaterieel vanwege een tekort aan moderne materialen^{2,3}.

In totaal zijn 67 stoffen/stofgroepen opgenomen die grofweg onder te verdelen zijn in metalen, metalloïden en reactieproducten (18), pyrotechniek en rookontwikkelaars (4), drijfgassen (16), explosieven (19) en overige (10). De categorie 'overige' bevat met name stoffen die anders dan door munitie verhoogd aanwezig kunnen zijn, zoals via oorlogsvoertuigen en branden. De lijst in bijlage I is mogelijk niet volledig omdat er wereldwijd tenminste meer dan 5300 soorten wapens in omloop zijn volgens de internationale munitiedatabase Collaborative ORDNance data repository (CORD)⁴. Het is onduidelijk welke wapens in het Rusland-Oekraïne conflict worden toegepast en in welke frequentie.

Voor elke stof(groep) in bijlage I is uitgezocht tot welke stofsoort deze behoort en hoe het wordt gebruikt in een militaire situatie. Indien beschikbaar zijn ook de (mogelijke) gevaarseigenschappen van de stof(groep), carcinogeniteitsdata, de meest recente genotoxiciteitsdata en de gezondheidskundige grenswaarden weergegeven. Voor het bepalen van de gevaarseigenschappen is gekeken of er een geharmoniseerde classificatie en etikettering beschikbaar is onder de Europese Verordening ((EG) nr. 1272/2008) met inbegrip van eventuele wijzigingen tot en met de achttiende adaptatie (zie tekstbox 1 voor verder uitleg). Ook zijn eventuele specifieke redenen tot zorg van het Europees agentschap voor chemische stoffen (ECHA) genoteerd. Naast de classificatie en etikettering door ECHA is ook bepaald of een stof(groep) behoort tot de group 1 carcinogenen volgens de *International Agency for Research on Cancer* (IARC)⁵. Voor de genotoxiciteitsdata is gebruik gemaakt van de OpenFoodTox database van de Europese autoriteit voor voedselveiligheid (EFSA)⁶. Gezondheidskundige grenswaarden zijn overgenomen uit de OpenFoodTox database of uit de GESTIS substance database (international limit database)⁷. Deze database behoort tot het *Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung* (IFA) en bevat grenswaarden gericht op beroepsgerelateerde blootstelling aan meer dan 1800 stoffen.

¹ <https://www.bbc.com/news/world-us-canada-60774098>

² <https://www.reuters.com/world/europe/burning-through-ammo-russia-using-40-year-old-rounds-us-official-says-2022-12-12/>

³ <https://www.nytimes.com/2023/07/23/world/europe/weary-soldiers-unreliable-munitions-ukraines-many-challenges.html>

⁴ <https://ordata.info/>

⁵ <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>

⁶ <https://www.efsa.europa.eu/en/microstrategy/openfoodtox>

⁷ https://limitvalue.ifa.dguv.de/WebForm_gw2.aspx

Tekstbox 1

Gevaarzinnen of H-zinnen (eng: Hazard statements) zijn onderdeel van de classificatie en etikettering van stoffen volgens de Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS) binnen de Verenigde Naties. De Europese Commissie heeft de GHS in 2008 gefaseerd ingevoerd via de Europese Verordening (EC) 1272/2008 betreffende de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels⁸. De Europese verordening 1272/2008 heeft sinds zijn invoering meerdere aanpassingen aan de technische en wetenschappelijke vooruitgang (ATP) ondergaan, die niet allemaal in geconsolideerde versies van Verordening (EC) 1272/2008 zijn opgenomen. De 18^e ATP van 3 mei 2022 is de meest recente.

Gevaarzinnen beginnend met een 'H2' zijn gerelateerd aan materiële gevaren, zoals bijvoorbeeld explosiviteit. Gevaarzinnen beginnend met een 'H3' zijn gerelateerd aan gezondheidsgevaren en gevaarzinnen beginnend met een 'H4' zijn gerelateerd aan milieugevaren.

1.1.2 Zorgwekkende stoffen en hun gevaarseigenschappen

Van de 67 stoffen/stofgroepen zijn er 22 met één of meer vastgestelde gevaarzinnen, die betrekking kunnen hebben op toxiciteit door orale blootstelling. Voor vijftien stoffen/stofgroepen gaat het om een gevaarzin gerelateerd aan acute orale toxiciteit (H300 t/m H303) en voor twaalf stoffen/stofgroepen gaat het om een gevaarzin over specifieke doelorgaan toxiciteit na herhaaldelijke blootstelling (H372 t/m H373). Twee stoffen/stofgroepen vormen een gevaar om genetische schade te veroorzaken (H340 t/m H341), en vier stoffen/stofgroepen vormen een gevaar om reproductietoxiciteit te veroorzaken (H360 t/m H361fd). Daarnaast geldt voor zes stoffen/stofgroepen een gevaarzin gerelateerd aan carcinogeniteit (H350 t/m H351) en voor het metaal lood een gevaarzin gerelateerd aan effecten op of via lactatie (H362).

Naast de vastgestelde gevaarzinnen geeft ECHA voor achttien stoffen/stofgroepen uit bijlage I één of meerdere specifieke reden(en) tot zorg. Deze reden(en) tot zorg zijn gerelateerd aan hormoonverstoring, carcinogeniteit, huidallergie, reproductietoxiciteit en mutageniteit. Carcinogeniteit werd in totaal tienmaal en daarmee het vaakst benoemd als reden tot zorg, gevolgd door reproductietoxiciteit (achtmaal) en mutageniteit (driemaal). In elf gevallen was er tenminste één specifieke reden tot zorg, maar geen vergelijkbare gevaarzin; voor de stoffen/stofgroepen koper, chroom VI, strontium, antimoon, lood, kwik, di-ethylftalaat, ammonium perchloraat, 2,4,6-trinitrotolueen en PFAS is er tenminste één specifieke reden tot zorg, maar geen gevaarzin voor dit effect.

Voor zes van de 67 stoffen in bijlage I was er een IARC classificatie voor groep 1 voor carcinogeniteit. IARC classificaties voor groep 1 kankerverwekkende stoffen via uitsluitend beroepsmatige blootstelling zijn hierin niet meegenomen.

Voor negentien van de 67 stoffen in bijlage I waren er genotoxiciteitsdata beschikbaar in de EFSA OpenFoodTox database. In drie van die gevallen werd geconcludeerd dat de stoffen/stofgroepen genotoxisch zijn (chroom VI, verarmd uranium en nikkel) en in één geval (lood) werd geconcludeerd dat het mogelijk genotoxisch is.

Voor twintig stoffen/stofgroepen in bijlage I zijn gezondheidkundige grenswaarden vastgesteld door EFSA. Bij dertien van de twintig stoffen betreft het de categorie metalen, metalloïden en reactieproducten. Daarnaast zijn er voor in totaal 35 van de 67 stoffen/stofgroepen gezondheidkundige grenswaarden beschikbaar in de GESTIS database.

⁸ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008R1272>

1.1.3 Selectie van zorgwekkende stoffen met een hoog risico op basis van hun gevaarseigenschappen

De lijst met stoffen die mogelijk verhoogd aanwezig kunnen zijn in een oorlogsgebied is te lang om voor alle stoffen te bepalen of er mogelijk een risico is voor de volksgezondheid. Daarom is er een selectie gemaakt van zorgwekkende stoffen. Gevaren gerelateerd aan carcinogeniteit, mutageniteit en reproductietoxiciteit (CMR) hebben doorgaans een grotere impact dan andere gevaren, omdat de effecten vaak ernstig, onherstelbaar en langdurig zijn. Daarom is voor deze FO beoordeling gekozen om op CMR-gerelateerde orale toxiciteit te focussen. Alle stoffen/stofgroepen uit bijlage I die in staat zijn om via orale blootstelling CMR-gerelateerde toxiciteit te veroorzaken zijn geselecteerd. Een stof(groep) moest daarbij voldoen aan ten minste één van de volgende vier criteria:

- 1) Er zijn één of meerdere CMR-gevaarzinnen gelinkt aan de stof(groep).
- 2) ECHA benoemde tenminste één specifieke reden tot zorg gerelateerd aan CMR voor de betreffende stof(groep).
- 3) De stof(groep) is volgens de *International Agency for Research on Cancer* (IARC) ingedeeld in groep 1 kankerverwekkende stoffen.
- 4) De stof(groep) werd volgens de meest recente analyse positief getest op genotoxiciteit volgens de OpenFoodTox database van EFSA.

Op basis van de criteria zijn er veertien verschillende stoffen/stofgroepen uit bijlage I geselecteerd (lichtrood geaccentueerd in bijlage I) voor risicobeoordeling (zie tabel 1). Zes van deze stoffen vallen onder de categorie metalen, metalloïden en reactieproducten (chromium VI, uranium (verarmd), cadmium, arseen, lood, beryllium en kwik). Eén van deze stoffen valt onder de categorie drijfgassen (di-butylftalaat), twee onder explosieven trinitrotolueen (TNT) en (dinitrotolueen (DNT)) en vier onder overige categorieën (PFAS, benzine, diesel en dioxines).

Twee stoffen (strontium en antimoon) zijn niet geselecteerd voor deze lijst, ondanks een specifieke reden tot zorg van ECHA vanwege mogelijke carcinogeniteit, omdat de effecten vermoedelijk worden veroorzaakt door de onzuiverheden en niet door de stoffen zelf. De stof nikkel is ook niet geselecteerd voor deze lijst ondanks de mogelijke carcinogeniteit, omdat deze optreedt via inhalatie wat niet relevant is voor blootstelling via voedsel. Voor alle andere soorten chemische stoffen die in een oorlogssituatie vrij kunnen komen en die tot zover niet zijn meegenomen in de beoordeling zal in hoofdstuk 2 nog kort worden ingegaan op de mogelijke blootstellingsscenario's.

Tabel 1: Chemische stoffen die mogelijk verhoogd aanwezig kunnen zijn in oorlogsgebieden en gerelateerd zijn aan carcinogeniteit, mutageniteit en reproductietoxiciteit (CMR).

Naam stof/stofgroep	Categorie	Militair gebruiksdoel	Reden selectie
Chroom VI	Metalen, metalloïden en reactieproducten	Afkomstig uit verf van tanks	Carcinogeniteit & genotoxiciteit
Uranium (verarmd)	Metalen, metalloïden en reactieproducten	Gebruikt in munitie, als tegengewicht op helikoptertorotors en besturingsoppervlakken, als pantser	Carcinogeniteit & genotoxiciteit
Cadmium	Metalen, metalloïden en reactieproducten	Wordt gebruikt voor corrosiebescherming in wapensystemen en zit in oude batterijen	Carcinogeniteit, genotoxiciteit & reproductietoxiciteit

Arseen	Metalen, metalloïden en reactieproducten	In munitie	Carcinogeniteit
Lood	Metalen, metalloïden en reactieproducten	Gebruikt in munitie, oude batterijen, tanks en wapensystemen en brandstof voor vliegtuigen	Carcinogeniteit & reproductietoxiciteit
Beryllium	Metalen, metalloïden en reactieproducten	In raket- en radarsystemen en gevechtsvliegtuigen	Carcinogeniteit
Kwik	Metalen, metalloïden en reactieproducten	Gebruikt in munitie in slaghoedjes om ontploffingen te initiëren.	Reproductietoxiciteit
Di-butylftalaat	Drijfgassen	Niet-energetisch bindmiddel en weekmaker	Reproductietoxiciteit
TNT	Explosieven	Explosief	Carcinogeniteit
DNT	Explosieven	Drijfgas en modifier voor brandsnelheid	Carcinogeniteit & reproductietoxiciteit
PFAS	Overige	Bindmiddel	Carcinogeniteit & reproductietoxiciteit
Benzine ^a	Overige	Brandstof voor transportmiddelen	Carcinogeniteit & reproductietoxiciteit
Diesel ^a	Overige	Brandstof voor transportmiddelen	Carcinogeniteit
Dioxines	Overige	Komt vrij bij branden	Carcinogeniteit

^aOmdat benzine en diesel uit meerdere stoffen bestaan, is er in deze risicobeoordeling voor gekozen om te focussen op petroleum koolwaterstoffen (PHC).

Afkortingen: DNT: Dinitrotolueen; PFAS: Per-en polyfluoroalkylstoffen; TNT: Trinitrotolueen.

1.2 Radioactieve stoffen in militaire toepassingen

In militair materieel en munitie kunnen diverse radioactieve stoffen aanwezig zijn. Een overzicht van deze stoffen is gegeven in Tabel 2. Welke van deze militaire toepassingen gebruikt zijn of worden in Oekraïne is niet bekend.

Tabel 2: Overzicht van radioactieve stoffen die in militaire toepassingen worden of werden gebruikt (APHC, 2020).

Radioactieve stof	Type straling	Militaire toepassing
Verarmd uranium	α , β , γ	Munitie en bepantsering ^{9, 10}
Co-60 Cs-137 Kr-85 Ra-226	β , γ β , γ β , γ α , γ	Radar ¹¹
Ra-226 H-3 Pm-147	α , γ β β , γ	Luminescerende verf/objecten, bijvoorbeeld op aanwijsinstrumenten (APHC, zonder datum)
Th-232	α , β , γ	Coating op optische elementen (Janssen, 2002)
Ni-63 Am-241	β α , γ	Detectoren voor chemische middelen (US Department of Homeland Security, 2007)

⁹ <https://www.epa.gov/radtown/depleted-uranium>

¹⁰ https://www.publichealth.va.gov/exposures/depleted_uranium/index.asp

¹¹ <https://physicsopenlab.org/2016/06/03/radioactive-electron-tubes/>

2. Geschatte chemische en radioactieve risico's voor de volksgezondheid door blootstelling via voedsel

2.1 Geschatte risico's van geselecteerde hoog-risico stoffen op basis van mogelijke blootstellingsscenario's

Metalen, metalloïden & reactieproducten

Chroom VI

Chroom VI wordt gebruikt in verf voor tanks. Chroom VI zal normaalgesproken pas vrijkomen door schuren, (af)branden, zagen of lassen, waarbij inhalatie dan de belangrijkste bron van blootstelling is. In water is chroom VI vrij persistent, maar zal het uiteindelijk reageren tot chroom III (EFSA, 2014). In de bodem wordt chroom VI door organisch materiaal omgezet in chroom-III-oxide, waardoor het vooral in deze vorm voorkomt. Deze vorm heeft een hele lage oplosbaarheid en reactiviteit en is daarom niet mobiel. Onder oxiderende condities kan chroom VI ook worden omgezet naar CrO_4^{-2} en HCrO_4^- . Deze vormen zijn wel redelijk oplosbaar en mobiel en kunnen makkelijk door planten worden opgenomen (ATSDR, 2012, Sharma et al., 2022). In planten, die groeien in bodems met een hoog chroomgehalte, worden hogere chroomconcentraties gevonden vergeleken met planten die onder normale omstandigheden groeien. Echter, bioaccumulatie van chroom in de bovengrondse delen van eetbare planten is onwaarschijnlijk, omdat slechts een klein deel naar de bovengrondse delen van eetbare planten wordt getransporteerd. Daarnaast zijn er geen aanwijzingen dat chroom kan ophopen in dieren. In het verleden is chroom VI gemeten in voedsel. Er zijn echter aanwijzingen dat dit door analytische artefacten komt (Novotnik et al., 2013). Volgens Novotnik et al. (2013) komt chroom VI niet voor in voedsel van plantaardige en dierlijke oorsprong. Gebaseerd op deze informatie gaat EFSA ervan uit dat alle chroom VI in voedsel wordt omgezet in chroom III. Zij hebben bij de bepaling van de Toelaatbare Dagelijkse Inname (TDI) alleen chroom III meegenomen (EFSA, 2014).

De blootstelling aan chroom VI via voedsel lijkt dus onwaarschijnlijk en de metabooliet chroom III, is niet gekwalificeerd als gevaarlijke stof.

Uranium

Verarmd uranium wordt gebruikt als tegengewicht op helikopterrotors en besturingsoppervlakken, als schild ter bescherming tegen ioniserende straling, als onderdeel van munitie, en als pantser in sommige onderdelen van militaire voertuigen. De toepassing van verarmd uranium leidt tot stralingsrisico's. Daarom wordt verarmd uranium beschreven onder hoofdstuk 2.2. Hierin worden ook de mogelijke andere risico's van het metaal omschreven.

Cadmium

Cadmium wordt gebruikt voor corrosiebescherming in wapensystemen, maar kan ook vrijkomen uit oude lekkende batterijen. Cadmium is persistent in het milieu. Er is een hoge overdracht van cadmium van bodem naar plant via de wortels. Daarnaast kunnen planten ook cadmium opnemen vanuit de lucht via de bladeren. Hoeveel cadmium wordt opgenomen door planten wordt bepaald door de pH in de bodem. Daarom wordt cadmium makkelijker opgenomen uit zandgrond dan uit kleigrond. In hoge concentraties is cadmium toxisch voor planten en verlaagt het de productiviteit van gewassen (Haider et al., 2021). Opname van cadmium via het veevoer kan in runderen, varkens en gevogelte leiden tot hogere cadmium concentraties, vooral in de lever en nieren. Daarnaast kan cadmium in eieren en melk terechtkomen (EFSA, 2009b).

Door de oorlog zou de concentratie van cadmium in granen en mais, en daardoor ook in dierlijke producten van dieren die dit graan en mais hebben gegeten, verhoogd kunnen zijn.

Arseen

Arseen wordt gebruikt bij het maken van munitie. Ongeveer 0,5 tot 1,5% van een kogel bestaat uit arseen in de vorm van metallisch arseen. Daarnaast kan arseen gebruikt worden als chemisch wapen. Arseen is persistent in het milieu, maar kan worden omgezet door bacteriën of reageren met zuurstof of andere moleculen in lucht, water, of bodem. Arseen in de lucht dat aan zeer kleine deeltjes gebonden is, kan dagen in de lucht blijven en grote afstanden afleggen. Hierdoor kunnen ook gebieden verder van het slagveld met arseen verontreinigd worden. In landbouwgrond is arseen grotendeels immobiel, daarom stapelt arseen zich op in de bovenste bodemlaag (ATSDR, 2007). De belangrijkste route van blootstelling van bladgroente is via atmosferische neerslag, terwijl in wortelgewassen zowel opname uit de bodem als atmosferische neerslag een rol speelt (EFSA, 2009a, ATSDR, 2007). Studies laten zien dat tarwe die groeit op grond die vervuild is met arseen hogere concentraties arseen bevatten (Zhao et al., 2010, Gorecki et al., 2017, Rasheed et al., 2018). Tijdens de eerste wereldoorlog is veel arseen gebruikt in chemische oorlogsvoering, het is niet bekend of dit ook in Oekraïne wordt toegepast. In Frankrijk is in 2017 arseen gemeten in de bodem van een gebied waar na de eerste wereldoorlog veel munitie is vernietigd. Daar is arseen teruggevonden in mais, tarwe en gerst en in melk en vlees van koeien die gevoerd werden met mais uit dit gebied (Gorecki et al., 2017). In Oekraïne kan arseen ook vrijkomen uit kogels, al is dit een kleine hoeveelheid. Het zou daarom mogelijk kunnen zijn dat arseenconcentraties in graan en mais uit Oekraïne verhoogd zijn.

Lood

Lood is het belangrijkste bestanddeel van munitie. Verder wordt lood gebruikt in oude batterijen, tanks en wapensystemen en brandstof voor vliegtuigen (UNEP, 2022). Lood is persistent in het milieu. Het loodgehalte in planten is grotendeels het resultaat van atmosferische depositie (EFSA, 2010). Ook nemen sommige planten kleine hoeveelheden lood op uit de bodem via hun wortels (ATSDR, 2020). Slechts ongeveer 0,005 tot 0,13% van het lood in de bodem is beschikbaar voor planten. De opname van lood door de wortels is passief, dus de opnamesnelheid is vrij laag. Op schietbanen is lood de meest voorkomende contaminant en wordt het ook teruggevonden in planten (Bai en Zhao, 2020, Hoch en Bruce, 2019, Sanderson et al., 2018). In Frankrijk is in 2017 lood gevonden in de bodem van een gebied waar na de eerste wereldoorlog veel munitie is vernietigd. In gewassen die in dit gebied worden verbouwd, is lood aangetroffen in mais, tarwe en gerst, waar lood normaal in de meeste granen onder het detectielimiet zit (EFSA, 2010, Gorecki et al., 2017). In melk en vlees (met uitzondering van orgaanvlees) van koeien die gevoed worden met mais verbouwd in dit gebied is geen lood teruggevonden (Gorecki et al., 2017).

Een verhoging van de hoeveelheid lood in granen en mais door de oorlog zou dus mogelijk kunnen zijn.

Beryllium

Beryllium wordt gebruikt in raket- en radarsystemen en gevechtsvliegtuigen. Als element breekt beryllium niet af in het milieu; het verandert alleen van vorm. Beryllium deeltjes in de atmosfeer bezinken of worden verwijderd door neerslag. Wanneer beryllium in water en bodem terechtkomt, zal het waarschijnlijk in een onoplosbare vorm in sediment en bodem worden vastgehouden en over het algemeen immobiel zijn. In planten wordt weinig beryllium opgenomen, omdat het daarvoor in oplosbare vorm aanwezig moet zijn. Als beryllium toch opgenomen wordt, blijft het vooral in de wortels, en slechts een klein deel komt in de bovengrondse delen van de plant. Verder worden beryllium en berylliumverbindingen slecht geabsorbeerd na orale blootstelling (ATSDR, 2023). Doordat beryllium slecht wordt opgenomen door planten, en als het opgenomen wordt beryllium vooral in

de wortels blijft, is het onwaarschijnlijk dat de concentratie beryllium in granen en maïs verhoogd is als gevolg van het conflict in de Oekraïne.

Kwik

Kwik wordt gebruikt in munitie en kan vrijkomen uit lekkende batterijen. Kwik dat op land of water terecht komt, zal (deels) verdampen, en kwik dat gebonden is aan deeltjes kan worden omgezet in het onoplosbare kwik sulfide. Kwik sulfide kan neerslaan of worden omgezet in meer vluchtige of oplosbare vormen, of het kan terecht komen in de voedselketen. Vluchtig kwik kan over een grote afstand worden getransporteerd voordat het neerslaat en zou dus ook op grotere afstand van het slagveld teruggevonden kunnen worden. Verschillende studies in tarwe laten zien dat kwik kan worden opgenomen met water via de wortels, maar het komt op deze manier alleen bij hoge concentraties in de bladeren. Ook kan kwik worden opgenomen uit de atmosfeer via de bladeren, waar het direct accumuleert (Beauford et al., 1977, Cavallini et al., 1990, ATSDR, 2022a). In de bodem bij schietbanen wordt kwik teruggevonden in concentraties die een ecologisch gevaar kunnen vormen (Bai and Zhao, 2020). Onder normale omstandigheden komt kwik in een lage concentratie voor in granen en graanproducten (EFSA, 2012). Het zou dus mogelijk kunnen zijn dat er extra kwik in granen en maïs belandt door de oorlog in Oekraïne.

Drijfgassen en explosieven

Di-butylftalaat

Di-butylftalaat wordt gebruikt als drijfgas in militair materieel en kan als weekmaker in verschillende militaire producten aanwezig zijn. In de lucht breekt niet-gebonden di-butylftalaat binnen enkele dagen af. Als het gebonden is aan stofdeeltjes kan het kilometers verderop pas op de bodem terecht komen. Di-butylftalaat heeft een lage mobiliteit in de bodem. In water en grond wordt di-butylftalaat afgebroken door bacteriën, wat tussen één dag en een maand kan duren afhankelijk van onder andere de temperatuur. In een koude omgeving wordt di-butylftalaat langzamer afgebroken dan in een warme omgeving. Er kan overdracht plaatsvinden van di-butylftalaat naar planten, al lijkt deze klein te zijn (de bioconcentratiefactor (de ratio van de concentraties in de plant ten opzichte van de bodem) voor maïs is kleiner dan 0,002) (ATSDR, 2001). Doordat di-butylftalaat slecht wordt opgenomen door planten en snel wordt afgebroken, wordt het onwaarschijnlijk geacht dat het aanwezig is in granen en maïs uit Oekraïne.

TNT

2,4,6-trinitrotolueen (TNT) is het belangrijkste onderdeel van munitie en wordt vaak in de bodem teruggevonden in actieve en voormalige conflictgebieden (UNEP, 2022). Grotere brokken TNT in de bodem of aan het bodemoppervlak kunnen vele jaren intact blijven. In kleinere hoeveelheden kan TNT in de bodem door fotolyse worden omgezet naar trinitrobenzeen en trinitrobenzaldehyde. Daarnaast wordt TNT in de bodem omgezet in onder andere 2-amino-4,6-dinitrotolueen (2-ADNT) en 4-amino-2,6-dinitrotolueen (4-ADNT), de belangrijkste metabolieten in planten, en diamines. De geschatte halfwaardetijd van TNT in de bodem varieert van 1 tot 6 maanden (ATSDR, 1995). Planten kunnen TNT opnemen uit water of grond, maar het grootste gedeelte (99% na 35 dagen blootstelling) blijft achter in de bodem (SERDP, 2012). Van het gedeelte TNT, of metabolieten, wat opgenomen is, blijft het meeste in de wortels, maar voor tarwe is bekend dat 4-5% naar de zaden wordt getransporteerd (Schneider et al., 1996, Sens et al., 1999). Er zijn geen aanwijzingen voor bioaccumulatie van TNT in dieren (US-EPA, 2017a). 2-ADNT en 4-ADNT zijn de belangrijkste metabolieten van TNT in planten. Er zijn meer metabolieten, maar daar is weinig over bekend (Sens et al., 1999). De verwachting is dat TNT niet in granen en maïs uit Oekraïne zal zitten. Het wordt wel mogelijk geacht dat er metabolieten van TNT worden teruggevonden.

DNT

Dinitrotolueen (DNT) is een nitro-aromatisch explosief, dat uit zes isomeren bestaat, waarvan 2,4-en 2,6-DNT de meest voorkomende zijn. DNT wordt gebruikt als drijfgas, is een modifier voor brandsnelheid en is een afbraakproduct van 2,4,6-TNT.

DNTs kunnen makkelijk in het grondwater terecht komen, omdat ze slecht adsorberen aan grond. Hier kan het lange tijd aanwezig blijven. DNT's worden uiteindelijk afgebroken naar verschillende stoffen door oxidatie, fotolyse en biotransformatie in water of bodem (ATSDR, 2016). DNT kan worden opgenomen door planten, maar wordt snel afgebroken tot verschillende metabolieten, waaronder 2-amino-4-nitrotoluene (2A4NT), 4-amino-2-nitrotoluene (4A2NT) en 2,4-diaminonitrotoluene (DAT) (Nisar et al., 2018). Deze metabolieten kunnen accumuleren in de wortels, maar de concentratie in de stam en zaden is laag (Dokken en Davis, 2011). In Frankrijk zijn in 2017 hoge concentraties van nitro-aromatische verbindingen gevonden in de bodem van een gebied waar veel munitie is vernietigd na de eerste wereldoorlog. Echter, 2,4-DNT, 2,6-DNT, TNT, 2-ADNT, 4-ADNT werden niet gemeten in tarwe, gerst en mais uit dit gebied, of in melk of vlees afkomstig van koeien gevoed met mais uit dit gebied (Gorecki et al., 2017).

DNT en de metabolieten van DNT zullen dus waarschijnlijk niet terug te vinden zijn in granen en mais uit Oekraïne.

Overige stoffen

PFAS

Per- en polyfluoroalkylstoffen (PFAS) bestaan uit een groep van duizenden stoffen, welke onder andere worden gebruikt in munitie. Er zijn aanwijzingen dat het afschieten van munitie op de grond en in de lucht kan leiden tot hogere depositie van PFAS, zowel lokaal als verder van de bron weg (Koban et al., 2023). De meeste PFAS zijn extreem persistent in het milieu. PFAS worden door wortels van planten uit de bodem opgenomen. Bij binding aan grond, neemt de opname af. Door de eigenschappen van de stof, wordt PFAS in de wortels beperkt getransporteerd naar de rest van de plant (Felizeter et al., 2021). PFAS met een langere ketenlengte hebben een groter potentieel om te bioaccumuleren in planten. Het is bekend dat bepaalde PFAS bioaccumuleerd in landbouwhuisdieren (EFSA, 2020a). Door de oorlog in Oekraïne zou de hoeveelheid PFAS in granen en mais kunnen toenemen.

Petroleum koolwaterstoffen (PHCs)

Petroleum koolwaterstoffen (petroleum hydrocarbons (PHCs)) zijn een groep van honderden complexe chemische stoffen die voorkomen in, of ontstaan uit, ruwe olie. Ruwe olie kan worden verwerkt tot benzine, diesel en vliegtuigbrandstof. Petroleum kan jaren in de bodem blijven en wordt gedurende die tijd langzaam afgebroken (ATSDR, 1999). Bij ruwe en geraffineerde olieproducten vindt verdamping plaats bij blootstelling aan lucht. Er vindt meer verdamping plaats in lichte ruwe en geraffineerde producten, zoals diesel en benzine, dan bij zware oliën (Hunt et al., 2019). Verder worden veel PHCs door microben afgebroken, wat in sommige gevallen de opname door planten bevordert (ATSDR, 1999). De biologische beschikbaarheid van PHC mengsels neemt snel af na introductie in het milieu, door bijvoorbeeld binding aan organische bodemmaterialen. Er zijn aanwijzingen dat verschillende plantensoorten, waaronder maïs, PHCs uit verontreinigde grond kunnen opnemen (Hunt et al., 2019), mogelijk gebeurt dit alleen in kleine hoeveelheden (Van Epps, 2006). Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs), een soort PHC, zijn hydrofobisch en accumuleren daarom in de wortels. Bij andere PHCs verschilt het per plantsoort waar PHC accumuleert. Benzeen en andere vluchtige PHCs verdampen snel vanuit de bladeren, en zullen dus in lagere concentraties aanwezig zijn. Ook kunnen PHCs in de plant worden afgebroken en omgezet tot CO₂ en water (Hunt et al., 2019).

Het is niet de verwachting dat er verhoogde concentraties PHCs in graan en mais aanwezig zijn als gevolg van de oorlog in Oekraïne, omdat de meeste PHCs snel worden afgebroken in het milieu en als ze al worden opgenomen door planten, dit slechts in kleine hoeveelheden is en ook in de plant verdamping en afbraak plaatsvindt.

Dioxines

Dioxines kunnen onder andere vrijkomen bepaalde bij branden. Zodra dioxines (Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/F's)) in het milieu terechtkomen, hechten ze zich aan bodem- en sedimentdeeltjes. Dioxines zijn zeer stabiel en immobiel in bodem. Wel kan er fotochemische afbraak plaatsvinden, maar dit gebeurt alleen in de delen die worden blootgesteld aan zonlicht. Mogelijk vindt er verdere biologische of chemische afbraak plaats, maar hier is niks over bekend of is zeer traag. Door de hydrofobe eigenschappen van dioxines ($\log K_{ow} > 6$) vindt er ook geen uitspoeling plaats door regenwater, wel kan er verdamping plaatsvinden. In de bodem zijn halfwaardetijden van één tot enkele tientallen jaren gerapporteerd (De Jong et al., 1990). Dioxines hebben lipofiele eigenschappen en accumuleren daardoor in producten van dierlijke oorsprong, zoals melk, vlees en eieren. In plantaardige producten worden normaal slechts lage concentraties van dioxines teruggevonden. Neerslag is de belangrijkste bron van verontreiniging van planten, en deze dioxines worden vrijwel niet door de planten opgenomen. Ook nemen planten vrijwel geen dioxines uit de bodem op (Inserm, 2000). Dioxinegehalten in graan en mais zouden kunnen toenemen als gevolg van branden tijdens de oorlog. Dit zou vooral een probleem zijn tijdens de oorlog en in de buurt van conflictgebieden, omdat dioxines op planten vrijwel alleen voorkomen door neerslag. Kleinere hoeveelheden dioxines zouden ook later nog op planten terecht kunnen komen door opwaaiend stof.

2.2 Fysische vorm, mogelijke verspreiding en risico's radioactieve stoffen

Verarmd uranium in munitie en bepantsering

Verarmd uranium komt voor in munitie en bepantsering. Uranium is een zogenaamd zwaar metaal. Als munitie met verarmd uranium ingezet wordt, of als bepantsering met verarmd uranium wordt geraakt wordt door munitie kan de stof als aerosol vrijkomen en zich via de lucht verspreiden. Het grootste risico is dan inhalatie in de directe omgeving. Daarnaast kunnen de aerosolen op planten deponeren waardoor deze besmet kunnen raken. Uranium wordt niet heel efficiënt via de grond in planten opgenomen. Toch kan uranium wel in planten accumuleren, vooral in bladplanten. Planten die groeien in de omgeving van uraniumafval kunnen tot acht keer zoveel uranium opslaan als planten in een normale omgeving (Anke et al., 2009). Vruchten en granen slaan minder uranium op. Bij het meten van producten bleken suiker-, zetmeel- en vetrijke voedingsmiddelen weinig uranium te bevatten (fruit, zaden, bloem), terwijl bladgroenten, thee en kruiden meer uranium kunnen bevatten. Ook in dierlijke producten zit normaliter weinig uranium, al kunnen eieren relatief veel uranium accumuleren (Anke et al., 2009).

Na de Balkanoorlog is de mate van milieuverontreiniging met verarmd uranium in voedsel, water en grond door meerdere partijen, waaronder de Verenigde Naties, onderzocht. Daaruit is gebleken dat de verontreiniging over het algemeen beperkt was (Carvalho, 2010, UNEP, 2001). Er werden alleen zeer lokale verhogingen verarmd uranium gemeten die zich beperkten tot een straal van 10-50 m rondom het punt van inslag/vrijkomen. In het rapport van de Verenigde Naties zijn de risico's beoordeeld, en is geconcludeerd dat de risico's op besmetting van grondwater en planten niet significant is. Zelfs als je grammen van de besmette grond oraal inneemt zal de stralingsblootstelling aan verarmd uranium niet significant zijn. De risico's van de toxiciteit van uranium als zwaar metaal zouden wel significant kunnen zijn (UNEP, 2001).

Co-60, Cs-137, Kr-85 en Ra-226 in radars

Co-60, Cs-137, Kr-85, Ra-226 zijn radioactieve stoffen die in de elektronenbuizen van radars gebruikt worden om de efficiëntie te vergroten. Hierbij worden kleine hoeveelheden gebruikt. In het geval van Cs-137 gaat het bijvoorbeeld om maximaal ca. 10.000 Bq per elektronenbuis. Bij correct gebruik van de radars is het zeer onwaarschijnlijk deze radionucliden in het milieu terecht komen. Mochten de radionucliden toch vrijkomen in het milieu zullen ze niet leiden tot een significante verhoging van de stralingsdosis van eventueel blootgestelde mensen. Kr-85 is bovendien een edelgas, en zal bij vrijkomen direct in de lucht verspreiden, nergens aan binden of op neerslaan, en er is dus ook geen risico op besmetting van voedsel of diervoeders t.g.v. Kr-85.

Ra-226, H-3, Pm-147 in luminescerende verf/objecten

In zelfluminescerende verf die wordt gebruikt in bijvoorbeeld aanwijsinstrumenten voor militaire toepassingen (bijvoorbeeld kompassen, snelheidsmeters, etc.) kunnen radioactieve stoffen zitten. De eerste zelfluminescerende verven bevatten Ra-226. Omdat Ra-226 een langlevend radionuclide is (na 1600 jaar is pas de helft vervallen) met hoge toxiciteit, is er eind jaren 60 van de vorige eeuw geprobeerd over te stappen op een andere radioactieve stof, namelijk Pm-147. Dit bleek weinig succesvol vanwege de lagere energie van de straling en omdat dit een kortlevend radionuclide is (na 2,6 jaar is de helft al vervallen). Het Pm-147, uit de in de jaren 60 geproduceerde luminescerende verf, is inmiddels volledig vervallen, dus de kans dat dit aangetroffen wordt in Oekraïne is miniem. Op dit moment wordt H-3 veel gebruikt in zelfluminescerende objecten. H-3 heeft een hele lage radiotoxiciteit en zit qua levensduur tussen Pm-147 en Ra-226 in. Als H-3 vrijkomt in het milieu is het heel mobiel en diffundeert het zeer snel in de grond en water. Daarnaast is de radiotoxiciteit laag, waardoor de kans op effecten bij eventuele inname zeer klein is (Clark, 1999).

Th-232 coating op optische elementen

In optische elementen zoals lenzen en spiegels wordt Th-232 als coating toegepast om de optische eigenschappen te verbeteren. Als de optische elementen breken kunnen scherven met daarop Th-232 in het milieu komen, maar daar komen geen radioactieve stoffen in verspreidbare vorm bij vrij. Dit geeft echter geen direct stralingsrisico voor voedsel of diervoeders. Ook als de optische elementen betrokken zijn in een brand is het onwaarschijnlijk dat de Th-232 in verspreidbare vorm in de lucht terechtkomt. De kans op besmetting van voedsel of diervoeders t.g.v. Th-232 is dus zeer klein (JSP, 2020).

Ni-63, Am-241 in detectoren voor chemische middelen

De radioactieve stoffen Ni-63 en Am-241 worden gebruikt in detectoren voor chemische middelen, om de te meten monsters te ioniseren. De radioactieve stoffen zitten in een gesloten bron, waardoor de kans op verspreiding in het milieu klein is. Er is geen reden om aan te nemen dat de bron kapot zal gaan. Het gebruik van de radioactieve stoffen in de detectoren is vergelijkbaar met die van radioactieve stoffen in rookmelders, hoewel de hoeveelheid daarin een stuk lager is. Volgens de literatuur varieert de activiteit in de detectoren tussen de ca. 1 en 100 MBq (European Commission, 2010; Safaei, et al. 2019; Valco, 2018).

Detectie van radioactieve stoffen

De meeste van de hierboven genoemde radioactieve stoffen zijn te detecteren met behulp van gammaspectrometrie (zie tekstbox 2). De enige uitzonderingen hierop zijn de bèta-stralers H-3 en Ni-63, maar de verwachting is dat het eventueel vrijkomen van H-3 een zeer gering gezondheidseffect geeft. Omdat Ni-63 weinig gebruikt wordt is de kans op verspreiding in het milieu klein. Een mogelijk alternatief voor gammaspectrometrie is ICP-MS.

Tekstbox 2

Gammaspectrometrie is een meettechniek die eenvoudig in te zetten is en waar weinig tot geen monstervoorbewerking voor nodig is. Met deze meettechniek wordt een spectrum opgenomen waarin bij specifieke energieën pieken te zien zijn, die direct gerelateerd kunnen worden aan de radioactieve stof. Alle in een monster voorkomende gammastralende radioactieve stoffen worden tegelijkertijd gezien, geïdentificeerd, en gekwantificeerd. Als een monster radionucliden bevat op een niveau in de buurt van de maximaal toegestane grenzen (600 Bq/kg aan kunstmatige radionucliden) valt een dergelijk monster meteen op ten opzichte van de reguliere voedsel- en diervoedermonsters. Dit is dus een eenvoudige en snelle manier om radioactieve stoffen in voedsel en diervoeders te meten. Het is wel van belang dat de bibliotheek waarmee de spectra geanalyseerd worden de juiste radionucliden bevat zodat de pieken in het spectrum aan de radioactieve stoffen gekoppeld kunnen worden.

2.3 Indirecte gevolgen

Indirecte gevolgen van de oorlog op mogelijke chemische en radioactieve risico's voor de volksgezondheid zijn niet meegenomen in deze beoordeling. Bij indirecte gevolgen kan worden gedacht aan de volgende situaties (UNEP, 2022):

Blootstelling vanuit de chemische industrie

De chemische industrie omvat 9-10% van de industriële productie van Oekraïne. Er worden onder andere grote hoeveelheden chlorine en ammonia geproduceerd. Deze stoffen zouden vrij kunnen komen door bijvoorbeeld bombardementen op fabrieken, of door schade aan pijplijnen (bijvoorbeeld de ammonium pijplijn tussen Tolyatti (Rusland) en Odessa (Oekraïne)). Er zijn al verschillende chemische incidenten gemeld in Oekraïne.

Pesticiden

Oekraïne is één van de grootste gebruikers van pesticiden ter wereld (rond de 125 000 ton per jaar). Deze worden geïmporteerd (ongeveer 100 000 ton) of lokaal geproduceerd. Een deel van deze pesticiden (8230 ton in 2020) is aan het begin van de oorlog niet gebruikt. Oekraïne heeft geen goede technologieën of de capaciteit om een teveel aan verouderde pesticiden te verwerken of op te ruimen. Door incidenten kunnen deze pesticiden in het milieu terecht komen.

Daarnaast is door de oorlog de import van pesticiden moeilijker. Dit gemis kan niet worden opgevangen door lokale productie. Daarom is niet uit te sluiten dat verouderde of geen pesticiden worden gebruikt ter bescherming van gewassen. Dit zou kunnen leiden tot onvoldoende bescherming en mogelijke blootstelling aan schimmels en hun metabolieten.

Chemische wapens

Het is niet bekend of er chemische wapens zijn gebruikt in het conflict in Oekraïne. Het is mogelijk dat er al fosfor wapens zijn gebruikt, maar dit is lastig vast te stellen. Ook is niet uit te sluiten dat er in de toekomst chemische wapens worden gebruikt.

Stoffen die vrijkomen bij beschadigingen aan gebouwen

Door bombardementen en beschietingen worden vele gebouwen vernietigd. Ook hierbij kunnen gevaarlijke stoffen, zoals asbest, vrijkomen.

2.4 Blootstelling

Het is lastig te bepalen welke hoeveelheden van bovengenoemde stoffen in bepaalde gebieden zijn vrijgekomen. Dit is afhankelijk van diverse factoren. Allereerst is het onbekend welke wapens zijn of worden ingezet in de oorlog in de Oekraïne. Daarnaast is het ook

belangrijk hoe de munitie gebruikt is. De samenwerking tussen noordelijke en Baltische defensiegebieden (Nordic-Baltic Defence Estates (NBDE)- cooperation) hebben onderzoek gedaan naar de milieueffecten van zware wapens (Alfred et al., 2019). Hieruit blijkt dat de mate waarin munitie ontploft invloed heeft op de mate van vervuiling, en als de munitie helemaal niet ontploft, dit een langdurige bron van vervuiling kan zijn. Bijvoorbeeld, als mortier of howitzer projectielen gevuld met TNT volledig ontploffen, vervuilen ze, de omgeving niet. Als deze projectielen echter niet volledig ontploffen, blijven er veel explosieve stoffen achter. Ongeveer 10% van alle munitie (met uitzondering van klein kaliber) functioneert niet goed en hiervan blijft een deel achter. Sommige munitie wordt ook expres achtergelaten, zoals mijnen en valstrikken. In de loop der tijd kunnen de mijnen verweren en kan TNT uittreden. Daarnaast spelen weercondities een belangrijke rol. Een natte omgeving versnelt bij veel stoffen het transport in de bodem, terwijl een droog klimaat deze vertraagt. Verder binden contaminanten eerder aan een kleibodem, dan aan zandgrond (Alfred et al., 2019).

Drijfgassen kunnen vrijkomen bij het afvuren van een kogel, of bij onvolledige verbranding van overtollige drijfgassen. Hoeveel drijfgas er vrijkomt bij het afvuren van een kogel hangt af van de efficiëntie van het wapensysteem en het soort drijfgas. Grotere wapensystemen zijn meestal efficiënter dan kleinere, en ruwe wapensystemen, zoals howitzers, zijn efficiënter dan wapensystemen met een gladde loop, zoals mortieren. Op een natte of besneeuwde grond kan tot 20% van het drijfgas achterblijven na verbranding (Alfred et al., 2019).

Ook is het van belang uit welk deel van Oekraïne het graan afkomstig is. Dicht bij het front wordt op het moment vrijwel geen commerciële landbouw uitgevoerd, door problemen met personeel, logistieke aanvoer van brandstof, zaden en kunstmest en de instandhouding van landbouwapparatuur (bijvoorbeeld tractoren en waterpompen). Het lijkt dus onwaarschijnlijk dat er op dit moment graan en mais uit deze gebieden wordt geïmporteerd. Bij verplaatsing van het front of beëindiging van de oorlog kan er in de toekomst weer commerciële landbouw plaatsvinden in deze gebieden. De locaties van de militaire posities zijn bekend en deze informatie kan gebruikt worden voor het opsporen van vervuilde locaties¹². De locaties van mijnevelden zijn minder makkelijk te achterhalen zijn, omdat deze geheim zijn. Ook zijn na de doorbraak van de Kachovka-dam mijnen weggespoeld en op andere locaties terecht gekomen. De lokale bevolking weet vaak echter wel waar mijnen liggen en zullen waarschijnlijk in dit gebied geen landbouw uitoefenen (persoonlijke communicatie Rijkswaterstaat).

Achtergelaten wapens belanden meestal onder de grond en het is daardoor lastig deze op te ruimen. Hierdoor kunnen ook jaren na de oorlog nog stoffen vrijkomen (UNEP, 2022).

De blootstelling aan bovengenoemde stoffen is van vele factoren afhankelijk. Deze zijn op het moment niet bekend. Hierdoor is het niet mogelijk te bepalen hoe hoog de blootstelling is.

Conclusies

Chemische stoffen

Vanwege de ernstige, langdurige en onherstelbare effecten van carcinogene, mutagene en reprotoxische (CMR) stoffen worden deze stoffen als het grootste nieuwe of toegenomen chemische gevaar gezien als gevolg van de oorlog. CMR stoffen die door het conflict in Oekraïne verhoogd in of op eetbare delen van planten aanwezig kunnen zijn, zijn:

¹² <https://www.bbc.com/future/article/20230221-the-toxic-legacy-of-the-ukraine-war>

- Uranium (metaal)
- Cadmium
- Lood
- PFAS
- Dioxines
- Kwik
- Arseen

In welke mate landbouwgebieden in Oekraïne blootgesteld worden aan deze stoffen/stofgroepen is onzeker (zie 2.4). Aangezien er geen metingen zijn verricht in deze gebieden, is het ook niet mogelijk om eventuele risico's te berekenen. Wel zou er bij importcontroles extra gemonitord kunnen worden op bovenstaande stoffen/stofgroepen.

Radioactieve stoffen

Van de radioactieve stoffen die in Oekraïne in militaire toepassingen gebruikt worden geeft verarmd uranium gebruikt in munitie en bepantsering de grootste kans op contaminatie van voedsel of diervoeders. Op basis van gegevens van de VN missie in de Balkan geeft gebruik van verarmd uranium in munitie echter alleen zeer lokale besmettingen en is het stralingsrisico niet significant. Het grootste stralingsrisico is door inhalatie van radioactieve stoffen door mensen in de directe omgeving van waar munitie met verarmd uranium is afgegaan.

De meeste radioactieve stoffen uit militaire toepassingen zijn gemakkelijk te detecteren. Voor de zekerheid kan er ondanks de kleine kans op besmetting toch gekozen worden om (extra) op deze radioactieve stoffen te monitoren.

Dankwoord

Hartelijk dank aan het Nederlandse ministerie van defensie voor de aanvullende informatie over soorten munitie en mogelijke chemische stoffen die achter kunnen blijven in een (voormalig) oorlogsgebied en voor de verwijzingen naar publicaties over blootstelling.

Referenties

- Alfred, W., Below, A., Bjørnstad, H., Bolstad, M., Brochu, S., Christensen, M., Clark-Sestak, S., Garber, R., Heikkilä, S., Hourula, T., Jørgensen, T., Kalajo, R., Kajander, S., Koponen, K., Kristensen, C., Larsson, B., De Lasson, P., Mygind, M., Pasanen, T., . . . Warsta, M (2019). Environmental protection of heavy weapons ranges: technical and practical solutions.
[https://www.defmin.fi/files/4739/EPHW_FINAL_\(003\).pdf](https://www.defmin.fi/files/4739/EPHW_FINAL_(003).pdf)
- American Cancer Society (ACS) (2023). Benzene and Cancer Risk.
<https://www.cancer.org/cancer/risk-prevention/chemicals/benzene.html>
- Anke M., Seeber O., Müller R., Schäfer U., Zerull J (2009). Uranium transfer in the food chain from soil to plants, animals and man. *Geochemistry* 69:75-90.
<https://doi.org/10.1016/j.chemer.2007.12.001>
- APHC, US Army Public Health Center (2020). Tech Guide 238 Radiological Sources of potential exposure and/or contamination.
https://phc.amedd.army.mil/PHC%20Resource%20Library/TG238_RadSourcesofPotentialExposure.PDF
- APHC, US Army Public Health Center. Factsheet 26-019-0418 Radioluminescent devices.
https://phc.amedd.army.mil/PHC%20Resource%20Library/RadioluminescentDevices_FS_26-019-0418.pdf
- ATSDR (1995). Toxicological profile for 2,4,6-Trinitrotoluene (TNT). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
<https://www.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=677&tid=125>

- ATSDR (1999). Toxicological profile for Total Petroleum Hydrocarbons (TPH). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp123.pdf>
- ATSDR (2001). Toxicological profile for Di-n-butyl Phthalate. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp135-p.pdf>
- ATSDR (2007). Toxicological profile for Arsenic. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=22&tid=3>
- ATSDR (2012). Toxicological profile for Chromium. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=62&tid=17>
- ATSDR (2013). Toxicological profile for Uranium. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=440&tid=77>
- ATSDR (2016). Toxicological profile for dinitrotoluenes. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=847&tid=165>
- ATSDR (2020). Toxicological profile for Lead. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=96&tid=22>
- ATSDR (2022a). Toxicological Profile for Mercury (Draft for Public Comment). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=115&tid=24>
- ATSDR (2022b). ToxGuide for Beryllium. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-4.pdf>
- ATSDR (2023) Toxicological profile for Beryllium. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=1441&tid=33>
- Bai J, Zhao X (2020). Ecological and Human Health Risks of Heavy Metals in Shooting Range Soils: A Meta Assessment from China. *Toxics* 8:32. <https://doi.org/10.3390/toxics8020032>
- Beauford W, Barber J, Barringer AR (1977). Uptake and distribution of mercury within higher plants. *Physiol Plant* 39:261-265. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1977.tb01880.x>
- Carvalho FP, Oliveira JM (2010). Uranium isotopes in the Balkan's environment and foods following the use of depleted uranium in the war. *Environ Int* 36: 352-360. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.02.003>
- Cavallini A, Natali L, Durante M, Maserti B (1999). Mercury uptake, distribution and DNA affinity in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) plants. *Sci Total Environ* 243/244: 119-127. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00367-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00367-8)
- Citizens for Safe Water around Badger (CSWAB) (2013). Hexavalent Chromium Contamination at U.S. Army Ammunition Facilities. <https://cswab.org/wp-content/uploads/2013/01/Hexavalent-Chromium.Inventory-of-Army-Ammunition-Plants1.pdf#:~:text=At%20the%20U.S.%20Army%20Ammunition%20facilities%20surveyed%20for,arms%20munitions%2C%20and%20open%20burning%20Fope n%20detonation%20of%20explosives.>
- Clark SM (1999). Radioactive wastes in a conventional military environment. Paper presented at the RTO SAS Symposium on "Approaches to the Implementation of Environment Pollution Prevention Technologies at Military Bases", held in Budapest, Hungary, 5-7 May 1999, and published in RTO MP-39 <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADP010598.pdf>
- Dokken KM, Davis LC (2011). Infrared monitoring of dinitrotoluenes in sunflower and maize roots. *J Environ Quality* 40:719-30. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0143>

- EFSA (2009a). Scientific opinion on arsenic in food. EFSA Journal 7:1351.
<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1351>
- EFSA (2009b). Cadmium in food - Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. EFSA Journal 980:1-139.
<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2009.980>
- EFSA (2009c). Uranium in foodstuffs, in particular mineral water. EFSA Journal 1018: 1-59.
<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2009.1018>
- EFSA (2010). Scientific Opinion on Lead in Food. EFSA Journal 2010; 8(4):1570.
<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1570>
- EFSA (2012). Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. EFSA Journal, 2012;10:2985.
<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2985>
- EFSA (2014). Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of chromium in food and drinking water. EFSA Journal 2014;12(3):3595.
<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/3595>
- EFSA (2015). Scientific statement on the health-based guidance values for dioxines and dioxin-like PCBs. EFSA Journal 2015;13(5):4124.
<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/4124>
- EFSA (2018). Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food. EFSA Journal 2018;16(11): 5333.
<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/5333>
- EFSA (2020a). Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. EFSA Journal 2020;18(9):6223.
<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2020.6223>
- EFSA (2020b). Update of the risk assessment of nickel in food and drinking water. EFSA Journal 2020; 18(11):6268.
<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6268>
- Environmental Protection Agency (EPA) (2012). Site characterization for munitions constituents.
https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/site_characterization_for_munitions_constituents.pdf
- European Commission, Directorate-General for Energy Directorate D- Nuclear Energy Unit D4- Radiation protection (2010). Radiation protection No. 157 Comparative study of EC and IAEA Guidance on exemption and clearance levels.
https://energy.ec.europa.eu/system/files/2014-11/157_0.pdf
- Felizeter S, Jüriling H, Kotthoff M, De Voogt P, McLachlan S (2021). Uptake of perfluorinated alkyl acids by crops: results from a field study. Environ Sci: Processes Impacts 23:1158-70. <https://doi.org/10.1039/D1EM00166C>
- Fettaka H, & Lefebvre M (2015). Ethylene glycol Dinitrate (EGDN) from Commercial Precursors, Physicochemical and Detonation Characterization. Central European Journal of Energetic Materials 12:287-305.
- Gebka K, Beldowski J, Beldowska M (2016). The impact of military activities on the concentration of mercury in soils of military training grounds and marine sediments. Environ Sci Pollut Res Int, 23:23103-13.
<https://doi.org/10.1007/s11356-016-7436-0>
- Gorecki S, Nessler F, Hubé D, Mullot JU, Vasseur P, Marchioni E, Camel V, Noël L, Le Bizec B, Guérin T, Feidt C, Archer X, Mahe A, Rivière G (2017). Human health risks related to the consumption of foodstuffs of plant and animal origin produced on a site polluted by chemical munitions of the First World War. Sci Total Environ, 599-600:314-23. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.213>
- Koban LA & Pfluger AR (2023). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) exposure through munitions in the Russia-Ukraine conflict. Integr Environ Assess Manag, 19:376-81. <https://doi.org/10.1002/ieam.4672>
- Kowalczyk E, Givélet L, Amlund H, Sloth JJ, Hansen M (2022). Risk assessment of rare earth elements, antimony, barium, boron, lithium, tellurium, thallium and vanadium in teas. EFSA J, 20(Suppl 1), e200410.
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.e200410>

- The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (1985, 2014). Dinitrotoluenes (DNT). Retrieved 15-09 from <https://www.cdc.gov/niosh/docs/85-109/default.html#:~:text=Although%20the%20primary%20routes%20of%20worker%20exposure%20are,the%20liver%20for%20the%20initial%20stage%20of%20metabolism.>
- National research council (NRC) (1997a). Hexachloroethane smoke. In Toxicity of military smokes and obscurants (Vol. 1, pp. 127 - 160). National Academic Press. <https://nap.nationalacademies.org/read/5582/chapter/7>
- National research council (NRC) (1997b). Red Phosphorous Smoke. In Toxicity of Military Smokes and Obscurants (Vol. 1, pp. 98 - 126). The National Academies Press. <https://nap.nationalacademies.org/read/5582/chapter/6>
- Pozniak S (2019). Chernozems of Ukraine: Past, present and future perspectives. Soil Science Annual, 70:193-7. <https://doi.org/10.2478/ssa-2019-0017>
- Rasheed H, Kay P, Slack R, Gong YY (2018). Arsenic species in wheat, raw and cooked rice: Exposure and associated health implications. Sci Total Environ 634:366-73. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.339>
- Sanderson, WT, Leonard S, Ott D, Fuortes L, Field W (2008). Beryllium surface levels in a military ammunition plant. J Occup Environ Hyg 5:475-81. <https://doi.org/10.1080/15459620802131408>
- U.S. Army Public Health Center (USAPHC) (2020). Wildlife toxicity assessment for RDX Breakdown products MNX, DNX, TNX, NDAB & MEDINA. https://phc.amedd.army.mil/PHC%20Resource%20Library/WTA_RDXmetabolites.pdf
- The US Army Tank Automotive Research, Development and Engineering Center (TARDEC) (1996). Technical report propylene glycol antifreeze study. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA310863.pdf>
- Wang J, Zhang X, Li Y, Liu Y, Tao L (2021). Exposure to Dibutyl Phthalate and Reproductive-Related Outcomes in Animal Models: Evidence From Rodents Study. Front Physiol, 12:684532. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.684532>
- Williams OH & Rintoul-Hynes NLJ (2022). Legacy of war: Pedogenesis divergence and heavy metal contamination on the WWI front line a century after battle. Eur J Soil Sci, 73, Article e13297. <https://doi.org/10.1111/ejss.13297>
- Zhao F, Stroud JL, Eagling T, Dunham SJ, McGrath SP, Shewry PR (2010). Accumulation, Distribution, and Speciation of Arsenic in Wheat Grain. Environ Sci Technol 44:5464-8. <https://doi.org/10.1021/es100765g>

Bijlagen

Bijlage I; Overzicht zorgwekkende stoffen

Mogelijke chemische stoffen die als gevolg van oorlogsactiviteit verhoogd aanwezig kunnen zijn

Stof (groep) nummer		Stof (groep)	Cas nr.	Aanvullende stof-soort info	Op welke manier gebruikt in militaire situaties?	Specifieke redenen tot zorg ECHA	Hazard classificatie & labelling	IARC* groep 1?	In geval van CMR, is toxiciteit oraal?	EFSA gezondheidskundige grenswaarde	GESTIS gezondheidskundige grenswaarde (mg/m ³ per 8 uur)	Genotoxisch?	Referentie(s)
Metalen, metalloïden en reactieproducten													
1	Ijzer	7439-89-6	Overgangsmetaal (zware metalen groep)	In kogels	-	-	Enkel via beroepsblootstelling			0.8 mg/kg lg per dag (MTDI*/ADI*voor consumenten, 2013-2015)	-	Geen data (2015)	Alfred et al., 2019
2	Aluminium	7429-90-5	Hoofdgroepmetaal	In kogels, granaten	-	-	Alleen tijdens de productie			0.14 mg/kg lg per dag (ADI*/ ARfD* voor consumenten, 2018)	0.5 - 10	Geen data (2018)	Alfred et al., 2019
3	Koper	7440-50-8	Overgangsmetaal	Wordt gebruikt in machinegeweren om onder andere de geweerloop te beschermen tijdens het afvuren van kogels. Ook in kogel-hulzen.	Onder beoordeling als hormoonverstorend	-	Nee			5 mg/dag & 0.07 mg/kg lg per dag (ADI* voor volwassenen, 2023)	0.1 (NL, Koper, stof en nevel)	Geen data (2015)	Alfred et al., 2019
4	Chroom	7440-47-3	Overgangsmetaal (zware metalen groep)	In munitie	-	-	Nee (chroom III)			0.3 mg/kg lg per dag (TDI* voor volwassenen, 2014, met name gebaseerd op chroom III)	0.5 (NL)	Geen data (2020) (Chroom III)	Alfred et al., 2019
5	Chroom VI	18540-29-9	Overgangsmetaal (zware metalen groep)	Afkomstig uit verf van tanks	De meerderheid van de gegevensindieners bij ECHA zijn het	-	Ja	Ja	-	0.001 (NL)	Geen data - Positief (2014)	CSWAB, 2013, EFSA, 2014	

					erover eens dat deze stof carcinogeen is en een huid allergen							
6	Wolfram	7440-33-7	Overgangsmetaal (zware metalen groep)		-	-	Nee		-	1 - 5 (Wolfram en zijn verbindingen, oplosbaar)	Geen data	Alfred et al., 2019
7	Uranium (verarmd)	7440-61-1	Actinide (radioactief metaal)	Gebruikt in munitie, als tegengewicht op helikopterrotors en besturingsopervlakken, als pantser	-	H300, H330, H373	Ja	Ja	0.6 g/kg lg per dag (TDI* voor consumenten, 2009)	0.05 - 0.2 (Uranium en zijn verbindingen, oplosbaar)	Positief (2009)	Alfred et al., 2019, EFSA, 2009c
8	Zink	7440-66-6	Overgangsmetaal (zware metalen groep)	Afkomstig uit <i>tracer rounds</i> die in machine geweren worden gebruikt	-	-	Nee		25 mg per dag (UL* volwassen consumenten, 2017)	0.1 (Zink en zijn verbindingen, anorganisch, inadembare aerosol)	Negatief (2017)	Gorecki et al., 2017
9	Nikkel	7440-02-0	Overgangsmetaal (zware metalen groep)	In de coating van sommige loden hagel	Huid allergen en vermoedelijk carcinogeen.	H317, H351	Ja, maar alleen voor nickel verbindingen	Nee, wel CMR via inhalatie.	13 µg/kg lg per dag (TDI* voor consumenten, 2020)	0.006 - 3	Positief (2020)	EPA, 2012, EFSA, 2020b
10	Cadmium	7440-43-9	Overgangsmetaal (zware metalen groep)	Wordt gebruikt voor corrosiebescherming in wapensystemen en zit in oude batterijen	Carcinogeen, vermoedelijk mutageen en vermoedelijk schadelijk voor de reproductie	H330, H341, H350, H361fd, H372	Ja	Ja,	2.5 µg/kg lg per week (TWI* voor consumenten, 2011)	0.001 - 0.004	Geen data (2011)	EFSA 2009b, Gorecki et al., 2017
11	Magnesium	7439-95-4	Aardalkalmetaal	Afkomstig uit <i>tracer rounds</i> die in machine geweren worden gebruikt	-	-	Nee		250 mg per dag (UL voor consumenten, 2018)	-	Geen data (2018)	EPA, 2012

12	Strontium	7440-24-6	Aardalkalimetalaal	Afkomstig uit <i>tracer rounds</i> die in machine geweren worden gebruikt	De meerderheid van de gegevensindieners bij ECHA zijn het erover eens dat de stof een effect heeft op de reproductie, maar dit komt waarschijnlijk door onzuiverheden in de geteste monsters.	-	Ja, alleen strontium-90		-	-	Geen data	EPA, 2012
13	Antimoon	7440-36-0	Metalloïde	In munitie bijvoorbeeld kogels	De meerderheid van de gegevensindieners bij ECHA zijn het erover eens dat de stof een effect heeft op de reproductie, maar dit komt waarschijnlijk door onzuiverheden in de geteste monsters.	-	Nee		6 µg/kg lg per dag (TDI*, 2003)	0.01 - 0.5 (Antimoon en zijn antimoonverbindingen (behalve stibine))	Geen data	EPA, 2012, Kowalczyk et al., 2022
14	Arseen	7440-38-2	Metalloïde	In munitie	-	H301, H331	Ja	Ja	Tussen 0.3 en 8 µg/kg lg per dag (BMDL01*, 2009)	0.0028 (NL)	Niet toepasbaar (2005)	EFSA, 2009a, Gorecki et al., 2017
15	Lood	7439-92-1	Hoofdgroepmetaal	Gebruikt in munitie zoals kogels en zit in oude batterijen	Toxisch voor reproductie en volgens sommige gegevensindieners carcinogeen	H360 FD, H362	Nee	Ja	25 µg/kg lg per week (TWI* voor consumenten, 2005)	0.15 (NL)	Ambigu (2010)	Alfred et al., 2019, Gorecki et al., 2017, EFSA, 2010

16	Beryllium	7440-41-7	Aardalkalmetaal	In raket- en radarsystemen en gevechtsvliegtuigen	Carcinogeen en huid allergen	H301, H315, H317, H319, H330, H335, H350i, H372	Ja	Ja, volgens IARC.	-	0.00002 - 0.002	Geen data	Alfred et al., 2019, ATSDR, 2022b, Sanderson et al., 2008
17	Kwik	7439-97-6	Overgangsmetaal (zware metalen groep)	Gebruikt in munitie in slaghoedjes om ontploffingen te initiëren.	Heeft een effect op de reproductie	H331, H373	Nee	Ja	4 µg/kg lg per week (TWI*, voor consumenten, 2012)	0.01 - 0.025	Niet toepasbaar (2008)	EFSA, 2012, Gebka et al., 2016
18	Methylkwik	22967-92-6	Organometalisch kation	Degradatieproduct van kwik	-	-	Nee		1,3 µg/kg lg per week (TWI*, voor consumenten, 2012)	-	Ambigu (2012)	EFSA, 2012, Gebka et al., 2016
Pyrotechniek & rookontwikkelaars												
19	Hexachloroethaan	67-72-1	Organochloorverbinding	Gebruikt bij rookontwikkeling	-	-	Nee		-	5 - 10	Geen data	Alfred et al., 2019, NRC, 1997a
20	Anthraceen	120-12-7	Polycyclische aromatische koolwaterstof (PAH)	Onderdeel van roet	-	-	Nee		-	-	Geen data	Alfred et al., 2019
21	Wit fosfor	12185-10-3	Niet-metaal	Gebruikt bij rookontwikkeling	-	H300, H314, H330	Nee		-	0.01 - 0.3	Geen data	Alfred et al., 2019
22	Rood fosfor	7723-14-0	Niet-metaal	Gebruikt bij rookontwikkeling	-	-	Nee		-	0.01 - 0.1	Geen data	Alfred et al., 2019, NRC, 1997b
Drijfgassen												
23	Nitrocellulose (NC)	9004-70-0	Nitraat ester	Explosief en drijfgas	-	-	Nee		-	-	Geen data	Alfred et al., 2019, EPA, 2012
24	Difenylamine (DPA)	122-39-4	Aromatisch amine; afgeleid van aniline	Stabilisator in drijfgas	-	H301, H311, H331, H373	Nee		0.075 mg/kg lg per dag (ADI* voor consumenten, 2012)	4 - 10	Negatief (2012)	EPA, 2012

25	2-nitrodifenylamine	119-75-5	Genitreerd aromatisch amine; Afgeleide van difenylamine	Stabilisator in drijfgas	-	-	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012
26	1-methyl-3,3-difenylurea (Akardiet)	13114-72-2	Amide	Stabilisator in drijfgas	-	-	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012
27	Diethyl-1,3-difenylurea (Ethyl centraliet)	85-98-3	Amide	Stabilisator in drijfgas, brandsnelheidsmodifier	-	-	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012
28	Di-ethylftalaat	84-66-2	Ftalaat ester	Niet-energetisch bindmiddel en weekmaker	Onder beoordeling als hormoonontregend	-	Nee		-	0.5 - 10	Geen data	EPA, 2012
29	Di-butylftalaat	84-74-2	Ftalaat ester	Niet-energetisch bindmiddel en weekmaker	Heeft een effect op de reproductie is en hormoonverstoring	H360 Df	Nee	Ja	0.01 mg/kg lg per dag (TDI* voor consumenten, 2005)	0.5 - 10	Negatief (2005)	EPA, 2012, Wang et al., 2021
30	Ftaalzuur	88-99-3	Aromatisch dicarbonzuur	Niet-energetisch bindmiddel en weekmaker	-	-	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012
31	Diethyleen glycol dinitraat (DEGDN)	693-21-0	Nitraat ester	Explosief en drijfgas	-	H300, H310, H330, H373	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012
32	Nitroglycerine (NG)	55-63-0	Nitraat ester	Explosief en drijfgas	-	H300, H310, H330, H373	Nee		-	0.095 (NL)	Geen data	Alfred et al., 2019, EPA, 2012
33	Nitroguanidine (NQ)	556-88-7	Nitroalkaanverbinding	Explosief en drijfgas	-	-	Nee		-	-	Geen data	Alfred et al., 2019, EPA, 2012
34	Kaliumperchloraat	7778-74-7	Ternaire ionische verbinding	Oxidatiemiddel in drijfgassen	-	H302	Nee		-	-	Geen data	Alfred et al., 2019, EPA, 2012
35	Ammoniumperchloraat	7790-98-9	Quaternair ammoniumzout	Oxidatiemiddel in drijfgassen	Onder beoordeling als hormoonverstoring	-	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012
36	Perchloraation	14797-73-0	Monovalent anorganisch anion	hoog explosief	-	-	Nee		0.3 µg/kg lg per dag (TDI*)	-	Negatief (2014)	Gorecki et al., 2017

									voor consu- menten, 2014)			
37	Bariumnitraat	10022-31-8	Anorganisch nitraatzout	Oxidatiemiddel in drijfgassen	-	-	Nee		-	0.5	Geen data	EPA, 2012
38	Bariumperchloraat	13465-95-7	Ternaire ionische verbinding	Oxidatiemiddel in drijfgassen	-	H302, H332	Nee		-	0.5	Geen data	EPA, 2012
Explosieven												
39	2,4,6-Trinitrotolueen (TNT)	118-96-7	Nitroaromatische verbinding	Explosief	De meerderheid van de gegevensin-dieners zijn het erover eens dat het carcinogeen is.	H301, H311, H331, H373	Nee	Ja	-	0.09 - 1.5	Geen data	Alfred et al., 2019, ATSDR, 1995, Gorecki et al., 2017
40	Hexogeen (RDX)	121-82-4	Nitramine	Explosief	-	-	Nee		-	0.5 - 2	Geen data	Alfred et al. 2019
41	Octogeen (HMX)	2691-41-0	Nitramine en tetrazocaan	Explosief	-	-	Nee		-	2	Geen data	Alfred et al., 2019, EPA, 2012
42	Pentaerythritol tetranitraat (PETN)	78-11-5	Nitraatester	Explosief	-	-	Nee		-	-	Geen data	Alfred et al., 2019
43	2,4-Dinitroanisol (DNAN)	119-27-7	Nitroaromatische verbinding	Explosief	-	-	Nee		-	-	Geen data	Alfred et al., 2019
44	Nitrotriazolon (NTO)	932-64-9	Triazole verbinding	Explosief	-	-	Nee		-	-	Geen data	Alfred et al., 2019
45	1,3,5-Trinitrobenzeen (1,3,5-TNB)	99-35-4	Nitroaromatische verbinding	Explosief	-	H300, H310, H330, H373	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012
46	2-amino-4,6-dinitrotolueen (2AmDNT)	35572-78-2	Nitroaromatische verbinding	Primaire metaboliet van TNT in planten	-	-	Nee		-	-	Geen data	Gorecki et al., 2017

47	4-amino-2,6-dinitrotolueen (4AmDNT)	19406-51-0	Nitroaromatische verbinding	Primaire metaboliet van TNT in planten	-	-	Nee		-	-	Geen data	Gorecki et al., 2017
48	2,4,6,8,10,12-hexanitro-2,4,6,8,10,12-hexaazaisowurtzitanen (CL-20)	135285-90-4	Polycyclische nitroamine	Explosief	-	-	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012
49	Dinitrotolueen (DNT)	25321-14-6	Nitroaromatische verbinding (mix van DNT isomeren)	Brandsnelheidsmodificator	Carcinogeen, vermoedelijk mutageen en vermoedelijk schadelijk voor de reproductie	H301, H311, H331, H341, H350, H361f, H373	Nee	Ja	-	0.15 - 1.5	Geen data	Alfred et al., 2019, NIOSH, 1985
50	Ethyleenglycol dinitraat (EDGN)	628-96-6	Nitraatester	Explosief	-	H300, H310, H330, H373	Nee		-	0.063 - 1	Geen data	FETTAKA & LEFEBVRE, 2015
51	Ammoniumpicraat (Explosive D)	131-74-8	Nitrokoolwaterstofderivaat	Explosief	-	-	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012
52	Kaliumdinitrobenzofuroxaan (KDNBF)	29267-75-2	Nitrokoolwaterstofderivaat	Explosief	-	-	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012
53	1,3,5-Triamino-2,4,6-trinitrobenzenen (TATB)	3058-38-6	Nitroaromatische verbinding	Explosief	-	-	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012
54	Methyl-2,4,6-trinitrofenyl nitramine (Tetryl)	479-45-8	Nitramine	Explosief	De meerderheid van de gegevensindieners zijn het erover eens dat het een huid allergen is	H301, H311, H331, H373	Nee		-	1 - 3	Geen data	EPA, 2012
55	Hexahydro-1,3-dinitroso-5-nitro-1,3,5-triazine (DNX)	5755-27-1	Nitramine	Metaboliet van RDX	-	-	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012, USAPHC, 2020
56	Hexahydro-1-nitroso-3,5-dinitro-1,3,5-triazine (MNX)	80251-29-2	Nitramine	Metaboliet van RDX	-	-	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012 US-APHC, 2020

57	Hexahydro-1,3,5-trinitroso-1,3,5-triazine (TNX)	13980-04-6	Triazine	Metaboliët van RDX	-	-	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012 US-APHC, 2020
Overige												
58	Hydroxy-getermineerd polybutadieen (HTPB)	69102-90-5	Oligomeer van butadieen	Bindmiddel	-	-	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012
59	Triacetine	102-76-1	Tryglyceride	Bindmiddel en weekmaker		-	Nee		-	-	Geen data	EPA, 2012
60	Koolstof (roet)	-	-	Reactieproduct van explosieven en drijfgassen	-	-	Enkel via bereoepsblootstelling als schoorsteenveger		-	-		EPA, 2012
61	PFAS	-	Poly- en perfluoralkylstoffen	Bindmiddel	Heeft een effect op de reproductie en is vermoedelijk carcinogeen	-	Nee	Ja	4.4 ng/kg lg per week (TWI*, 2020)	-	Negatief - geen data (2018) (PFOA)	EFSA, 2020 Koban & Pfluger, 2023
62	Benzine	86290-81-5	Koolwaterstofmengsel	Brandstof voor transportmiddelen	Carcinogeen en mutageen	H304, H350	Nee	Ja, voor benzeen.	-	240 (NL)	Geen data	ACS, 2023, Info ministerie van defensie
63	Diesel	68334-30-5	Complexe combinatie van koolwaterstoffen	Brandstof voor transportmiddelen	Vermoedelijk carcinogeen	H351	Nee	Ja, voor benzeen.	-	100 - 700	Geen data	ACS, 2023, Info ministerie van defensie
64	Ethyleenglycol	107-21-1	Alkanol	Antivries in transportmiddelen	-	H302	Nee		0.5 mg/kg lg per dag (ADI* voor consumenten, 2005)	10 (NL, ethaan-1,2,diol, deeltjes)	Negatief (2013)	Info ministerie van defensie
65	Propyleenglycol	57-55-6	Alkanol	Antivries in transportmiddelen	-	-	Nee		25 mg/kg lg per dag (ADI* voor consumenten, 2018)	7 - 100 (Propaan-1,2,diol, deeltjes)	Negatief (2018)	The US Army Tank Automotive

												Research, 1996
66	Propyleenglycol methylether	107-98-2	Organische verbinding	Activies in transportmiddelen	-	-	Nee		-	375 (NL)	Geen data	TARDEC, 1996
67	Dioxines	-	Polychloordi-benzo-p-dioxinen, dibenzofuranen	Verbrandingsproduct	-	-	Ja, in elk geval voor 2,3,7,8-Te-trachlorodi-benzo-para-dioxin	Ja	2 pg TEQ* /kg lg per week (TWI*, 2018)	-	Geen data	EFSA, 2015 EFSA, 2018

* ADI: Acceptabele dagelijkse inname, ARfD: Acute referentie dosis, BMDL01: Benchmark dosis die een verandering in een specifiek toxisch effect van 1% oplevert. CMR: carcinogeniteit, mutageniteit & reproductiviteit. IARC: *International Agency for Research on Cancer*. MTDI: Maximale aanvaardbare dagelijkse inname, TEQ: Toxische equivalenten, TDI: Aanvaardbare dagelijkse inname, TWI: Tolereerbare wekelijkse inname, UL: Aanvaardbare bovengrens van de inname.