



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

Risicobeoordeling van kortdurende blootstelling aan hoge concentraties **kwik via het gebruik van aardgas** tijdens koken en gebruik van een waterboiler

Evaluatie van rapport 'Mercury exposure in Dutch households supplied by Groningen gas'

**Risicobeoordeling van kortdurende blootstelling
aan hoge concentraties kwik via het gebruik
van aardgas tijdens koken en gebruik van een
waterboiler**

Evaluatie van rapport 'Mercury exposure in Dutch households
supplied by Groningen gas'

RIVM-briefrapport 2023-0317

Colofon

© RIVM 2023

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van zijn producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook www.rivm.nl/toegankelijkheid.

DOI 10.21945/RIVM-2023-0317

RIVM
RIVM

Contact:

Centrum Veiligheid van Stoffen en Producten
@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Staatstoezicht op de Mijnen in het kader van programma 42 Milieu SodM (46.09 ad hoc SodM).

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

Publiekssamenvatting

Risicobeoordeling van kortdurende blootstelling aan hoge concentraties kwik via het gebruik van aardgas tijdens koken en gebruik van een waterboiler

Evaluatie van rapport 'Mercury exposure in Dutch households supplied by Groningen gas'

Aardgas kan van nature kwik bevatten. Mensen staan aan kwik bloot als ze op gas koken of, wat niet zo vaak meer voorkomt, in de keuken een waterboiler gebruiken. Dit zijn in de praktijk kortdurende 'pieken'. Het RIVM is gevraagd om te beoordelen of de blootstelling aan kwik veilig is tijdens dagelijkse piekmomenten die de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) heeft berekend. Daaruit blijkt dat deze blootstelling niet schadelijk is voor de gezondheid. Daarvoor zijn de concentraties kwik in aardgas (veel) te laag.

De NAM berekende de blootstelling in 2014. Vanwege onrust onder consumenten is het RIVM gevraagd om de kwaliteit van de NAM-berekeningen te toetsen en te beoordelen of de piekblootstelling aan kwik risico's heeft. De NAM ging ervan uit dat mensen elke dag op drie piekmomenten blootstaan aan kwik, tijdens het koken op gas of het gebruik van de waterboiler in de keuken. Het RIVM concludeert dat de piekblootstelling aan kwik goed is berekend en voor zijn risicobeoordeling kan worden gebruikt.

Voor de risicobeoordeling heeft het RIVM de wetenschappelijke literatuur over de schadelijke effecten van kwik op de gezondheid bekeken. De belangrijkste effecten die een te hoge piekblootstelling aan kwik kan veroorzaken, zijn neurologisch van aard, waaronder effecten op de hersenen, trillende lichaamsdelen, motorische effecten en effecten op gedrag (sontwikkeling). Deze effecten worden dus niet verwacht bij de onderzochte piekblootstellingen van kwik in aardgas.

Dit onderzoek is gedaan in opdracht van het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

Kernwoorden: kwik, aardgas, NAM, SodM, binnenlucht, risicobeoordeling

Synopsis

Risk assessment of short-term exposure to high concentrations of mercury from use of natural gas during cooking and use of water boilers

Review of report 'Mercury exposure in Dutch households supplied by Groningen gas'

Mercury can be naturally present in natural gas. People who have a natural gas cooker or a water boiler in their kitchen (the latter is less common these days) are exposed to mercury when they use these appliances. In practice, such exposure happens during brief 'peaks'. RIVM was asked to assess the health risks of exposure to mercury during such daily peak moments, as calculated by the Netherlands' national oil and gas company (NAM). The results show that this exposure is not harmful to health, as mercury concentrations in natural gas are far too low.

NAM's exposure calculations date from 2014. Due to consumer concerns, RIVM was asked to evaluate the quality of the NAM calculations and assess if there were any risks associated with exposure to mercury during daily peak moments. For its calculations, NAM assumed that people were exposed to mercury at three peak moments on a daily basis whilst cooking on natural gas or using a water boiler in their kitchen. RIVM found that NAM's calculations of peak exposure to mercury were correct and could be used for its risk assessment.

RIVM's risk assessment included a review of the scientific literature about mercury's harmful effects on health. The main effects associated with a too-high peak exposure to mercury are neurological and include effects on the brain, tremors, motor effects and effects on behaviour or behavioural development. As stated above, however, these effects are not expected to occur during the investigated peak moments of exposure to mercury in natural gas.

This study was commissioned by the Dutch State Supervision of Mines (SodM).

Keywords: mercury, natural gas, NAM, SodM, indoor air, risk assessment

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

- 1 Aanleiding en vraagstelling — 11**
- 2 Vergelijking van de NAM rapporten: versie 2014 ten opzichte van versie 2013 — 13**
- 3 Risicobeoordeling van kortdurende blootstelling aan hoge concentraties kwik via het gebruik van aardgas tijdens koken en gebruik van een waterboiler — 15**
 - 3.1 Beschrijving blootstellingsscenario — 15
 - 3.2 Toxicologie — 17
 - 3.2.1 Kinetiek — 17
 - 3.2.2 Schadelijke effecten van inademing van kwik bij de mens — 18
 - 3.2.3 Gezondheidskundige grenswaarden voor de algemene bevolking — 19
 - 3.2.4 Toepasbaarheid gezondheidskundige grenswaarden op huidig blootstellingsscenario — 19
 - 3.2.5 Screening en selectie toxiciteitsdata — 20
 - 3.2.6 Overzicht relevante toxiciteitsdata — 21
 - 3.3 Risicobeoordeling — 22
 - 3.3.1 Aanpak risicobeoordeling — 22
 - 3.3.2 Resultaten van de risicobeoordeling — 24
 - 3.4 Discussie en conclusie — 25
- 4 Referenties — 27**
- 5 Lijst met afkortingen en begrippen — 29**
- 6 Bijlage A Evaluatie van rapport 'Mercury exposure in Dutch households supplied by gas' (ter Burg, 2022) — 31**
- 7 Bijlage B Overzicht van relevante toxiciteitsstudies met metallisch kwik ten behoeve van de risicobeoordeling van piekconcentraties aan kwik in de binnenlucht — 46**

Samenvatting

Aanleiding

De Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) heeft in 2014 gerapporteerd over de blootstelling van huishoudens aan metallisch kwik via de binnenlucht, als gevolg van de aanwezigheid van kwik in aardgas.

Hiervoor heeft de NAM het vrijkomen van kwik gemodelleerd door uit te gaan van een scenario waarbij er dagelijks op drie piekmomenten blootstelling is aan kwik, door gelijktijdig gebruik van een gaskookplaat en een waterboiler in de keuken.

Voor de risicobeoordeling werden de gemodelleerde kwikconcentraties vergeleken met de gezondheidkundige grenswaarde van $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor levenslange blootstelling¹ aan kwik. Geconstateerd werd dat op elk piekmoment deze gezondheidkundige grenswaarde kortstondig (gedurende één uur) wordt overschreden (de maximale gemodelleerde kwikconcentratie van $0,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is ruim $7\times$ hoger) maar dat de daggemiddelde concentratie² van kwik ($0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$) daar beneden blijft.

Dit betekent echter niet automatisch dat daarmee de kortdurende overschrijdingen op de piekmomenten zonder gezondheidsrisico's zijn. De mate van overschrijding en de duur en frequentie daarvan spelen een rol. Ook de gevaareigenschappen van de betreffende stof spelen mee. Als er sprake is van blootstelling met piekmomenten dan is het vanuit toxicologisch perspectief niet voldoende om de risicobeoordeling alleen te baseren op de gemiddelde blootstelling over de dag.

Vraagstelling

Het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) heeft daarom aan het RIVM gevraagd om de piekconcentraties uit het blootstellingsscenario van het NAM-rapport uit 2014 gezondheidkundig te duiden. Ten behoeve daarvan is RIVM ook gevraagd een literatuuronderzoek te doen naar toxicologische studies die relevant zijn voor het te beoordelen blootstellingsscenario.

Beschrijving aannames blootstellingsscenario

De NAM heeft een aantal *worst-case* aannames gedaan om de kwikconcentratie in huishoudens te modelleren:

1. De kwikconcentratie in de lucht is gemodelleerd voor een kleine keuken (15 m^3) op basis van een gemiddeld gasverbruik van $440 \text{ m}^3/\text{jaar}$ voor zowel koken op gas (15% bijdrage) als gebruik van een waterboiler (85% bijdrage). Voor de piekmomenten is aangenomen dat de gaskookplaat en de waterboiler drie keer per dag gedurende 20 minuten, tegelijkertijd, worden gebruikt.

¹ Deze gezondheidkundige grenswaarde is de maximale hoeveelheid van een stof die iemand levenslang binnen mag krijgen (in dit geval via inademing), zonder dat dit gevolgen heeft voor de gezondheid.

² Een daggemiddelde concentratie is een berekende luchtconcentratie, waarbij de hoeveelheden of concentraties kwik die vrijkomen tijdens piekmomenten worden gedeeld over een bepaalde tijdsperiode (in dit geval over 24 uur).

2. De hoeveelheid kwik in aardgas (20 µg kwik per m³ aardgas) die gebruikt is in de modellering is een factor 25-60 hoger dan wat destijds in metingen naar kwik in aardgas werd gevonden.

Hoewel de NAM uitgaat van gemiddeld gasverbruik, kunnen we ervan uitgaan dat de met bovenstaande aannames berekende maximale piekconcentratie van 0,37 µg/m³ kwik tijdens drie piekmomenten per dag een overschatting is van de praktijk.

RIVM heeft voor de risicobeoordeling het blootstellingsscenario aangenomen van een dagelijkse drie uur durende blootstelling aan een luchtconcentratie van 0,37 µg/m³ kwik. Ook dit is een overschatting, omdat in de praktijk deze piekconcentratie maar kort aanhoudt en dan snel lager wordt.

Risicobeoordeling RIVM

Er bestaan geen gezondheidkundige grenswaarden voor een blootstellingsscenario met meerdere piekblootstellingen op één dag. Daarom heeft RIVM literatuuronderzoek gedaan naar toxicologische studies waarin het blootstellingspatroon zo dicht mogelijk aansluit bij de gemodelleerde kwikconcentratie (inhalatie, minder dan 24 uur per dag, voor langere tijd). Dit om te kijken welke effecten kwik bij een dergelijk patroon veroorzaakt, en welke daarvan van belang zijn om mee te nemen in de risicobeoordeling.

De meest belangrijke effecten van kwik in de relevante studies betreffen neurologische effecten waaronder effecten op de hersenen, tremoren, motorische effecten en effecten op gedrag(sontwikkeling).

Voor de risicobeoordeling is gekeken hoe groot de marge is tussen het te beoordelen blootstellingsscenario bij de mens (in dit geval een dagelijkse 3-uurs blootstelling aan een luchtconcentratie van 0,37 µg/m³ kwik) en de concentraties in de relevante toxicologische studies waarbij geen of slechts een gering effect is waargenomen. Als de marge in deze zogenaamde Margin of Safety-benadering (MOS) groot genoeg is, zijn voor de algemene bevolking (inclusief mogelijk gevoelige groepen als zwangeren en jonge kinderen) geen gezondheidsrisico's te verwachten bij het betreffende blootstellingsscenario. Voor het beoordeelde 'kwik in aardgas' blootstellingsscenario laat de risicobeoordeling zien dat de marges groot genoeg zijn, ook voor de meest gevoelige effecten van inhalatieblootstelling aan metallisch kwik (op gedrag).

Conclusie

Het RIVM concludeert dat de blootstelling aan de gemodelleerde piekconcentraties van kwik in de lucht, als gevolg van de aanwezigheid van kwik in aardgas (tot 20 µg kwik per m³ aardgas), geen gezondheidsrisico's met zich meebrengt wanneer in huishoudens gebruik gemaakt wordt van een gaskookplaat en waterboiler.

1 Aanleiding en vraagstelling

De Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) heeft in 2013 de blootstelling aan kwik berekend in de binnenlucht van huishoudens als gevolg van de aanwezigheid van kwik in aardgas. Daarbij ging de gemodelleerde blootstellingsschatting uit van een dagelijks terugkerend patroon van drie piekmomenten per dag als gevolg van koken op een gaskookplaat en gebruik van een waterboiler (NAM, versie 2 oktober 2013).

SodM heeft het RIVM in november 2022 gevraagd enkele vragen te beantwoorden met betrekking tot dit NAM rapport. Twee daarvan, namelijk of de aannames (gebruikerscondities) reëel zijn en of de concentratie kwik in de binnenlucht correct is berekend, zijn al door het RIVM geadresseerd (ter Burg, 2022; zie bijlage A van huidig rapport).

Het huidige rapport richt zich op de derde vraag, welke een gezondheidskundige risicobeoordeling van de door de NAM gemodelleerde piekconcentraties aan kwik betrof. Deze vraag is in januari 2023 in overleg met SodM verder uitgewerkt, waarbij het RIVM ten behoeve van die risicobeoordeling aanvullend gevraagd is een literatuuronderzoek te doen naar toxicologische studies die relevant zijn voor het te beoordelen blootstellingsscenario. Het RIVM is tevens door SodM verzocht om voor de risicobeoordeling van de piekconcentraties uit te gaan van versie 3 van het NAM rapport uit 2014 (NAM versie 3, 2014) in plaats van de versie uit 2013.

De uiteindelijke vraag richt zich dus op een risicobeoordeling van de piekconcentraties aan kwik tijdens gebruiksmomenten van aardgas in huishoudens in 2012-2013. Voor de risicobeoordeling is het van belang om vast te stellen welke vorm van kwik het betreft. SodM heeft aangegeven dat in aardgas metallisch kwik aanwezig is (persoonlijke communicatie SodM, september 2022).

In hoofdstuk 2 wordt eerst gekeken naar de eventuele verschillen tussen de 2013 en de 2014 versies van het NAM rapport. Aangegeven wordt in hoeverre de eerdere door het RIVM gemaakte opmerkingen op de 2013 versie nog van toepassing zijn op de 2014 versie. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 de risicobeoordeling van de piekconcentraties aan metallisch kwik tijdens gebruiksmomenten van aardgas in huishoudens gepresenteerd, uitgaande van de informatie van de NAM (NAM, 2014).

2 Vergelijking van de NAM rapporten: versie 2014 ten opzichte van versie 2013

In de 2013 en 2014 versies van het NAM rapport wordt een blootstellingsscenario beschreven van het vrijkomen van metallisch kwik bij aardgasgebruik tijdens koken op gas en bij gebruik van een waterboiler in een ruimte. Het vrijkomen van kwik is gemodelleerd onder de aanname van dagelijks gebruik waarbij er tijdens de gebruiksmomenten pieken in kwikconcentraties in de binnenlucht ontstaan.

In 2022 werd door het RIVM het NAM rapport getiteld 'Mercury exposure in Dutch households supplied by gas' (NAM, 2013), beoordeeld. Het RIVM kwam tot de volgende conclusies (ter Burg, 2022):

"Beantwoording vraag 1: controleer of de aannames in deze studie correct zijn (zijn de gebruikerscondities reëel)?"

De gebruikerscondities, die in het NAM rapport (versie 2) zijn gekozen om te evalueren of de EU advieswaarde voor kwik overschreden kan worden door de aanwezigheid van kwik in aardgas, zijn niet reëel.

Redenen hiervoor zijn:

- *de combinatie koken op gas én het gebruik van waterboilers op gas nauwelijks meer voorkomt;*
- *deze twee bronnen (gaskookplaat en waterboiler) niet altijd in dezelfde locatie worden gebruikt;*
- *waterboilers rookgasafvoeren hebben waardoor de bijdrage van deze bron in de praktijk veel lager zal liggen;*
- *voor het bepalen van piekconcentraties kun je niet zomaar beide bronnen bij elkaar optellen, omdat ze niet tegelijkertijd in die mate bijdragen;*
- *zowel voor het gasverbruik als voor wooncondities is uitgegaan van gemiddelden.*

Het combineren van de twee bronnen enerzijds en uitgaan van gemiddelden anderzijds zorgt ervoor dat het lastig is om te schatten of het gekozen scenario een worst-case schatting geeft."

Wat betreft de getalsmatige berekening van de concentraties concludeerde het RIVM (ter Burg, 2022):

"Beantwoording vraag 2: controleer of de correlatie tussen kwikconcentratie in de pijpleiding en binnenomgeving klopt. (Is de concentratie kwik in de leefomgeving correct berekend)?"

Concluderend kan worden gesteld dat het gebruikte model in het NAM rapport geschikt is om een van aardgas afkomstige kwikconcentratie in een ruimte te berekenen. De aannames in het blootstellingsscenario, zoals constante emissie van aardgas, homogene verspreiding in de ruimte, kwik blijft beschikbaar na verbranding aardgas, zijn geschikt wanneer een gemiddelde luchtconcentratie kwik berekend moet worden.

Met behulp van ConsExpo Web³ werden dezelfde resultaten verkregen onder de aanname dat de achtergrondconcentratie is meegenomen."

In het RIVM advies uit 2022 is specifiek voor de piekconcentraties opgemerkt dat daadwerkelijke piekconcentraties hoger zouden kunnen uitvallen wanneer er uitgebreid (lees voor een langere tijdsduur en/of op meer gaspitten) gekookt wordt. Anderzijds is het niet te verwachten dat koken op gas en het gebruik van waterboilers bijdragen aan de kwikconcentratie in de lucht op hetzelfde piekmoment. De aanname dat het relevante aardgasverbruik verdeeld wordt over 365 dagen met elk drie piekmomenten per dag dekt niet af dat er dagen kunnen zijn met hogere of lagere pieken of dat binnen een dag de piekconcentraties kunnen verschillen in hoogte en duur.

In het NAM rapport van 2014 zijn ten opzichte van de 2013 versie een aantal kleine wijzigingen doorgevoerd in het blootstellingsscenario. Deze wijzigingen hebben vooral betrekking op de kleinste ruimte die werd doorgerekend in het blootstellingsmodel.

- Er wordt nu bij de kleinste ruimte expliciet over een keuken gesproken.
- Blootstellingsparameters die betrekking hebben op de wooncondities zijn aangepast conform de standaardwaarden die het RIVM publiceerde in de ConsExpo General Fact Sheet uit 2006 (Bremmer et al., 2006).
 - Voor de ruimte is een kleiner volume gekozen (15 m³ in plaats van 30 m³).
 - De ventilatievoud is verhoogd van 2 naar 2,5 per uur.

De consequentie van deze wijzigingen is dat voor de wooncondities geen gemiddelde situatie wordt beschreven, maar een realistische *worst-case* situatie van een keuken waar aardgas wordt gebruikt. Als gevolg hiervan is voor de kleinste ruimte de gemodelleerde concentratie kwik in de lucht iets hoger (factor 1,33) in de 2014 versie vergeleken met de versie uit 2013.

Verder wordt in de 2014 versie een opmerking gemaakt dat waterboilers tegenwoordig (anno 2013) rookgasafvoeren hebben, waardoor er geen aardgas in de ruimte zou mogen vrijkomen.

De beantwoording van de vragen in het RIVM advies uit 2022 op basis van het NAM rapport versie 2013, zoals hierboven beschreven, is nog steeds van toepassing op de 2014 versie van het NAM rapport, met uitzondering van het laatste punt bij vraag 1: voor de wooncondities is niet langer een gemiddelde situatie maar een realistische *worst-case* situatie het uitgangspunt.

³ <https://www.rivm.nl/en/consexpo/consexpoweb>

3 Risicobeoordeling van kortdurende blootstelling aan hoge concentraties kwik via het gebruik van aardgas tijdens koken en gebruik van een waterboiler

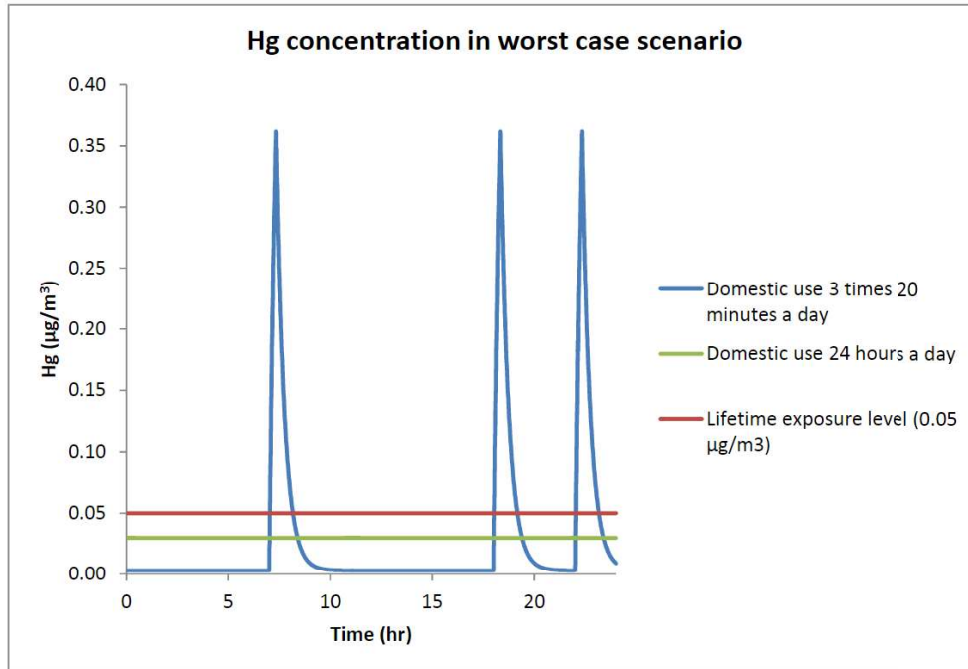
In dit hoofdstuk wordt een gezondheidskundige risicobeoordeling uitgevoerd van dagelijkse kortdurende hoge blootstelling aan kwik via de lucht door het gebruik van aardgas tijdens koken en gebruik van een waterboiler, gebaseerd op de modellering in de 2014 versie van het NAM rapport.

Daartoe zal eerst het blootstellingsscenario beschreven worden. Vervolgens worden de kinetiek (gedrag van kwik in het lichaam), de schadelijke effecten van inademing van kwik voor de mens, en de huidige gezondheidskundige grenswaarden voor de algemene bevolking besproken. Daarna wordt ingegaan op het uitgevoerde literatuuronderzoek gericht op toxicologische studies die relevant zijn voor het te beoordelen blootstellingsscenario, en zullen de verkregen resultaten van dit literatuuronderzoek worden gepresenteerd. Op basis van de verkregen informatie wordt de risicobeoordeling uitgevoerd van de gemodelleerde piekconcentraties aan kwik. Tot slot worden de bevindingen bediscussieerd en de conclusies gepresenteerd.

3.1 Beschrijving blootstellingsscenario

Het blootstellingsscenario uit NAM (2014) beschrijft het vrijkomen van metallisch kwik bij aardgasgebruik tijdens koken op gas en bij gebruik van een waterboiler in de keuken bij huishoudens. Het vrijkomen van kwik is gemodelleerd onder de aanname van dagelijks gebruik van aardgas, waarbij er tijdens de drie gebruiksmomenten per dag pieken in kwikconcentraties ontstaan. NAM (2014) is voor de blootstellingsschatting uitgegaan van een realistisch *worst-case* blootstellingsscenario qua wooncondities, namelijk een kleine keuken (15 m³) met relatief lage ventilatievoud (2,5 verversingen per uur). Het gasverbruik is gezet op 440 m³/jaar voor zowel koken (15% bijdrage) als de waterboiler (85% bijdrage). Voor koken is dat gebaseerd op schattingen van 60-65 m³/jaar. De kwikconcentratie in aardgas is conservatief gezet op 20 µg kwik per m³ aardgas. Bij metingen naar kwik in aardgas zijn lagere concentraties gevonden, namelijk een range van 0,32 – 0,75 µg/m³, met een uitschieter van 6,9 µg/m³ (NAM, 2014).

Figuur 1 geeft het blootstellingsscenario weer uit het NAM rapport (2014).



Figuur 1 Gemodelleerde concentratie kwik (Hg) in de ruimte (15 m³) gedurende een dag voor een worst-case gasconsumptiepatroon met een ventilatievoud van 2,5 vervangingen/uur (gekopieerd uit NAM, 2014)

Blauwe lijn: Kwikconcentratie over de dag bij drie piekmomenten van aardgasverbruik.

Groene lijn: Kwikconcentratie als gevolg van de drie piekmomenten van aardgasverbruik, uitgemiddeld over 24 uur.

Rode lijn: Gezondheidskundige grenswaarde voor de algemene bevolking voor levenslange blootstelling aan kwik (0,05 µg/m³).

De gemodelleerde kwikconcentratie omvat drie gelijke piekmomenten met een piek van 0,37 µg/m³ kwik. Dit is de hoogst berekende concentratie, wat ook wel wordt uitgedrukt als C_{max}. Ieder piekmoment is het gevolg van 20 minuten gasverbruik, wat leidt tot een verhoogde luchtconcentratie ten opzichte van de achtergrond (0,003 µg/m³) gedurende ongeveer 2,5 uur. Hierbij wordt de gezondheidskundige grenswaarde voor levenslange blootstelling aan kwik van 0,05 µg/m³ (rode lijn in figuur 1) per piekmoment gedurende ongeveer één uur overschreden. Zie paragraaf 3.2.3 voor een toelichting op deze gezondheidskundige grenswaarde.

Een piekconcentratie is een relatief kortdurende, verhoogde luchtconcentratie (ten opzichte van bijvoorbeeld de achtergrondconcentratie of de gezondheidskundige grenswaarde), als gevolg van een bepaald blootstellingsscenario (in dit rapport gebruik van aardgas tijdens koken en gebruik van een waterboiler).

De duur van een piekmoment (zie blauwe lijn in het figuur die van de nul-waarde afgaat) wordt vooral bepaald door de (aanneme van een bepaalde) tijdsduur van gasverbruik en de ventilatievoud die de verwijdering van kwik uit de ruimte beschrijft. Omdat de onderliggende aannames voor wooncondities en de hoeveelheid kwik in aardgas conservatief tot zeer conservatief zijn, mag de gemodelleerde piekconcentratie als zeer *worst-case* worden beschouwd.

Naast de schatting van de piekconcentratie gebaseerd op 20 µg kwik per m³ aardgas, geeft NAM (2014) ook een schatting van de piekconcentratie in de lucht op basis van de gemeten "uitschieter" 6,9 µg kwik per m³ aardgas, gebruikmakend van dezelfde wooncondities. In dat geval wordt een piekconcentratie van 0,13 µg/m³ kwik in de lucht gemodelleerd. Dit leidt tot een verhoogde luchtconcentratie ten opzichte van de achtergrond (0,003 µg/m³) gedurende ongeveer 2 uur. Hierbij wordt de gezondheidkundige grenswaarde voor levenslange blootstelling aan kwik van 0,05 µg/m³ (rode lijn in figuur 1) gedurende ongeveer 40 minuten overschreden.

Voor de risicobeoordeling is het belangrijk te realiseren dat binnen de piekmomenten de piekconcentratie van 0,37 µg/m³ slechts gedurende een zeer kort moment aanwezig is.

Uitgangspunten voor de huidige risicobeoordeling

RIVM gebruikt voor de huidige risicobeoordeling bovenbeschreven blootstellingsscenario, maar gaat daarbij uit van een dagelijkse 3-uur durende blootstelling aan een luchtconcentratie van 0,37 µg/m³ kwik. Dit is zeer *worst-case* omdat:

- binnen het door de NAM gekozen blootstellingsscenario de drie piekmomenten op een dag elk resulteren in een één-uurs overschrijding van de gezondheidkundige grenswaarde voor levenslange blootstelling, waarbinnen (zoals hierboven aangegeven) de C_{max} van 0,37 µg/m³ kwik maar heel kort aanwezig is. Voor de risicobeoordeling wordt er conservatief vanuit gegaan dat deze luchtconcentratie zich drie aaneengesloten uren voordoet.
- de C_{max} van 0,37 µg/m³ kwik gebaseerd is op (zeer) *worst-case* aannames, met name met betrekking tot de kwikconcentratie in aardgas (20 µg kwik per m³ aardgas) en aardgasverbruik (inclusief verbruik door waterboiler, wat ruim 5× groter is dan het verbruik door koken).

Indien op basis hiervan een gezondheidsrisico wordt geïndiceerd zal de blootstellingsschatting verder worden verfijnd. Een verfijning is niet nodig als bij deze zeer conservatieve benadering beoordeeld wordt dat er geen gezondheidsrisico's zijn.

3.2 Toxicologie

Voor de algemene beschrijving van de kinetiek (gedrag van kwik in het lichaam) en de schadelijke effecten van inademing van kwik bij de mens is gebruik gemaakt van een recent rapport van de *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR, 2022).

3.2.1 Kinetiek

ATSDR (2022) vat de kinetiek als volgt samen:

Na inhalatie wordt kwik voor zo'n 69 tot 85% opgenomen in het lichaam van volwassenen. Kwik kan via de lucht ook op de huid terechtkomen en vervolgens door de huid worden opgenomen, maar onbekend is hoeveel dat is via die route.

Na deze opname verspreidt kwik zich door het hele lichaam, waarbij de hoogste concentraties zijn gevonden in de nieren en daarna in de

hersenen. Kwik kan worden overgedragen van de moeder op de foetus via de placenta en van de moeder op de baby via moedermelk. Kwik kan ook de bloed-hersensbarrière van de zich ontwikkelende foetus passeren. Opgenomen metallisch kwik wordt uit het lichaam verwijderd via de uitgeademde lucht en vooral via oxidatie in de weefsels tot Hg^{2+} (*mercuric* kwik). Dit laatste gebeurt met name door het enzym catalase. Na oxidatie van Hg^0 (metallisch kwik) in bloed en weefsels wordt Hg^{2+} (gebonden aan onder andere glutathion of cysteïne) uitgescheiden via urine en ontlasting.

De halfwaardetijd⁴ wordt in de rat geschat als 15 tot 24 dagen en bij mensen geschat als 30 tot 90 dagen. Deze halfwaardetijden betekenen dat bij herhaalde blootstelling aan kwik accumulatie in het lichaam zal optreden. Een vuistregel hierbij is dat een *steady-state*⁵ bereikt wordt na ongeveer 5 maal de halfwaardetijd. Dit zal bij de rat na circa 75-120 dagen het geval zijn en bij de mens na circa 150-450 dagen.

Kwantitatieve informatie over de halfwaardetijd in andere knaagdieren is niet aanwezig, al is wel duidelijk dat ook in bijvoorbeeld de muis accumulatie optreedt. Voor de huidige beoordeling wordt aangenomen dat de halfwaardetijd voor muis vergelijkbaar met die in de rat zal zijn.

3.2.2 *Schadelijke effecten van inademing van kwik bij de mens*

ATSDR (2022) vat de schadelijke effecten van inademing van kwik als volgt samen:

Zowel bij mensen als bij dieren zijn neurologische effecten en effecten op de nieren waargenomen na inademing van kwikdampen. In geval van blootstelling aan metallisch kwik bij fatale of bijna-fatale concentraties worden ernstige effecten op de luchtwegen waargenomen, waaronder longontsteking en ademhalingsfalen als gevolg van longoedeem. Of kwik ook gezondheidsnadelige effecten in andere organen kan veroorzaken is onvoldoende in epidemiologische studies of dierstudies onderzocht. Neurologische effecten van beroepsmatige blootstelling aan kwik zijn sinds het midden van de 19^e eeuw bekend; dit wordt ook wel het 'mad hatter's syndrome' genoemd vanwege ernstige neurologische en psychologische symptomen bij hoedenmakers die tijdens bepaalde werkzaamheden (viltproces) werden blootgesteld aan metallische kwikdampen.

Daarnaast laten epidemiologische studies een consistent beeld zien van neurologische effecten bij volwassenen, waaronder tremoren, effecten op gezichtsvermogen, zenuwgeleiding, motorische snelheid en fijne motorische coördinatie, cognitieve prestaties (waaronder geheugen) en subjectieve fysiologische effecten als stemmingswisselingen, prikkelbaarheid, nervositeit, verlegenheid en verlies van vertrouwen. Dierstudies leveren aanvullend bewijs van effecten op de neurologische ontwikkeling bij jonge dieren (veranderd leren en gedrag, veranderde motorische activiteit, verminderde gewenning aan een nieuwe omgeving) en bewijs van verminderde motorische functie en schade aan het centrale zenuwstelsel bij volwassen dieren.

Met betrekking tot effecten op de nieren leveren epidemiologische studies enig bewijs van niertoxiciteit, zoals afname van de glomerulaire

⁴ Tijd die het lichaam nodig heeft om de helft van een ingenomen hoeveelheid stof te verwijderen door de stof uit te scheiden en/of af te breken.

⁵ Wanneer de snelheid van toevoer van een chemische stof gelijk is aan de snelheid van verwijdering, wordt een stabiele toestand (*steady-state*) bereikt.

functie en schade aan de tubuli. Resultaten van dierstudies laten dosis- en blootstellingsduurafhankelijke toename in de ernst van niertoxiciteit zien. Dit kenmerkt zich door schade aan de proximale tubuli, distale tubuli en glomerulaire membraan, verlies van 'brush border' membranen en necrose van de nieren.

3.2.3

Gezondheidskundige grenswaarden voor de algemene bevolking

Voor metallisch kwik is een gezondheidskundige grenswaarde voor levenslange inhalatieblootstelling voor de algemene bevolking beschikbaar. Dit is het MTR_{lucht} (Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau voor lucht⁶) van 0,05 µg/m³ (Janssen en Smit, 2015). Deze is gebaseerd op neurologische effecten en effecten op de nieren bij de mens zoals gerapporteerd in arbeidstoxicologische studies, en is overgenomen uit de EU Kaderrichtlijn Lucht (2002).

Opgemerkt wordt dat NAM (2014) in haar rapport verwijst naar een 'toetswaarde voor chronische blootstelling (levenslang)' zoals beschreven in Jongeneel et al. (2011). Deze toetswaarde betreft de waarde zoals voorgesteld in de EU Kaderrichtlijn Lucht.

Naast het MTR_{lucht} is door RIVM in 2011 een gezondheidskundige grenswaarde voor kortdurende blootstelling aan kwik (een week) afgeleid. Deze bedraagt 10 µg/m³ en is ook van toepassing op de algemene bevolking (Jongeneel et al., 2011).

3.2.4

Toepasbaarheid gezondheidskundige grenswaarden op huidig blootstellingsscenario

In de NAM rapportage werd geconstateerd dat de pieken (met C_{max} van 0,37 µg/m³) kortstondig de gezondheidskundige grenswaarde voor levenslange blootstelling aan kwik (0,05 µg/m³) overschrijden, maar dat de daggemiddelde concentratie⁷ (0,03 µg/m³) daar beneden blijft.

De maximale piekconcentratie van de drie pieken is ruim een factor 7 hoger dan genoemde gezondheidskundige grenswaarde. In NAM (2014) is geen risicobeoordeling van de piekconcentratie uitgevoerd; in de rapportage wordt opgemerkt dat "... the RIVM does not regard a exposure > 0,05 µg/ m³ life time exposure limit as harmful, as long as the average lifetime exposure remains < 0,05 µg/m³". Dit statement is echter geen correcte weergave van mogelijke gezondheidseffecten bij piekconcentraties en is niet te herleiden tot teksten uit Jongeneel et al. (2011). In het geval van een kortdurende overschrijding van een gezondheidskundige grenswaarde voor levenslange blootstelling kan niet zonder meer gesteld worden dat dit zonder gezondheidsrisico's is. Hierbij speelt de mate van overschrijding, de duur en frequentie een rol, alsmede ook de gevaareigenschappen van de betreffende stof. Dit betekent dat uitmiddelen van pieken (in dit geval de drie pieken over 24 uur; de groene lijn in figuur 1) niet zonder meer acceptabel is vanuit een toxicologisch perspectief. Bij overschrijding is een gezondheidskundige grenswaarde voor levenslange blootstelling niet bruikbaar voor het duiden van gezondheidsrisico's van de pieken. Ook de gezondheidskundige grenswaarde voor kortdurende blootstelling van

⁶ Het MTR_{lucht} is de concentratie van een stof in de lucht waar beneden geen negatieve effecten op de gezondheid zijn te verwachten. Over het algemeen betreft het MTR_{lucht} een jaargemiddelde concentratie.

⁷ Een daggemiddelde concentratie is een berekende luchtconcentratie, waarbij de hoeveelheden of concentraties kwik die vrijkomen tijdens piekmomenten worden gedeeld over een bepaalde tijdsperiode (in dit geval over 24 uur).

een week is niet geschikt, omdat het nu gekozen blootstellingsscenario zoals in paragraaf 3.1 beschreven is bestaat uit een levenslang, dagelijks terugkerend patroon van drie piekmomenten per dag. Een nadere risicobeoordeling voor de duiding van de piekconcentraties van kwik op zich is daarom nodig. Om die reden is voor de huidige beoordeling een screening van toxiciteitsdata uitgevoerd, specifiek gericht op informatie om het blootstellingsscenario te kunnen duiden.

3.2.5 *Screening en selectie toxiciteitsdata*

Voor de risicobeoordeling van kortdurende blootstelling aan hoge concentraties is bij voorkeur een toxiciteitsstudie nodig waarbij een vergelijkbaar blootstellingspatroon toegepast is. Een studie met exact hetzelfde blootstellingspatroon is echter niet beschikbaar. Daarom is bij de screening van de toxiciteitsdata gezocht naar studies waarbij het blootstellingspatroon zo dicht mogelijk aansluit bij de gemodelleerde kwikblootstelling.

Bij de screening van de toxiciteitsdata is gekeken naar relevante evaluatierapporten van internationaal erkende organisaties. Voor metallisch kwik betreft dit ATSDR (2022)⁸, AEGL (2010)⁹ en MAK (2016)¹⁰. Tevens is in het REACH-registratiedossier (ECHA, 2010)¹¹ en in een rapport van de Gezondheidsraad (2000)¹² gekeken of er nog aanvullende studies waren. Waar nodig zijn de originele publicaties geraadpleegd. Het uitvoeren van een volledig literatuuronderzoek valt buiten deze opdracht.

Op basis van de hierboven genoemde bronnen zijn de studies in een overzicht verzameld. Dit overzicht (niet gepresenteerd) omvat zowel humane data als proefdierdata, met zowel eenmalige als herhaalde inhalatieblootstelling aan metallisch kwik. Hierbij wordt het volgende opgemerkt:

- In humane case studies is de blootstelling onvoldoende gekwantificeerd, waardoor deze data niet bruikbaar zijn voor een kwantitatieve risicobeoordeling. Tevens betreft dit in de meeste gevallen eenmalige blootstelling en zullen mogelijk niet alle relevante parameters onderzocht zijn.
- Het overgrote deel van de studies die in de secundaire bronnen gepresenteerd worden, betreft epidemiologische studies. De blootstelling aan kwik is in deze studies gepresenteerd als kwikgehalten in de urine en in sommige studies in bloed en haren. Opgemerkt wordt dat dit refereert aan totale gemiddelde blootstelling, waarbij het onderliggende blootstellingsscenario (inclusief mogelijke pieken) onbekend is. Om die reden zijn deze data niet bruikbaar voor de huidige onderzoeksvraag.

⁸ Review gericht op de toxicologische informatie voor de mens (algemene bevolking), opgesteld door ATSDR (*Agency for toxic substances and disease registry*) uit de Verenigde Staten.

⁹ Review gericht op de toxicologische informatie voor de mens (algemene bevolking) specifiek gericht op het afleiden van toetsingswaarde voor de incidentbestrijding (eenmalige inhalatieblootstelling), opgesteld door het AEGL (*Acute Exposure Guideline Level*) comité uit de Verenigde Staten.

¹⁰ Review gericht op het afleiden van een gezondheidskundige grenswaarde op de werkplek, opgesteld door het Duitse MAK (*Maximale Arbeitsplatzkonzentration*) comité.

¹¹ Dossier, opgesteld door bedrijven in het kader van de REACH-wetgeving (*registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals*), met informatie over de eigenschappen en gebruiksvormen van de stoffen die zij vervaardigen of importeren in hoeveelheden van meer dan één ton per jaar.

¹² Review gericht op de effecten op de reproductie, uitgevoerd door de Nederlandse Gezondheidsraad.

Beide typen studies zijn niet verder beschouwd. Het uiteindelijke overzicht met toxiciteitsdata omvat daarom alleen dierstudies.

Vervolgens zijn relevante toxiciteitsdata geselecteerd passend bij het doel, namelijk het uitvoeren van een risicobeoordeling van kortdurende blootstelling aan hoge concentraties kwik als gevolg van kwik in aardgas door koken (inclusief gebruik waterboiler). Hierbij is zowel gekeken naar de toegepaste duur van de blootstelling per dag als ook het aantal dagen van blootstelling in de studie.

Zoals beschreven in paragraaf 3.1 is als uitgangspunt een dagelijkse 3-uurs durende blootstelling aan een luchtconcentratie van 0,37 µg/m³ kwik genomen. Hierbij is de duur van de pieken (*i.e.*, de duur dat de gezondheidkundige grenswaarde voor levenslange blootstelling overschreden is) opgeteld. Studies werden als relevant beschouwd als de dagelijkse blootstellingsduur minder dan 24 uur per dag was. Zoals eerder gesteld wordt aangenomen dat de dagelijkse piekconcentraties levenslang kunnen voorkomen. De halfwaardetijd van kwik is relatief lang (zie paragraaf 3.2.1). Op basis hiervan worden langdurende studies, waarbij impliciet accumulatie is meegenomen, als het meest relevant beschouwd. Studies met eenmalige blootstelling werden daarom buiten beschouwing gelaten, tenzij de blootstelling plaatsvond tijdens de dracht. Dit omdat aangenomen wordt dat ook eenmalige blootstelling tijdens de meest kwetsbare periode van de embryonale of foetale ontwikkeling kan resulteren in nadelige effecten op het nageslacht (van Raaij et al., 2003).

3.2.6 *Overzicht relevante toxiciteitsdata*

Bijlage B presenteert een overzicht van de relevante studies die geselecteerd zijn voor de uiteindelijke risicobeoordeling. Deze dataset omvat toxiciteitsstudies in ratten, muizen, konijnen, honden en apen met blootstelling aan metallisch kwik via de inhalatieroute. De studies kunnen wat betreft doel en geobserveerde effecten onderverdeeld worden in drie typen studies:

- Studies waarin volwassen dieren blootgesteld worden (tabel B-1 in bijlage B). Dit betreft studies in muizen, ratten, honden en konijnen.
De waargenomen effecten betreffen effecten op de luchtwegen, neurologische effecten (waaronder tremoren en gedragseffecten), effecten op de nieren, hersenen en andere organen.
- Studies gericht op de fertiliteit (tabel B-2 in bijlage B). Dit betreft studies in ratten.
De waargenomen effecten in deze studies betreffen met name effecten op de cyclus en hormoongehalten (vrouwelijke dieren) en op de spermatogenese (mannelijke dieren).
- Pre- en postnatale ontwikkelingstoxiciteitstudies (tabel B-3 in bijlage B). In deze studies zijn respectievelijk embryo's/foetussen *in utero* (gedurende de dracht) blootgesteld via inhalatieblootstelling van het moederdier, en jonge dieren direct na de geboorte via inhalatieblootstelling. Dit betreft studies in apen en ratten.
De waargenomen effecten in deze studies betreffen met name

motorische effecten en effecten op de gedragsontwikkeling waaronder het lerend vermogen.

Opgemerkt wordt dat de dataset geen enkele studie omvat die een testrichtlijn (TG, test guideline) van de OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) volgt (OECD TG) en is uitgevoerd conform GLP (Good Laboratory Practice). Daarnaast is in het merendeel van de studies maar één blootstellingsconcentratie getest waardoor het afleiden van een blootstelling-respons relatie niet mogelijk is.

Om te kunnen bepalen welke toxiciteitsstudies het meest relevante en geschikte uitgangspunt voor de risicobeoordeling geven, wordt bekeken:

- welke studie het meest kritische (i.e., meest gevoelige) effect laat zien, in combinatie met,
- de meest toepasselijke blootstelling voor het te beoordelen blootstellingsscenario.

Zie verder de paragraaf 3.3.

3.3 Risicobeoordeling

3.3.1 Aanpak risicobeoordeling

Er bestaan geen gezondheidkundige grenswaarden voor een blootstellingsscenario waarbij meerdere piekmomenten op één dag plaatsvinden. Een directe vergelijking tussen de piekconcentraties en een bijbehorende gezondheidkundige grenswaarde is derhalve niet mogelijk. Voor de risicobeoordeling is daarom een indirecte vergelijking toegepast, met behulp van de Margin of Safety (MOS) benadering. Zoals hieronder nader uitgelegd, wordt in deze benadering eerst de blootstelling vergeleken met de dosis of concentratie waarbij geen of slechts een gering effect optreedt, waarna in tweede instantie gekeken wordt of de resulterende marge tussen beide (de MOS) voldoende groot is.

Bij de MOS benadering wordt gebruik gemaakt van informatie over toxicologische gezondheidseffecten die waargenomen zijn bij een blootstellingspatroon dat zoveel mogelijk aansluit bij het te beoordelen blootstellingsscenario voor de mens. Hierbij wordt de ratio berekend van de blootstellingsconcentratie waarbij geen of slechts een gering effect is waargenomen (de 'Point of Departure'; PoD) en de geschatte humane blootstellingsconcentratie. De MOS wordt als volgt berekend:

$$\text{MOS} = \frac{\text{PoD}}{\text{Humane blootstelling}}$$

In het geval van kwik is in de meeste dierstudies slechts één blootstellingsconcentratie toegepast (zie bijlage B). Hierdoor kan alleen een NOAEC¹³ of LOAEC¹⁴ worden afgeleid en gekozen worden als PoD.

¹³ *No-Observed Adverse Effect Concentration*; de hoogst geteste concentratie in een studie waarbij geen nadelig effect waargenomen is

¹⁴ *Lowest-Observed Adverse Effect Concentration*; de laagst geteste concentratie in een studie waarbij een nadelig effect waargenomen is

Voor de humane blootstelling is in eerste instantie uitgegaan van een dagelijkse drie uur durende blootstelling aan de C_{\max} van $0,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (zie paragraaf 3.1).

Om te kunnen beoordelen of een MOS groot genoeg is om te concluderen dat er geen gezondheidsrisico voor de mens is, wordt met behulp van assessment factoren (AFs) berekend hoe groot de MOS minimaal zou moeten zijn. AFs worden toegepast om de verschillen tussen de blootstelling bij het dier (de PoD) en de te beoordelen humane blootstelling te overbruggen. Hierbij kan worden gedacht aan verschillen tussen mens en dier, verschil in gevoeligheid tussen mensen onderling en verschil in blootstellingsomstandigheden. Deze minimale MOS wordt vastgesteld op basis van (standaard) AFs.

In de risicobeoordeling voor het blootstellingsscenario voor inhalatie van kwik via aardgas voor de consument zijn de AFs meegenomen voor: dier-mensextrapolatie (interspecies), verschil in gevoeligheid tussen mensen (intraspecies), blootstellingsduur, blootstelling-respons relatie (LOAEC naar NOAEC, indien geen NOAEC beschikbaar is), en de kwaliteit van de database, zoals beschreven door ECHA (2012) in het kader van de REACH wetgeving:

- AF voor dier-mensextrapolatie (interspecies)
Voor inhalatie wordt een standaardfactor van 2,5 toegepast.
- AF voor verschil in gevoeligheid tussen mensen (intraspecies)
De standaardfactor voor deze AF is 10.
- AF voor blootstellingsduur
 - Bij gebruik van een sub-acute studie (een dierstudie met een studieduur van 4 weken) naar een chronische studie wordt een standaardfactor 6 toegepast.
 - Voor de extrapolatie vanuit een sub-chronische studie (een dierstudie met een studieduur van 13 weken) naar chronisch wordt een standaardfactor 2 toegepast.

Hierbij wordt opgemerkt dat in geval van accumulatie, wat bij kwik het geval is, de blootstellingsduur in de toxiciteitsstudies voldoende lang moet zijn om de periode van accumulatie (i.e. de tijdsperiode tot het bereiken van *steady state*) af te dekken. Langdurende studies worden daarom dan ook als meest relevant beschouwd.

- Bij studies naar prenatale ontwikkelingstoxiciteit, waarbij de blootstelling in principe plaatsvindt in het meest relevante tijdsvenster (in dit geval tijdens de dracht), wordt er geen correctie toegepast voor de blootstellingsduur.
- Dit wordt in de huidige risicobeoordeling ook op die manier toegepast op neurologische ontwikkelingsstoornissen gekoppeld aan postnatale blootstelling van het jonge dier direct na de geboorte. Dit omdat de ontwikkeling van het zenuwstelsel een complexe wisselwerking tussen diverse processen omvat die zowel prenataal als postnataal plaatsvinden en die zowel in tijd als in regio van het zenuwstelsel gereguleerd zijn. Daarnaast loopt de ontwikkeling van een pasgeboren ratten-pup niet parallel met die van een pasgeboren baby (ECHA, 2022). Aangenomen wordt dat een effect op de ontwikkeling die bij de rat als

gevolg van postnatale blootstelling ontstaat, relevant kan zijn voor de beoordeling van prenatale blootstelling bij de mens.

- AF voor blootstelling-respons
In het geval van een LOAEC als PoD wordt een factor van standaard 3 toegepast voor extrapolatie naar NOAEC.
- AF voor de kwaliteit van de database
Deze factor wordt toegepast als er slechts een beperkt aantal studies beschikbaar zijn, of maar een beperkt aantal toxicologische eindpunten zijn onderzocht. In het geval van kwik zijn er voldoende epidemiologische en toxicologische studies (waarmee eindpunten als reproductietoxiciteit en carcinogeniteit afgedekt zijn) beschikbaar waardoor een AF voor de kwaliteit van de database niet nodig geacht wordt.

Bij het toepassen van de MOS-benadering zijn er naast de kwantificeerbare verschillen, i.e. de bovengenoemde AFs, ook niet-kwantificeerbare verschillen die gerelateerd zijn aan verschillen in de blootstellingskarakteristieken. Dit kunnen het aantal uur per dag en dagen per week betreffen. Deze niet-kwantificeerbare verschillen zullen meegenomen worden in de vorm van tekst en *expert judgement*.

3.3.2 Resultaten van de risicobeoordeling

In tabellen B-1, B-2 en B-3 in bijlage B worden voor de verschillende geselecteerde studies de PoD, de van toepassing zijnde AFs, de berekende MOS en de minimale MOS gepresenteerd. Deze tabellen laten zien dat de berekende MOS voor alle studies groter is dan de minimale MOS. Voor bijna alle studies is de MOS ruim groter, terwijl twee studies een relatief klein verschil laten zien tussen de berekende MOS en de minimale MOS. Voor deze twee studies is aanvullend nog gekeken naar de verschillen in blootstellingskarakteristieken.

Yoshida et al. (2004; zie tabel B-1) vinden in een studie met muizen gedragseffecten bij 60 µg/m³ bij een blootstelling van 8 uur per dag, 7 dagen/week, gedurende 23 weken. De gedragseffecten werden gezien na zowel 12 als 23 weken blootstelling. De ratio tussen de berekende MOS van 162 en de minimale MOS van 150 (interspecies: 2,5; intraspecies: 10, blootstellingsduur: 2, blootstelling-respons: 3) is iets groter dan 1 (i.e. 1,1).

De studieduur van 23 weken (met tussentijdse evaluatie na 12 weken blootstelling) wordt als relevant beschouwd. Kwik zal in de tijd accumuleren in weefsels, waarbij de halfwaardetijd in muizen gelijk verondersteld wordt aan die in ratten (75-120 dagen, zie paragraaf 3.2.1). Op basis daarvoor wordt aangenomen dat over de studieduurperiode in de Yoshida studie een *steady state* is bereikt en dat de studieduur voldoende lang is.

Opgemerkt wordt dat de dagelijkse blootstellingsduur van 8 uur in deze studie veel langer is dan het piekmoment behorend bij de gemodelleerde piekconcentratie voor kwik in het gekozen blootstellingsscenario. Dit, plus het zeer conservatieve karakter van de berekende maximale luchtconcentratie in het blootstellingsscenario, maakt dat de berekende MOS aan de lage kant is. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat de marge voldoende groot is.

In de studie van Frederiksson et al. (1992; zie tabel B-3) zijn jonge ratten gedurende dag 11-17 na de geboorte blootgesteld aan $50 \mu\text{g kwik}/\text{m}^3$, in het ene experiment gedurende 1 uur per dag en in het andere experiment gedurende 4 uur per dag. Na 2 en 4 maanden werden motorische effecten gevonden. Na 6 maanden werd een effect gevonden op het leervermogen wat betreft ruimtelijk inzicht. Voor beide experimenten geldt dat de ratio tussen de berekende MOS van 135 en de minimale MOS van 75 (interspecies: 2,5; intraspecies: 10, blootstelling-respons: 3) 1,8 betreft. De dagelijkse blootsteldingsduur in één van de experimenten van Frederiksson et al. (1992) is echter korter (namelijk 1 uur) dan de dagelijkse drie uur durende blootstelling in het blootstellingsscenario dat als uitgangspunt voor de risicobeoordeling gehanteerd is. Echter, rekening houdend met het zeer conservatieve karakter van de berekende maximale luchtconcentratie in het blootstellingsscenario, wordt ook hier de marge als voldoende groot gezien.

Op grond van bovenstaande kan geconcludeerd worden dat voor alle studies de berekende MOSsen voldoende groot zijn ten opzichte van de minimale MOSsen. Dit betekent dat er voor het beoordeelde blootstellingsscenario geen gezondheidsrisico's te verwachten zijn. Een verfijning van de blootstellingschatting ten behoeve van de risicobeoordeling is derhalve niet nodig.

3.4 Discussie en conclusie

De huidige risicobeoordeling richt zich op kortdurende, maar dagelijks terugkerende blootstelling aan piekconcentraties kwik in de binnenlucht door het gebruik van aardgas tijdens koken en het gebruik van een waterboiler. Dit blootstellingsscenario betreft de situatie 2012-2013. Deze risicobeoordeling is uitgevoerd op basis van een zeer *worst-case* blootstellingschatting. Dit betreft zowel de wooncondities, de duur van de piekconcentratie die naar 3 uur is gezet, als de hoogst gemodelleerde piekconcentratie in de binnenlucht. Waarbij deze laatste ook nog eens gebaseerd is op een *worst-case* concentratie kwik in aardgas die ruwweg een factor 25-60 hoger is dan de destijds gevonden range uit metingen naar kwikgehalten in aardgas. Daarbij wordt de bijdrage van waterboilers aan de kwikconcentratie in de binnenlucht mogelijk overschat (ter Burg, 2022). Dit komt doordat waterboilers een rookgasafvoer hebben, en doordat de waterboiler niet altijd tegelijkertijd en in dezelfde ruimte wordt gebruikt met de gaskookplaat.

Omdat er geen gezondheidkundige grenswaarden bestaan voor een blootstellingsscenario waarbij meerdere piekmomenten op één dag plaatsvinden, is voor de huidige risicobeoordeling literatuuronderzoek gedaan naar toxicologische studies waarin het blootstellingspatroon zo dicht mogelijk aansluit bij de gemodelleerde kwikconcentratie (inhalatie, minder dan 24 uur per dag, voor langere tijd). Dit liet zien dat er relatief veel van dergelijke studies met metallisch kwik beschikbaar zijn, in zowel mens als proefdieren, met informatie over relatief veel toxicologische eindpunten. De beschikbare informatie laat een risicobeoordeling met behulp van de MOS-benadering toe, waarin voor de zeer *worst-case* blootstellingschatting van $0,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kwik de marge bepaald is ten opzichte van de concentraties in de relevante

toxicologische studies waarbij geen of slechts een gering effect is waargenomen. Voor alle beschikbare studies en eindpunten bleken de marges groot genoeg, ook voor het meest kritische effect gevonden in de studies, namelijk gedragseffecten.

Deze risicobeoordeling laat zien dat er, zelfs onder zeer *worst-case* aannames qua blootstelling en met medeneming van de meest kritische toxicologische eindpunten, geen gezondheidsrisico's te verwachten zijn voor de algemene bevolking (inclusief mogelijk gevoelige groepen als zwangeren en jonge kinderen) bij het beoordeelde blootstellingsscenario.

Een overgebleven onzekerheid in de blootstellingschatting is hoe de fluctuatie in piekconcentraties op één dag of over de dagen eruit kan zien. Daarnaast is het verbruik van aardgas gebaseerd op een gemiddeld verbruik van aardgas voor koken in Nederlandse huishoudens (zie hoofdstuk 2). Gezien het zeer conservatieve karakter van de geschatte blootstelling en de berekende MOS-waarden, wordt ingeschat dat deze fluctuaties niet zullen leiden tot gezondheidsrisico's.

Geconcludeerd wordt dat blootstelling aan de gemodelleerde piekconcentraties van kwik in de lucht, als gevolg van de aanwezigheid van kwik in aardgas (tot 20 µg kwik per m³ aardgas), geen gezondheidsrisico's met zich meebrengt wanneer in huishoudens gebruik gemaakt wordt van een gaskookplaat en waterboiler.

4 Referenties

AEGL (2010). Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs) for mercury vapor (Hg^0) (CAS Reg. No. 7439-97-6). Interim 09/2010.

https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-09/documents/mercury_vapor_interim_sept_2010.pdf

ATSDR (2022). Toxicological profile for mercury. Draft for public comment. April 2022. Agency for toxic substances and disease registry.

<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.pdf>

Bremmer HJ, Prud'Homme de Lodder LCH, van Engelen JGM (2006). General fact sheet - Limiting conditions and reliability, ventilation, room size, body surface area. Updated version for ConsExpo 4. RIVM rapport 320104002

ECHA (2008). Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.8: Characterisation of dose [concentration]-response for human health. Version 2.1 November 2012. European Chemical Agency, Helsinki, Finland.

https://echa.europa.eu/documents/10162/17224/information_requirements_r8_en.pdf/e153243a-03f0-44c5-8808-88af66223258?t=1353935239897

ECHA (2010). REACH registratiedossier van metallisch kwik. Gepubliceerd 2 maart 2011, aangepast 20 november 2010.¹⁵

<https://echa.europa.eu/nl/registration-dossier/-/registered-dossier/5169> (geraadpleegd 17 maart 2023)

ECHA (2022). RAC Guidance note: addressing developmental neurotoxicity and neurotoxicity under the current CLP hazard classes. 62nd meeting of the committee for risk assessment, 12-15 September 2022. RAC/62/2022/05.

https://echa.europa.eu/documents/10162/17090/rac_clh_guidance_note_neurotoxicity_en.pdf/96717ed9-55d3-10e0-785b-093d07e267f3?t=1665034511575

EU (2002) Ambient air pollution by mercury – Position paper. 17 October 2001 Prepared by the Working Group On Mercury. ISBN 92-894-4260-3. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e8ce1f19-59a1-4f54-9192-a7ee867a8776/language-en>

Fredriksson A, Dahlgren L, Danielsson B, et al. (1992). Behavioural effects of neonatal metallic mercury exposure in rats. Toxicology 74(2-3):151-160.

¹⁵ Opgemerkt wordt dat (één van) deze datums zoals genoemd in het REACH registratiedossier niet correct zijn.

Gezondheidsraad (2000). Health Council of the Netherlands: Committee for Compounds toxic to reproduction. Mercury and its compounds; Evaluation of the effects on reproduction, recommendation for classification. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2000; publication no. 2000/05OSH.

Janssen P en Smit E (2015). Herevaluatie MTRLucht (TCL) voor metallisch kwik. RIVM – Centrum Veiligheid Stoffen en Producten (VSP). Versie 2 (09-03-2015) [https://rvs.rivm.nl/sites/default/files/2018-05/RIVM Kwik - afleiding TCL metallisch kwik definitief 150309.pdf](https://rvs.rivm.nl/sites/default/files/2018-05/RIVM%20Kwik%20-%20afleiding%20TCL%20metallisch%20kwik%20definitief%20150309.pdf)

Jongeneel WP, van Pelt K, Esser PAMJ, Gevers MC, Groenewold AW, de Groot AC, Keuken RH, van Knapen L, Krijgsman M, van Brederode NE (2011). GGD-richtlijn medische milieukunde: Kwik in het binnenmilieu en gezondheid. RIVM rapport 609300021. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/609300021.pdf>

MAK (2016). Mercury and inorganic mercury compounds. The MAK Collection for Occupational Health and Safety 2016, Vol 1, No 1. DOI: 10.1002/3527600418.mb743997ano5116. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/3527600418.mb743997ano5116>

NAM rapport (2013). Mercury exposure in Dutch households supplied by gas. 2 October 2013

NAM rapport (2014). Mercury exposure in Dutch households supplied by Groningen gas. Doc. No. EP201307215934. Version 3. 30-04-2014.

Ter Burg W (2022). Evaluatie van rapport 'Mercury exposure in Dutch households supplied by gas'. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. 13-12-2022 [*zie bijlage A van huidige rapport*]

Van Raaij MTM, Janssen PAH en Piersma AH (2003). The relevance of developmental toxicity endpoints for acute limit setting. RIVM-rapport 601900004/2003. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/601900004.pdf>

Verordening (EG) Nr 1272/2008 van het Europees parlement en de raad van 16 december 2008 betreffende de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels tot wijziging en intrekking van de Richtlijnen 67/548/EEG en 1999/45/EG en tot wijziging van Verordening (EG) nr. 1907/2006

Yoshida M, Watanabe C, Satoh M, Yasutake A, Sawada M, Ohtsuka Y, Akama Y, Tohyama C. (2004). Susceptibility of metallothionein-null mice to the behavioral alterations caused by exposure to mercury vapor at human-relevant concentration. Toxicol. Sci. 80:69-73.

5 Lijst met afkortingen en begrippen

AEGL: Acute Exposure Guideline Level

AFs: Assessment factoren

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry

Daggemiddelde concentratie: dit is een berekende luchtconcentratie, waarbij de hoeveelheden/concentraties kwik die vrijkomen tijdens piekmomenten worden gedeeld over een bepaalde tijdsperiode (in dit geval over 24 uur).

GD: *Gestation Day* (dag van de dracht)

Gezondheidskundige grenswaarde: de maximale hoeveelheid van een stof die iemand binnen mag krijgen (bijvoorbeeld via inslikken of inademing), zonder dat dit gevolgen heeft voor de gezondheid. Een gezondheidskundige grenswaarde is gekoppeld aan een bepaalde duur van blootstelling, bijvoorbeeld kortdurend of levenslang.

GLP: Good Laboratory Practice

Halfwaardetijd: Tijd die het lichaam nodig heeft om de helft van een ingenomen hoeveelheid stof te verwijderen door de stof uit te scheiden en/of af te breken.

LOAEC: *Lowest-Observed Adverse Effect Concentration*

De laagst geteste concentratie in een studie waarbij een nadelig effect waargenomen is.

MAK: *Maximale Arbeitsplatzkonzentration*

MOS: margin of safety

MTR_{lucht}: maximaal toelaatbaar risiconiveau voor lucht

Het MTR_{lucht} is de concentratie van een stof in de lucht waar beneden geen negatieve effecten op de gezondheid zijn te verwachten.

NGF: nerve growth factor

NOAEC: *No-Observed Adverse Effect Concentration*

De hoogst geteste concentratie in een studie waarbij geen nadelig effect waargenomen is.

Nose-only: manier van blootstellen van het proefdier in geval van inhalatie waarbij alleen de neus in contact komt met de lucht waarin een chemische stof aanwezig is

OECD TG: Organisation for Economic Cooperation and Development Test Guideline

Piekconcentratie (C_{\max}): een relatief kortdurende, verhoogde luchtconcentratie (ten opzichte van bijvoorbeeld de achtergrondconcentratie of de gezondheidskundige grenswaarde).

PND: *postnatal day* (dag na de geboorte)

PoD: *point of departure*

Uitgangspunt (voor de risicobeoordeling), doorgaans een NOAEC of LOAEC

REACH: *Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals* (Registratie, Evaluatie, Autorisatie en restrictie van Chemische stoffen)

REACH is een Europese verordening over de productie van en handel in chemische stoffen.

Steady state: Wanneer de snelheid van toevoer van een stof gelijk is aan de snelheid van verwijdering, wordt een stabiele toestand (*steady state*) bereikt

Whole body: manier van blootstellen van het proefdier in geval van inhalatie waarbij het hele lichaam in contact komt met de lucht waarin een chemische stof aanwezig is

WT: *wild-type*

6 Bijlage A Evaluatie van rapport 'Mercury exposure in Dutch households supplied by gas' (ter Burg, 2022)

Opdrachtgever: Staatstoezicht op de Mijnen (SodM)
Opgesteld door: RIVM
Datum opdracht: 15-11-2022
Datum oplevering: 13-12-2022
Auteur:
Toetsers:
Versie: 1.0

Onderwerp

Kwik in aardgas

Vraagstelling

De Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) heeft in 2013 de blootstelling aan kwik in het binnenmilieu als gevolg van de aanwezigheid van kwik in aardgas gemodelleerd. In deze modellering is gebruik gemaakt van de concentratie aan kwik in aardgas en van verschillende gebruikerscondities. Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) heeft RIVM gevraagd om een onafhankelijk oordeel ten aanzien van het (vertrouwelijke) rapport van de NAM van 2 oktober 2013, getiteld 'Mercury exposure in Dutch households supplied by gas'. Hierbij is RIVM specifiek verzocht om met haar eigen model te controleren of:

1. "de aannames in deze studie correct zijn (zijn de gebruikerscondities reëel),
2. de correlatie tussen kwikconcentratie in de pijpleiding en binnenomgeving klopt. (Is de concentratie kwik in de leefomgeving correct berekend),
3. Zijn piekconcentraties acceptabel, ook al overschrijden ze niet de norm levenslange blootstelling (NOAEL = gemiddelde van 50 nanogram/Nm³)?"

De derde vraagstelling zal, zoals afgestemd met SodM, niet worden beantwoord in dit advies, omdat het een uitgebreide risicobeoordeling vereist van de geïdentificeerde piekblootstellingen in het rapport. Dat past niet binnen de gestelde reactieperiode.

SodM heeft RIVM gevraagd om een reactie vóór 15 december 2022.

Conclusies

Beantwoording van vraag 1: controleer of de aannames in deze studie correct zijn (zijn de gebruikerscondities reëel)?

De gebruikerscondities, die in het NAM rapport zijn gekozen om te evalueren of de EU advieswaarde voor kwik overschreden kan worden door de aanwezigheid van kwik in aardgas, zijn niet reëel. Redenen hiervoor zijn:

- de combinatie koken op gas én het gebruik van waterboilers op gas nauwelijks meer voorkomt;
- deze twee bronnen (gaskookplaat en waterboiler) niet altijd in dezelfde locatie worden gebruikt;
- waterboilers rookgasafvoeren hebben waardoor de bijdrage van deze bron in de praktijk veel lager zal liggen;
- voor het bepalen van piekconcentraties kun je niet zomaar beide bronnen bij elkaar optellen, omdat ze niet tegelijkertijd in die mate bijdragen;
- zowel voor het gasverbruik als voor wooncondities is uitgegaan van gemiddelden.

Het combineren van de twee bronnen enerzijds en uitgaan van gemiddelden anderzijds zorgt ervoor dat het lastig is om te schatten of het gekozen scenario een worst-case schatting geeft.

Beantwoording van vraag 2: controleer of de correlatie tussen kwikconcentratie in de pijpleiding en binnenomgeving klopt. (Is de concentratie kwik in de leefomgeving correct berekend)?

Concluderend kan worden gesteld dat het gebruikte model in het NAM rapport geschikt is om een van aardgas afkomstige kwikconcentratie in een ruimte te berekenen. De aannames in het blootstellingsscenario, zoals constante emissie van aardgas, homogene verspreiding in de ruimte, kwik blijft beschikbaar na verbranding aardgas, zijn geschikt wanneer een gemiddelde luchtconcentratie kwik berekend moet worden. Met behulp van ConsExpo Web werden dezelfde resultaten verkregen onder de aanname dat de achtergrondconcentratie is meegenomen.

Aanpak

Om de vragen van SodM te beantwoorden wordt het NAM rapport op algemene punten geëvalueerd. Wat waren de gestelde doelen in het NAM rapport en wat was hun werkwijze.

Vervolgens is het NAM rapport specifiek beoordeeld op de gevraagde onderwerpen 'aannames met betrekking tot gebruikerscondities' en 'uitgevoerde berekeningen'. Voor de twee specifieke vragen is steeds eerst beschreven wat men in het NAM rapport heeft gedaan, vervolgens wat de mening van het RIVM hierover is om uiteindelijk per vraag een conclusie te presenteren.

Algemene indruk van RIVM bij het NAM rapport 'Mercury exposure in Dutch households supplied by gas'

Het doel van het NAM rapport is tweeledig.

1. Het ontwikkelen van een model waarmee de blootstelling aan kwik in binnenmilieu door gasverbranding in Nederlandse huishoudens kan worden berekend.
2. Bepalen of kwik in aardgas kan leiden tot overschrijdingen van de EU advieswaarde gerapporteerd in RIVM rapport 609300021 (Jongeneel et al., 2011).

Onder de tweede doelstelling is vervolgens gekeken:

- 1a) wat de dagelijkse gemiddelde luchtconcentratie is in het binnenmilieu door gebruik van aardgas,
- 1b) wat de piekconcentraties zijn,
- 2a) bij welke concentraties van kwik in aardgas een dagelijkse gemiddelde luchtconcentratie van $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kan ontstaan en;
- 2b) bij welke concentraties van kwik in aardgas piekconcentraties hoger dan $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kunnen ontstaan.

De algemene indruk van het NAM rapport is dat de verschillende stappen om tot het model en bijbehorende berekeningen te komen wel zijn beschreven, maar niet in volledig detail.

Zo zijn de keuzes voor uitgangswaarden voor gebruikerscondities binnen de stappen niet altijd even duidelijk onderbouwd. En hoewel gekozen is voor gerenommeerde bronnen (zoals RIVM voor de norm voor kwik in binnenmilieu en het Bouwbesluit voor wooncondities), wordt niet aangegeven of er verder gekeken is naar mogelijke andere bronnen en er wordt geen verantwoording gegeven waarom de gebruikte bronnen het meest geschikt zijn voor hun gekozen scenario. Alleen wat betreft het gemiddelde gasverbruik bij koken is de onderbouwing beter beschreven door voor het gasverbruik uit meerdere bronnen informatie te gebruiken. Als laatste wordt opgemerkt dat de berekeningen in het rapport niet worden beschreven noch uitgeschreven, waardoor het niet transparant was hoe de berekeningen uitgevoerd werden.

Overigens merkt het RIVM op dat in het NAM rapport (pagina 6) het volgende statement wordt gemaakt: "PLEASE NOTE that the RIVM does not regard a exposure $> 0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ life time exposure limit as harmful, as long as the average lifetime exposure remains $< 0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ". Dit statement is geen correcte weergave van mogelijke gezondheidseffecten bij piekconcentraties en is niet te herleiden tot teksten uit Jongeneel et al. (2011).

De gemaakte aannames in het NAM rapport houden verband met de gestelde doelen in het rapport. Bij de beantwoording van vraag 1 van SodM, "zijn de gebruikerscondities reëel?", houdt het RIVM nadrukkelijk rekening met de gestelde doelen in het NAM rapport waarvoor de gebruikerscondities zijn gebruikt.

Vraag 1: Controleer of de aannames in het NAM rapport correct zijn (zijn de gebruikerscondities reëel).

Aannames in het NAM rapport – beschrijving van het scenario

Het scenario in het NAM rapport gaat uit van het vrijkomen van kwik tijdens het gebruik van aardgas bij koken en het gebruik van een 'open' waterboiler (geiser) in een woonvertrek gedurende een dag. Het scenario beschrijft dus de emissie van kwik uit twee bronnen in een ruimte. Dit woonvertrek wordt niet verder gespecificeerd. De hoeveelheid kwik die per dag vrij kan komen is bepaald door het jaarverbruik van gas via koken op gas en gebruik van de waterboiler te delen door 365 dagen in een jaar. Vervolgens zijn drie manieren van emissie doorgerekend: 1. continue emissie van kwik, 2. emissie van kwik tijdens piekmomenten op een dag van eenmalig 1 uur, 3. emissie van kwik tijdens piekmomenten op een dag van drie maal 20 minuten. Daarbij wordt aangenomen dat kwik vrijkomt tijdens gebruik van aardgas en zich homogeen verdeelt over de ruimte. Hoewel het niet specifiek wordt vermeld, gaat men in het NAM rapport ervan uit dat kwik als kwikdamp vrijkomt en niet verbrandt met aardgas verbranding.

Opmerkingen RIVM over scenario

De aanname dat kwik niet zal verbranden bij het gebruik van aardgas is gegronnd, omdat kwik wordt beschouwd als niet brandbaar (Chemiekaarten, 2021). Kwik zal daarom als kwikdamp vrijkomen in de ruimte.

De aanname dat de verspreiding door de ruimte homogeen zal zijn is een gebruikelijke aanname, maar hierbij kan worden opgemerkt dat een persoon zich tijdens het koken dicht bij de bron bevindt. Te overwegen valt om bij het koken uit te gaan van de ademzone in plaats van de woonruimte wanneer gekeken wordt naar kortdurende piekblootstellingen (bijvoorbeeld bij het kortstondig opwarmen van theewater). Bij meer langdurige kookmomenten is het realistischer om uit te gaan van de homogene verdeling van kwikdamp door de ruimte.

Het scenario beschrijft de luchtconcentratie in een woonruimte door zowel het koken op gas als het gebruik van een waterboiler op gas. Dit scenario was in 2013 tijdens het uitkomen van het NAM rapport al een worst-case scenario. De uitfasering van open waterboilers op gas vond namelijk al enige tijd plaats vanwege de mogelijke risico's door koolmonoxide vorming. In 2013 waren er naar schatting nog zo'n 550.000 woningen in Nederland met een waterboiler op gas (De Haas en partners en TU Delft, 2013). Daarbij is het tevens de vraag of de waterboiler in dezelfde ruimte is geplaatst als waar gekookt wordt en of bij het warm water tappen de gebruiker zich in dezelfde ruimte bevindt als de waterboiler. Het NAM rapport geeft aan dat dergelijke apparaten zich wel in woonruimtes kunnen bevinden waar gekookt wordt, of in andere leefruimtes.

Verder is de vraag hoe 'open' waterboilers zijn, omdat gasafvoer wel aanwezig is in dergelijke systemen. Het 'open' slaat vooral op de luchtaanvoer en niet op de afvoer van de rookgassen. Het is wel mogelijk dat door mechanische ventilatie onbedoeld rookgassen de ruimte in worden gezogen, maar hier hoort men rekening mee te houden bij installatie. Of waterboilers, in de praktijk, bijdragen aan kwikconcentraties in het binnenmilieu zoals aangenomen in het NAM rapport is dus zeer de vraag. Er zal veel minder kwik in de ruimte kunnen vrijkomen dan nu wordt aangenomen in het NAM rapport vanwege rookgasafvoer. Dat zou onderzocht kunnen worden door te bepalen of waterboilers op gas een significante bijdrage kunnen hebben aan de kwikconcentratie in het binnenmilieu.

Het is niet uit te sluiten dat er nog steeds waterboilers op gas in gebruik zijn die in de keuken zijn geplaatst, echter wordt het heden ten dagen niet beschouwd als een realistisch scenario. Het valt te betwisten dat de luchtconcentratie kwik in de keuken wordt veroorzaakt door zowel het koken op gas als het gebruik van een waterboiler. En zelfs wanneer een waterboiler wel in dezelfde ruimte is geplaatst, is het voor het bepalen van piekconcentraties nog steeds onrealistisch dat beide bronnen op datzelfde moment significant bijdragen. Het gebruik van de waterboiler zal meer verspreid over de dag zijn, terwijl het gebruik van een gaskookplaat zich beperkt tot enkele momenten op een dag (water koken voor theewater) of zelfs tot één moment op een dag (koken). In het gebruikspatroon in het NAM rapport is het gasverbruik op een dag door drie gedeeld, maar dit sluit niet aan bij te verwachte piekmomenten. Het wordt opgemerkt dat het koken op gas een relatief klein aandeel heeft in het gasverbruik en dat de geschatte piekconcentraties voor alleen gasverbruik door koken waarschijnlijk lager zullen worden in vergelijking tot in het NAM rapport als alleen daarnaar gekeken wordt. Voor het doorrekenen van mogelijke piekconcentraties is het belangrijk een scenario op te stellen dat een piekmoment van gasverbruik beschrijft wat leidt tot mogelijk verhoogde kwikconcentraties in een woonruimte.

Aannames scenario NAM rapport – invoerwaarden

Voor het scenario in het NAM rapport worden aannames gedaan over de invoerwaarden die toegepast worden in het model en de berekeningen. Het betreft gasverbruik, hoeveelheid kwik in aardgas, kamervolume, ventilatievoud, en tijdsduur en frequentie van aardgasgebruik. Daarnaast staat beschreven dat men uitgaat van een achtergrondwaarde van kwik in het binnenmilieu van 3 ng/m^3 , gebaseerd op Jongeneel et al. (2011).

Gasverbruik: De aannames met betrekking tot het gasverbruik door koken en het gebruik van een waterboiler zijn gebaseerd op schattingen van ENECO (geciteerd in NAM rapport) over jaarlijks verbruik van gas tijdens het koken en die van ATAG-Pelgrim. De schatting van ENECO ($60 \text{ m}^3/\text{jaar}$) komt ongeveer overeen met die van ATAG-Pelgrim (een leverancier van gaskookplaten en waterboilers; geciteerd in NAM rapport), die het gasverbruik per uur schat van een 4-pits gaskookplaat (i.e. $2 \text{ m}^3/\text{uur}$) en van een waterboiler (i.e. $1,3 \text{ m}^3/\text{uur}$). In het geval van de gaskookplaat wordt door ATAG-Pelgrim een scenario geschetst van het bereiden van avondeten gedurende 20 minuten op 25% van de maximale capaciteit. Een onderbouwing voor de tijdsduur en percentage

van de capaciteit ontbreekt. Deze schatting van ATAG-Pelgrim, tezamen met de aanname dat er dagelijks gekookt wordt, komt in de buurt van de schatting van ENECO (60 m³/jaar op basis van gasverbruik geschat op basis van ATAG-Pelgrim gegevens versus de 65 m³/jaar door ENECO geschat) (geciteerd in NAM rapport).

Voor de waterboiler en gaskookplaat samen geeft ENECO een schatting van 440 m³/jaar (geciteerd in NAM rapport, 2013). Wanneer de bijdrage via de waterboiler is bepaald (440 - 65 = 375 m³/jaar) en dit wordt afgezet tegen het verbruik van gas per uur (1,3 m³/uur) zoals geschat door ATAG-Pelgrim, dan volgt daaruit dat de consumptie van gas door het gebruik van de waterboiler gemiddeld 1 uur per dag zou moeten zijn. Dit wordt als aannemelijk beschouwd in het NAM rapport.

Het wordt daarnaast aangenomen dat koken op gas en het gebruik van de waterboiler onafhankelijk is van de grootte van het huis. Het NAM rapport beschouwt continu gebruik van gas, maar ook eenmalig gebruik op een dag of driemaal daags. Het totale gasverbruik per dag blijft constant.

Hoeveelheid kwik in aardgas: De hoeveelheid kwik in aardgas is ten behoeve van de modelberekening gezet op 20 µg kwik/m³ aardgas. Gemeten concentraties kwik in aardgas lagen volgens een KEMA rapport (2012; geciteerd in NAM rapport) lager met een maximumwaarde rond 10 µg kwik/m³ aardgas (aan het eind van het transportsysteem) of in de range van 0,32-0,75 µg kwik/m³ met een uitschieter van 6,9 µg kwik/m³ (bij gasaansluiting huishouden).

Kamervolume en ventilatievoud: Met betrekking tot de wooncondities is ervoor gekozen om meerdere kamergroottes te beschrijven. Er is gerekend met drie verschillende kamervolumes (Huis A: 30, Huis B: 60 en Huis C: 120 m³) en drie ventilatievouden (luchtverversingen) van 2, 5 en 8 keer per uur. Als bron voor de ventilatievouden worden Woningbouw voorschriften uit 2003 en 2012 gegeven. Er is geen uitleg gegeven voor de keuze voor de drie kamervolumes anders dan dat ze de variatie weergeven van kamervolumes.

Tijdsduur en frequentie: Aangenomen wordt dat er dagelijks gebruik is van aardgas resulterend in een continu gebruikspatroon. Daarnaast worden twee andere gebruikspatronen doorgerekend, namelijk 1x per dag gedurende 1 uur en 3x per dag gedurende 20 minuten. De totale hoeveelheid gasconsumptie per dag blijft gelijk.

Opmerkingen RIVM over aannames invoerwaarden

Gasverbruik: Het geschatte gasverbruik bij koken op gas lijkt gebaseerd te zijn op een gemiddelde schatting. ENECO (2022) en Milieu Centraal (2022) stellen op hun websites dat koken ca. 2 tot 5% van de gemiddelde jaarlijkse gasconsumptie verbruikt en water verwarmen bedraagt 20% van de jaargemiddelde gasconsumptie. Voor het koken op gas resulteert dat volgens gegevens uit 2021 in ongeveer 24 tot 60 m³/jaar; gebaseerd op een prognose van een gemiddelde jaarlijkse gasconsumptie per huishouden van 1192 m³ aardgas van Milieu Centraal. Milieu Centraal geeft een gemiddeld gasverbruik tijdens koken van 37 m³. Andere energieleveranciers schetsen hetzelfde beeld of verwijzen door naar Milieu Centraal. Alles in oenschouw genomen, ligt

de schatting zoals gebruikt in het NAM rapport in lijn met de andere schattingen van het jaargemiddelde hierboven voor koken op gas.

Het verbruik van gas door waterboilers is niet eenvoudig te achterhalen, omdat deze waterboilers niet zoveel meer voorkomen (zie eerdere opmerking bij scenario-algemeen). De door de leverancier vermelde verbruiksgegevens van 1,3 m³ aardgas per uur lijken betrouwbaar. De aanname in het NAM rapport dat iedere dag de waterboiler gedurende een uur wordt gebruikt, resulterend in een jaarlijks gasverbruik van 375 m³/jaar, lijkt een overschatting. Gebruik makend van de informatie van de energieleveranciers en Milieu Centraal dat ca. 20% voor water verwarmen wordt gebruikt, resulteert in een schatting van ca. 240 m³/jaar.

De belangrijkste opmerking bij het geschatte gasverbruik is echter dat een gemiddeld verbruik is genomen. Hiermee wordt de mogelijke luchtconcentratie bij een hoog verbruiker onderschat. Dit is vooral evident bij het geschatte verbruik tijdens koken op gas. Ook wordt het gasverbruik uitgemiddeld over de dagen (continu gebruikerspatroon) of uitgemiddeld voor een uur of drie keer 20 minuten.

Een aanbeveling voor het bereiken van doel 2 uit het NAM rapport, namelijk of kwik in aardgas kan leiden tot mogelijke overschrijdingen van de EU advieswaarde, zou zijn om te kijken naar hoog gasverbruik tijdens koken. Voor zowel een piekbelasting (langdurig kookgerecht, veel pitten in gebruik en erna lang sudderen) als naar langdurig hoog verbruik in het geval van een hobby-kok. Hierbij zou ook rekening gehouden moeten worden met een kleinere keuken (zie opmerking hieronder bij 'kamervolume en ventilatievoud'). Als voorbeeld: dagelijks gebruik van 4-pitten op half vermogen gedurende een uur (in plaats van koken op 25% gedurende 20 min.) zou volgens de verbruiksgegevens van een gaskookplaat van ATAG-Pelgrim (uit het NAM rapport) leiden tot een verbruik van 365 m³/jaar. Uitgaande van dit voorbeeld van koken op gas worden tot 6 maal hogere kwikconcentraties berekend dan op basis van de aannames in het NAM rapport voor koken op gas.

Hoeveelheid kwik in aardgas: De kwikconcentratie in aardgas is arbitrair en worst-case op 20 µg/m³ gezet. Opgemerkt wordt dat de kwikconcentratie in aardgas lineair doorwerkt in de geschatte kwikconcentratie in het binnenmilieu.

Verder geen opmerkingen bij deze aanname, noch over de gehanteerde achtergrondconcentratie voor kwik in het binnenmilieu.

Kamervolume en ventilatievoud: Met de aannames met betrekking tot de wooncondities (drie verschillende kamervolumes en ventilatievouden) wordt variatie in luchtconcentraties aangetoond als gevolg van die wooncondities. Hoe kleiner het kamervolume en de ventilatievoud, hoe hoger de berekende luchtconcentratie zal zijn. In het NAM rapport staat geen specifieke ruimte beschreven, maar voor het scenario is het aannemelijk dat de keuken het meest relevante vertrek is vanwege het gebruik van een gaskookplaat. Omdat doel 2 van het NAM rapport is om mogelijke overschrijdingen van de kwiknorm te identificeren, zou gekeken moeten worden naar kleine keukenruimtes. In het RIVM

rapport General Fact Sheet (Te Biesebeek et al., 2014) worden standaardwaarden gepresenteerd voor ruimtes en daaraan gekoppelde ventilatievouden. Voor de keuken wordt uitgegaan van een standaardwaarde van 15 m³ met een ventilatievoud van 2,5 per uur (dit zijn 25ste percentielen van een verdeling¹⁶). Het verdient de voorkeur deze standaardwaarden uit de General Fact Sheet te gebruiken. Uitgaande van deze standaardwaarden geeft een factor 1,33 hogere uitkomst in vergelijking met de berekening in het NAM rapport voor het kleinste kamervolume (30 m³) en laagste ventilatievoud (2 per uur) (zie ConsExpo – report output – kwik in aardgas – Fact Sheet gegevens (bijlage 1)).

Tijdsduur en frequentie: Om tot piekconcentraties te komen is uitgegaan van gebruikspatronen, waarbij al het gas per dag in een uur of in drie keer 20 minuten wordt verbruikt. Dit is arbitrair gekozen. Zoals eerder aangegeven zou het meer zinvol zijn geweest om een scenario op te stellen voor piekverbruik.

Beantwoording van vraag 1: RIVM conclusie over 'Aannames gebruikerscondities'

De gebruikerscondities, die in het NAM rapport zijn gekozen om te evalueren of de EU advieswaarde voor kwik overschreden kan worden door de aanwezigheid van kwik in aardgas, zijn niet reëel. Redenen hiervoor zijn:

- de combinatie koken op gas én het gebruik van waterboilers op gas nauwelijks meer voorkomt;
- deze twee bronnen (gaskookplaat en waterboiler) niet altijd in dezelfde locatie worden gebruikt;
- waterboilers rookgasafvoeren hebben waardoor de bijdrage van deze bron in de praktijk veel lager zal liggen;
- voor het bepalen van piekconcentraties kun je niet zomaar beide bronnen bij elkaar optellen, omdat ze niet tegelijkertijd in die mate bijdragen;
- zowel voor het gasverbruik als voor wooncondities is uitgegaan van gemiddelden.

Het combineren van de twee bronnen enerzijds en uitgaan van gemiddelden anderzijds zorgt ervoor dat het lastig is om te schatten of het gekozen scenario een worst-case schatting geeft.

Vraag 2: controleer of de correlatie tussen kwikconcentratie in de pijpleiding en binnenomgeving klopt. Is de concentratie kwik in de leefomgeving correct berekend?

Berekeningen in het NAM rapport

In het NAM rapport worden op basis van de aannames de luchtconcentraties van kwik berekend. Uit de tekst wordt opgemaakt dat de luchtconcentratie bepaald wordt door een 1 uur verbruik van aardgas met 20 µg kwik/m³ aardgas. De berekende luchtconcentratie aan kwik wordt vervolgens uitgemiddeld over 24 uur, over 1 uur of over 3x 20

¹⁶ In de General fact sheet (Te Biesebeek et al., 2014) worden standaardwaarden op het 75ste of 25ste percentiel afgeleid zodat wanneer ze gebruikt worden in een modelberekening de uitkomst als realistisch worst-case beschouwd mag worden.

minuten. Daarnaast wordt weergegeven hoe lang de piek van de luchtconcentratie boven de EU advieswaarde blijft. Ook rekent men terug wat de concentratie kwik in aardgas mag zijn om de gemiddelde luchtconcentratie kwik of de piekconcentratie kwik in lucht niet de EU advieswaarde te laten overschrijden.

In het NAM rapport wordt wel een achtergrondconcentratie van kwik in lucht van 3 ng/m³ genoemd, maar er wordt niet beschreven of deze opgeteld wordt bij de berekende luchtconcentraties.

Opmerkingen RIVM bij de berekeningen

Zoals eerder aangegeven worden de berekeningen niet volledig beschreven waardoor reproduceren lastig is. Aan de hand van de beschrijvingen zijn, met behulp van ConsExpo Web (versie 1.1.0), de gemiddelde luchtconcentraties en piekconcentraties berekend. Het model "exposure to vapour: constant rate" is hiervoor gebruikt. Om de invoer in ConsExpo Web vergelijkbaar te maken aan de invoerwaarden zoals gebruikt in het NAM rapport zijn kleine aanpassingen nodig.

Het gasverbruik van 440 m³/jaar met 20 µg kwik/m³ is omgezet naar een dagelijkse hoeveelheid kwik die gedurende 1 uur kon vrijkomen ('emission duration' is 60 minuten). De 'amount used in solution' is omgezet naar 0,0241 mg kwik ($= (440/365 \times 20)/1000$). De 'exposure duration' is op 24 uur gezet om een daggemiddelde luchtconcentratie te krijgen. De overige invoerwaarden zijn hetzelfde. Door de achtergrondconcentratie van kwik in lucht bij de ConsExpo Web uitkomsten op te tellen werden dezelfde uitkomsten als gerapporteerd in het NAM rapport verkregen. Dit geldt voor de gemiddelde luchtconcentratie per dag (in uitkomsten ConsExpo Web beschreven als mean event concentration in mg/m³). Voor de piekconcentratie zoals gegeven in het NAM rapport wordt met ConsExpo Web een vergelijkbare waarde gevonden (in het NAM rapport wordt een piek van 0,35 µg/m³ berekend; in ConsExpo Web 0,34 µg/m³). Het is mogelijk dat door het optellen van de achtergrondconcentratie bij de berekende piekconcentratie in het NAM rapport het minimale verschil tussen de piekconcentraties verklaard kan worden rekening houdend met afronding van getallen ($0,34... + 0,003 = 0,35$ (na afronding)). Op basis van de modelbeschrijvingen en invoerwaarden uit het NAM rapport konden de modelberekeningen worden gereproduceerd en zijn ze correct uitgevoerd.

Zie bijlage voor de waarden voor de blootstellingsparameters en de resultaten van de ConsExpo Web berekeningen (zie ConsExpo - report output - kwik in aardgas (bijlage 2)).

Beantwoording van vraag 2: RIVM conclusie over de berekeningen

Concluderend kan worden gesteld dat het gebruikte model in het NAM rapport geschikt is om een van aardgas afkomstige kwikconcentratie in een ruimte te berekenen. De aannames in het blootstellingsscenario, zoals constante emissie van aardgas, homogene verspreiding in de ruimte, kwik blijft beschikbaar na verbranding aardgas, zijn geschikt wanneer een gemiddelde luchtconcentratie kwik berekend moet worden. Met behulp van ConsExpo Web werden dezelfde resultaten verkregen onder de aanname dat de achtergrondconcentratie is meegenomen.

Referenties bijlage A

Chemiekaarten (2021). Kwik. Kaartnummer C-0221.

De Haas en partners en TU Delft (2013). "Cijfers voortgang uitfasering open-verbrandingstoestellen". In opdracht van Ministerie van BZK.

ENECO (2022). [Gasaansluiting zonder gasmeter I Eneco](#) (geraadpleegd 21-11-2022)

Jongeneel et al. (2011). GGD-richtlijn medische milieukunde. Kwik in het binnenmilieu en gezondheid. RIVM Rapport 609300021/2011

Milieu Centraal (2022). [Stappenplan aardgasvrij wonen | Milieu Centraal](#) (geraadpleegd 21-11-2022)

NAM rapport (2013). Mercury exposure in Dutch households supplied by gas (confidential).

Te Biesebeek et al. (2014). General Fact Sheet General default parameters for estimating consumer exposure - Updated version 2014. RIVM report 090013003/2014.

Bijlage 1 (behorende bij Ter Burg, 2022)

ConsExpo – report output – kwik in aardgas – Fact Sheet gegevens

Substance Name	kwik
Product Name	aardgas

Scenario - kwik in aardgas - general fs gegevens

Frequency	1 per day
-----------	-----------

Inhalation

Exposure model	Exposure to vapour - Constant rate
----------------	------------------------------------

Exposure duration	24 hour
-------------------	---------

Product in pure form	No
----------------------	----

Molecular weight matrix	-
-------------------------	---

The product is used in dilution	No
---------------------------------	----

Product amount	0.0241 mg
----------------	-----------

Weight fraction substance	1
---------------------------	---

Room volume	15 m ³
-------------	-------------------

Ventilation rate	2.5 per hour
------------------	--------------

Inhalation rate	-
-----------------	---

Emission duration	60 minute
-------------------	-----------

Limit concentration to saturated air concentration	No
--	----

Results for scenario - kwik in aardgas - general fs gegevens

Inhalation

Mean event concentration	2.68E-05 mg/m ³
--------------------------	----------------------------

Peak concentration (TWA 15 min)	0.000572 mg/m ³
---------------------------------	----------------------------

Mean concentration on day of exposure	2.68E-05 mg/m ³
---------------------------------------	----------------------------

Year average concentration	2.68E-05 mg/m ³
----------------------------	----------------------------

Report date (dd-mm-yyyy) and time: 02-12-2022

RIVM ConsExpo Web, version 1.1.1

Bijlage 2 (behorende bij Ter Burg, 2022)

Consexpo – report output – kwik in aardgas

Substance Name kwik
Product Name aardgas

Scenario 1 - kwik in aardgas 440m³ huis A laag vent

Frequency 1 per day

Inhalation

Exposure model	Exposure to vapour - Constant rate
Exposure duration	24 hour
Product in pure form	No
Molecular weight matrix	-
The product is used in dilution	No
Product amount	0.0241 mg
Weight fraction substance	1
Room volume	30 m ³
Ventilation rate	2 per hour
Inhalation rate	-
Emission duration	60 minute
Limit concentration to saturated air concentration	No

Results for scenario 1 - kwik in aardgas 440m³ huis A laag vent

Inhalation

Mean event concentration	1.67E-05 mg/m ³
Peak concentration (TWA 15 min)	0.000334 mg/m ³
Mean concentration on day of exposure	1.67E-05 mg/m ³
Year average concentration	1.67E-05 mg/m ³

Scenario 2 - kwik in aardgas 440m³ huis A mid vent

Frequency 1 per day

Inhalation

Exposure model	Exposure to vapour - Constant rate
Exposure duration	24 hour
Product in pure form	No
Molecular weight matrix	-
The product is used in dilution	No
Product amount	0.0241 mg
Weight fraction substance	1
Room volume	30 m ³
Ventilation rate	5 per hour
Inhalation rate	-
Emission duration	60 minute
Limit concentration to saturated air concentration	No

Results for scenario 2 - kwik in aardgas 440m³ huis A mid vent

Inhalation

Mean event concentration	6.69E-06 mg/m ³
Peak concentration (TWA 15 min)	0.000159 mg/m ³
Mean concentration on day of exposure	6.69E-06 mg/m ³
Year average concentration	6.69E-06 mg/m ³

Scenario 3 - kwik in aardgas 440m³ huis A high vent

Frequency 1 per day

Inhalation

Exposure model	Exposure to vapour - Constant rate
Exposure duration	24 hour
Product in pure form	No
Molecular weight matrix	-
The product is used in dilution	No
Product amount	0.0241 mg
Weight fraction substance	1
Room volume	30 m ³
Ventilation rate	8 per hour
Inhalation rate	-
Emission duration	60 minute
Limit concentration to saturated air concentration	No

Results for scenario 3 - kwik in aardgas 440m³ huis A high vent

Inhalation

Mean event concentration	4.18E-06 mg/m ³
Peak concentration (TWA 15 min)	0.0001 mg/m ³
Mean concentration on day of exposure	4.18E-06 mg/m ³
Year average concentration	4.18E-06 mg/m ³

Scenario 4 - kwik in aardgas 440m³ huis B laag vent

Frequency 1 per day

Inhalation

Exposure model	Exposure to vapour - Constant rate
Exposure duration	24 hour
Product in pure form	No
Molecular weight matrix	-
The product is used in dilution	No
Product amount	0.0241 mg
Weight fraction substance	1
Room volume	60 m ³
Ventilation rate	2 per hour
Inhalation rate	-
Emission duration	60 minute
Limit concentration to saturated air concentration	No

Results for scenario 4 - kwik in aardgas 440m³ huis B laag vent

Inhalation

Mean event concentration	8.37E-06 mg/m ³
Peak concentration (TWA 15 min)	0.000167 mg/m ³
Mean concentration on day of exposure	8.37E-06 mg/m ³
Year average concentration	8.37E-06 mg/m ³

Scenario 5 - kwik in aardgas 440m³ huis B mid vent

Frequency	1 per day
Inhalation	
Exposure model	Exposure to vapour - Constant rate
Exposure duration	24 hour
Product in pure form	No
Molecular weight matrix	-
The product is used in dilution	No
Product amount	0.0241 mg
Weight fraction substance	1
Room volume	60 m ³
Ventilation rate	5 per hour
Inhalation rate	-
Emission duration	60 minute
Limit concentration to saturated air concentration	No

Results for scenario 5 - kwik in aardgas 440m³ huis B mid vent

Inhalation	
Mean event concentration	3.35E-06 mg/m ³
Peak concentration (TWA 15 min)	7.93E-05 mg/m ³
Mean concentration on day of exposure	3.35E-06 mg/m ³
Year average concentration	3.35E-06 mg/m ³

Scenario 6 - kwik in aardgas 440m³ huis B high vent

Frequency	1 per day
Inhalation	
Exposure model	Exposure to vapour - Constant rate
Exposure duration	24 hour
Product in pure form	No
Molecular weight matrix	-
The product is used in dilution	No
Product amount	0.0241 mg
Weight fraction substance	1
Room volume	60 m ³
Ventilation rate	8 per hour
Inhalation rate	-
Emission duration	60 minute
Limit concentration to saturated air concentration	No

Results for scenario 6 - kwik in aardgas 440m³ huis B high vent

Inhalation	
Mean event concentration	2.09E-06 mg/m ³
Peak concentration (TWA 15 min)	5.02E-05 mg/m ³
Mean concentration on day of exposure	2.09E-06 mg/m ³
Year average concentration	2.09E-06 mg/m ³

Scenario 7 - kwik in aardgas 440m³ huis C laag vent

Frequency	1 per day
-----------	-----------

Inhalation

Exposure model	Exposure to vapour - Constant rate
Exposure duration	24 hour
Product in pure form	No
Molecular weight matrix	-
The product is used in dilution	No
Product amount	0.0241 mg
Weight fraction substance	1
Room volume	120 m ³
Ventilation rate	2 per hour
Inhalation rate	-
Emission duration	60 minute
Limit concentration to saturated air concentration	No

Results for scenario 7 - kwik in aardgas 440m³ huis C laag vent

Inhalation	
Mean event concentration	4.18E-06 mg/m ³
Peak concentration (TWA 15 min)	8.35E-05 mg/m ³
Mean concentration on day of exposure	4.18E-06 mg/m ³
Year average concentration	4.18E-06 mg/m ³

Scenario 8 - kwik in aardgas 440m³ huis C mid vent

Frequency	1 per day
-----------	-----------

Inhalation

Exposure model	Exposure to vapour - Constant rate
Exposure duration	24 hour
Product in pure form	No
Molecular weight matrix	-
The product is used in dilution	No
Product amount	0.0241 mg
Weight fraction substance	1
Room volume	120 m ³
Ventilation rate	5 per hour
Inhalation rate	-
Emission duration	60 minute
Limit concentration to saturated air concentration	No

Results for scenario 8 - kwik in aardgas 440m³ huis C mid vent

Inhalation	
Mean event concentration	1.67E-06 mg/m ³
Peak concentration (TWA 15 min)	3.96E-05 mg/m ³
Mean concentration on day of exposure	1.67E-06 mg/m ³
Year average concentration	1.67E-06 mg/m ³

Scenario 9 - kwik in aardgas 440m³ huis C high vent

Frequency	1 per day
-----------	-----------

Inhalation	
Exposure model	Exposure to vapour - Constant rate
Exposure duration	24 hour
Product in pure form	No
Molecular weight matrix	-
The product is used in dilution	No
Product amount	0.0241 mg
Weight fraction substance	1
Room volume	120 m ³
Ventilation rate	8 per hour
Inhalation rate	-
Emission duration	60 minute
Limit concentration to saturated air concentration	No

Results for scenario 9 - kwik in aardgas 440m³ huis C high vent

Inhalation	
Mean event concentration	1.05E-06 mg/m ³
Peak concentration (TWA 15 min)	2.51E-05 mg/m ³
Mean concentration on day of exposure	1.05E-06 mg/m ³
Year average concentration	1.05E-06 mg/m ³

Report date (dd-mm-yyyy) and time: 02-12-2022
RIVM ConsExpo Web, version 1.1.1

7 Bijlage B Overzicht van relevante toxiciteitsstudies met metallisch kwik ten behoeve van de risicobeoordeling van piekconcentraties aan kwik in de binnenlucht

Tabel B-1 Toxiciteitsstudies met herhaalde blootstelling (< 24 uur per dag) aan metallisch kwik uitgevoerd in volwassen dieren, met gegevens over de effecten. In het kader van de risicobeoordeling wordt per studie de PoD gegeven, alsook de van toepassing zijnde AFs, de berekende MOS en de benodigde minimale MOS.

Referentie	Species, stam, geslacht, aantal/groep	Blootstellings-scenario	Effecten	POD (NOAEC of LOAEC)	AFs ^a	Berekende MOS ^a	Minimale MOS ^a	Opmerkingen ^b
MUIS Yoshida et al. (1999b) ^d	Muis C57BL6 WT/ metallothioneïn-null 14M	0; 6,6-7,5 mg/m ³ 4 uur/dag gedurende 3 dagen Whole body	Congestie in de longen, atelectase, milde tot gematigde bloedingen in alveoli	LOAEC: 6,6 - 7,5 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellings- respons: 6	17838	450	Vermelde effecten betreft alleen de wild-type (WT) dieren.
Yasutake et al. (2004) ^d	Muis, (OLA129/C57BL6) WT/ metallothioneïn-null 5 per groep	0,1 mg/m ³ 1 uur/dag 3 dagen/week gedurende 2 weken gevolgd door 4,1 mg/m ³ 30 min/dag 3 dagen/week gedurende 11 weken Whole body	Geen pathologische effecten in de hersenen en geen gedragseffecten. Onduidelijk in hoeverre andere indicatoren voor toxiciteit zijn beoordeeld.	NOAEC: 0,1/4,1 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 2	11081 ^c	50	Vermelde effecten betreft alleen de wild-type (WT) dieren. Het blootstellingschema is opgedeeld in twee doseringen waardoor het lastig is om aan te geven of de blootstelling aan 4,1 mg/m ³ daadwerkelijk zonder effect is. De auteurs gaven aan dat de gewenningsfase aan 0,1 mg/m ³ is gebruikt om eventuele acute toxiciteit te voorkomen.
Yoshida et al. (2004) ^{de}	Muis (OLA129/C57BL6) WT/ metallothioneïn-null 14-16F	0,06 mg/m ³ 8 uur/dag 7 dagen/week gedurende 23 weken (met tussentijdse evaluatie na 12 weken)	Toegenomen activiteit en afname van <i>passive avoidance</i> na 12 en 23 weken blootstelling	LOAEC: 0,06 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 2 Blootstelling- respons: 3	162	150	Vermelde effecten betreft alleen de wild-type (WT) dieren.
RAT Kishi et al. (1978) ^{def}	Rat Wistar 12-14M	0; 3 (range: 2,7 - 3,2) mg/m ³ 3 uur/dag 5 dagen/week gedurende 12-42 weken whole body	Reductie in lichaamsgewichttoename (niet gekwantificeerd); tremoren van hoofd en poten; gedragsveranderingen (afname in <i>conditioned avoidance</i> , toename <i>escape response latency</i>); histopathologische veranderingen in de nieren (donkere zwarte deposities in tubulaire cellen, lysosomale insluitingen, degeneratie van tubulaire cellen)	LOAEC: 3 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 2 Blootstelling- respons: 3	8108	150	

Referentie	Species, stam, geslacht, aantal/groep	Blootstellings-scenario	Effecten	POD (NOAEC of LOAEC)	AFs ^a	Berekende MOS ^a	Minimale MOS ^a	Opmerkingen ^b
Sorensen et al. (2000) ^{der}	Rat Wistar 12M	0; 0,5 mg/m ³ 5 uur/dag 4-5 dagen/week gedurende 8 weken (totaal 33 blootstellingsdagen) whole body	Geprikkeltheid en agressiviteit (gedurende laatste 2-3 weken van de blootstelling); verminderde voerinnname; weke ontlasting; gele en onregelmatige vacht; 17% reductie in lichaamsgewichttoename; verlies van Purkinje en granulaire cellen in cerebellum	LOAEC: 0,5 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 6 Blootstelling- respons: 3	1351	450	De beoogde concentratie was 500 µg/m ³ ; de analytische concentratie was 480,11 µg/m ³
Schiønning et al. (1998) ^{der}	Rat Wistar 11-12M	0,48 mg/m ³ 5 uur/d 4 of 5 d/week Gedurende 8 weken	Gedurende laatste 2-3 weken: gedragsveranderingen, histopathologische effecten in zenuwweefsel, perifere zenuwstelsel en centraal zenuwstelsel	LOAEC: 0,48 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 6 Blootstelling- respons: 3	1297	450	
Warfvinge et al (1992) ^d	Rat brown Norway, 7M+F	1 mg/m ³ 24 uur/dag 7 d/week Gedurende 5 weken Of 6uur per dag, 3 d/week Gedurende 5 weken	Lichte afname lichaamsgewicht	LOAEC: 1 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 6 Blootstelling- respons: 3	2703	450	Gepresenteerde effecten betreft alleen herhaalde blootstelling met dagelijkse duur < 24 uur Studie omvatte geen neurologische testen
Belliles et al. (1968) ^d	Rat albino 6F en 7M	17,2 mg/m ³ 2 uur/d 5 d/week gedurende 30 dagen (22 blootstellingen totaal)	Reversibele gedragsveranderingen, startend bij de vrouwtjes vanaf dag 15 en bij de mannetjes laat in de blootstelling. Afname lichaamsgewicht en tremoren bij de vrouwtjes gedurende de laatste 5 dagen van blootstelling	LOAEC: 17,2 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 6 Blootstelling- respons: 3	46486	450	Vrouwtjes getest in 'avoidance escape studies' Mannetjes getest in 'reflexive fighting studies'
Ashe et al. (1953) ^d	Rat (stam, geslacht, aantal niet gespecificeerd)	0,1 mg/m ³ 7 uur/dag 5d/week gedurende 72 weken	Geen histopathologische veranderingen	NOAEC: 0,1 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 2	270	50	Niet geheel duidelijk welke aanvullende parameters geëvalueerd zijn
HOND Fraser et al. (1934) ^d	Hond Stam niet gespecificeerd	1,89; 12,55; 15,29-20,06 mg/m ³ 8 uur/dag	12,55 mg/m ³ : kortademigheid, zwakte, overgeven en diarree, sterfte	NOAEC: 1,89 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 6	5108	150	

Referentie	Species, stam, geslacht, aantal/groep	Blootstellings-scenario	Effecten	PoD (NOAEC of LOAEC)	AFs ^a	Berekende MOS ^a	Minimale MOS ^a	Opmerkingen ^b
KONIJN								
Fukuda (1971) ^c	2 of 6	gedurende 40 dagen	15,29-20,06 mg/m ³ : kortademigheid, zwakte, overgeven, diarree, sterfte bij binnen 3 dagen					
	Konijn (stam niet gespecificeerd) 6M	4,0 mg/m ³ 6 uur/dag 4 dagen/week 13 weken whole body	Clonus en tremoren vanaf 11 weken, versterkte reflexen	LOAEC: 4 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 2 Blootstelling-respons: 3	10811	150	
Ashe et al. (1953) ^d	Konijn (stam, geslacht, aantal niet gespecificeerd)	28,8 mg/m ³ 1-30 uur of 6 mg/m ³ 7 uur/dag, 5d/week, 1-11 weken	Milde tot matige schade aan nier, lever, hersenen, hart en longen. In de meeste gevallen werd de schade aan de nieren en hersenen ernstiger bij langere blootsteldingsduren. Deze was beschreven als variërend van duidelijke cellulaire degeneratie met enige necrose tot bijna volledige afbraak met wijdverspreide necrose.	LOAEC: 6 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 6 Blootstelling-respons: 3	16216	450	Gepresenteerde effecten betref alleen herhaalde blootstelling

AFs: Assessment Factoren, LOAEC: Lowest-Observed Adverse Effect Concentration, MOS: Margin of Safety, NOAEC: No-Observed Adverse Effect Concentration, WT: wild-type

^a In deze tabel is tevens per studie ten behoeve van de risicobeoordeling het volgende gepresenteerd (Zie paragraaf 3.3 voor een verdere toelichting):

- de van toepassing zijnde AFs: interspecies, intraspecies, blootstellingsduur, blootstelling-respons (in geval van LOAEC)
- De AF voor blootstellingsduur is in principe worst-case gekozen, uitgezonderd voor de studie van Yoshida et al. (1996b) met een studieduur van 3 dagen. Langdurende studies worden als meer relevant beschouwd voor het beoordelen blootstellingsscenario, daarbij ook rekening houdend met de accumulerende potentie van kwik.
- de berekende MOS, uitgaande van de NOAEC of LOAEC uit de dierstudie (de PoD) en de piekconcentratie van 0,37 µg/m³ uit het blootstellingsscenario
- de minimale MOS, uitgaande van de van toepassing zijnde AFs
- ^b voor alle studies geldt dat deze niet zijn uitgevoerd volgens OECD TG of GLP
- ^c voor de berekening van de MOS is uitgegaan van een PoD van 4,1 mg/m³
- ^d geciteerd in AEGL (2010)
- ^e geciteerd in MAK (2016)
- ^f geciteerd in ATSDR (2022)

Tabel B-2: Toxiciteitsstudies met metallisch kwik gericht op de fertiliteit met een dagelijkse blootstellingsduur (< 24 uur per dag) met gegevens over de effecten. In het kader van de risicobeoordeling wordt per studie de PoD gegeven, alsook de van toepassing zijnde Afs, de berekende MOS, de berekende minimale MOS.

Referentie	Species, stam, geslacht, aantal/groep	Blootstellings-scenario	effecten	NOAEC of LOAEC	Afs ^a	Berekende MOS ^a	Minimale MOS ^a	Opmerkingen ^b
RAT Davis et al. (2001) ^{cite}	Rat Sprague-Dawley 9-18F	0; 1; 2; 4 mg/m ³ 2 uur/dag 11 dagen nose-only	1 mg/m ³ : geen nadelige effecten 2 mg/m ³ : verlengde oestrus cyclus 4 mg/m ³ : 12% afname in lichaamsgewicht op dag 11 van blootstelling; verlengde oestrus cyclus; afname serum oestradiol en toename serum progesteron gehalten; Concentratie- en duur-gerelateerde toename in kwikgehalte in urine	LOAEC: 1 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 6 respons: 3	2703	450	
Davis et al. (2001) ^{cite}	Rat Sprague-Dawley 6-12F	0; 2 mg/m ³ 2 uur/dag ≥8 dagen (prematig) nose-only Na 8 dagen blootstelling zijn vrouwtjes overnacht gepaard met niet-blootgestelde mannetjes terwijl blootstelling overdag voortduurde. Bij aangetoonde sperma-positieve uitstrijkjes, werd de blootstelling van de vrouwtjes gestopt.	Algemene toxiciteit: Geen informatie Reproductietoxiciteit: geen effecten op aantal corpora lutea, implantaties, zwangerschaps-ratio of hormoongehalten (progesteron, oestradiol)	NOAEC reproductietoxiciteit: 2 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 6	5405	150	opgemerkt wordt dat in het artikel zowel wordt gesproken over minimaal 8 dagen blootstelling als minimaal 5 tot maximaal 8 dagen blootstelling
Davis et al. (2001) ^{cite}	Rat Sprague-Dawley 6F	0; 1; 2 mg/m ³ 2 uur/dag 8 dagen (postmatig) nose-only studie gericht op effecten op vroege implantatieverlies. Vrouwtjes werden overnacht gepaard met niet-blootgestelde mannetjes. Bij aangetoonde sperma-positieve uitstrijkjes werden de vrouwtjes vervolgens gedurende 8 dagen blootgesteld.	Algemene toxiciteit: Geen informatie Reproductietoxiciteit: geen effecten op aantal corpora lutea, implantaties of hormoongehalten (progesteron, oestradiol)	NOAEC reproductietoxiciteit: 2 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 6	5405	150	
Davis et al. (2001) ^{cite}	Rat Sprague-Dawley 6F	0; 2 mg/m ³ 2 uur/dag 1-8 dagen	Algemene toxiciteit: afname levergewicht	LOAEC reproductietoxiciteit: 2 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 6	5405	450	volgens studie-auteurs is de biologische

Referentie	Species, stam, geslacht, aantal/groep	Blootstellings-scenario	effecten	NOAEC of LOAEC	AFs ^a	Berekende MOS ^a	Minimale MOS ^a	Opmerkingen ^b
Altunkaynak et al. (2015) ^e	Rat Sprague-Dawley 6M	nose-only blootstelling gestart tijdens metoestrus of dioestrus fase van de cyclus	<i>Reproductietoxiciteit:</i> verlengde oestrus cyclus na 6-8 dagen blootstelling; onvolgroeide corpora lutea gedurende oestrus en metoestrus fase (aantallen corpora lutea onveranderd); toename kwikgehalte in ovaria	LOAEC reproductietoxiciteit: 1 mg/m ³	Blootstelling-respons: 3			significantie van de afname levergewicht onbekend
Baranski en Szymczyk (1973) ^f	Rat Stam niet gespecificeerd 24F	0; 2,5 mg/m ³ 6 uur/dag Gedurende 21 dagen Onduidelijk of de dieren via nose-only of whole body inhalatie blootgesteld zijn	<i>Algemene toxiciteit:</i> Geen informatie <i>Reproductietoxiciteit:</i> Atrofie van seminifere tubuli; schade aan de spermatogene cellen; afname volume van testiculair en seminifere tubuli; afname diameter van seminifere tubuli; afname Sertoli cellen, spermatogonia, spermatocyten, en spermatiden.	LOAEC reproductietoxiciteit: 2,5 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 6 Blootstelling-respons: 3	2703	450	
Baranski en Szymczyk (1973) ^f	Rat Stam niet gespecificeerd 18-23F (mogelijk hoger aantal)	0; 2,5 mg/m ³ 6 uur/dag Gedurende 6-8 weken vóór paren Onduidelijk of de dieren via nose-only of whole body inhalatie blootgesteld zijn	<i>Algemene toxiciteit:</i> Geen informatie <i>Reproductietoxiciteit:</i> Verlenging van de oestrus cyclus van 4,3 dagen (vóór blootstelling) naar 6,7 dagen (na blootstelling). Bij controle dieren was een toename te zien van 4,5 naar 5,1 dagen gedurende dezelfde periode. <i>Algemene toxiciteit:</i> Niet-significante afname in lichaamsgewicht <i>Reproductietoxiciteit:</i> - Alle 18 blootgestelde en 23 controle dieren waren na paren drachtig. - Geen effect op aantal pups/nest of op aantal levende pups per nest bij geboorte - Postnatale mortaliteit verhoogd, met name gedurende PND1-4 (26% sterfte pups in kwik-groep versus controle)	LOAEC reproductietoxiciteit: 2,5 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 6 Blootstelling-respons: 3	6757	450	Het totale aantal van blootgestelde en controledieren was niet vermeld.

Referentie	Species, stam, geslacht, aantal/groep	Blootstellings-scenario	effecten	NOAEC of LOAEC	AFs ^a	Berekende MOS ^a	Minimale MOS ^a	Opmerkingen ^b
Baranski en Szymczyk (1973) ^c	Rat Stam niet gespecificeerd 12F	0; 2,5 mg/m ³ Gedurende 3 weken vóór de dracht en vervolgens gedurende GD7-20 Onduidelijk of de dieren via nose-only of whole body inhalatie blootgesteld zijn	- Verlaagd nier- en levergewicht en verhoogd ovariumgewicht bij vrouwelijke nakomelingen na 2 maanden <i>Algemene toxiciteit:</i> Niet-significante afname in gewicht moederdieren <i>Reproductietoxiciteit:</i> Geen effect op zwangerschapsratio, aantal geworpen nesten, of totale nestgrootte (i.e. leven én dode pups) bij de geboorte. De totale nestgrootte o.b.v. levende pups bij de geboorte is significant verlaagd naar 7,6 pups versus 9,6 pups in controle. Gedurende PND1-4 96% van de pups uit de kwik-groep dood; geen enkele overleeft het tot spenen.	LOAEC reproductietoxiciteit: 2,5 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 1-6 ^d Blootstelling-respons: 3	6757	75-450 ^e	
Baranski en Szymczyk (1973) ^c	Rat Stam niet gespecificeerd 8F	0; 2,5 mg/m ³ Gedurende 3 weken vóór de dracht en vervolgens gedurende GD7-20 Onduidelijk of de dieren via nose-only of whole body inhalatie blootgesteld zijn	<i>Algemene toxiciteit:</i> Geen informatie <i>Reproductietoxiciteit:</i> Bevestiging van significante afname in nestgrootte o.b.v. levende pups. Daarnaast een afname in het aantal implantaties. De studieauteurs stellen dat dit een afname in ovulatie en/of toename in pre-implantatie verliezen weergeeft.	LOAEC reproductietoxiciteit: 2,5 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstellingsduur: 1-6 ^d Blootstelling-respons: 3	6757	75-450 ^e	

AFs: Assessment Factor, LOAEC: Lowest-Observed Adverse Effect Concentration, MOS: Margin of Safety, NOAEC: No-Observed Adverse Effect Concentration

- ^a In deze tabel is tevens per studie ten behoeve van de risicobeoordeling het volgende gepresenteerd (Zie voor verdere details paragraaf 3.2):
 - de van toepassing zijnde AFs: interspecies, intraspecies, blootstellingsduur, blootstelling-respons (in geval van LOAEC)
 - De AF voor blootstellingsduur is in principe worst-case gekozen, al is in een paar studies de toegepaste blootstellingsduur bij benadering geschikt om effecten op de fertiliteit te onderzoeken. Langdurige studies worden als meer relevant beschouwd voor het te beoordelen blootstellingsscenario, daarbij ook rekening houdend met de accumulerende potentie van kwik.
- de berekende MOS, uitgaande van de NOAEC of LOAEC uit de dierstudie (de PoD) en de piekconcentratie van 0,37 µg/m³ uit het blootstellingsscenario
- de minimale MOS, uitgaande van de van toepassing zijnde AFs
- ^b voor alle studies geldt dat deze niet uitgevoerd zijn volgens OECD TG of GLP
- ^c geciteerd in ATSDR (2022)
- ^d geciteerd in AEGLE (2010)
- ^e geciteerd in MAK (2016)
- ^f geciteerd in Gezondheidsraad (2000)
- ^g De studie omvatte zowel blootstelling vóór de dracht als blootstelling in utero tijdens de dracht. Geobserveerde effecten betreffen zowel ontwikkelings toxiciteit als effecten op de vruchtbaarheid.

Tabel B-3 Prenatale en postnatale ontwikkelingstoxiciteitsstudies met een dagelijkse blootstellingsduur tijdens of na de dracht (< 24 uur/dag of <24 uur op één dag tijdens de dracht) aan metallisch kwik met gegevens over de effecten.

In het kader van de risicobeoordeling wordt per studie de PoD gegeven, alsook de van toepassing zijnde AFs, de berekende MOS en de benodigde minimale MOS.

Referentie	Species, stam, geslacht, aantal/groep	Blootstellings-scenario	Effecten	NOAEC of LOAEC	AFs ^a	Berekende MOS ^a	Minimale MOS ^a	Opmerkingen ^b
AAP								
Newland et al. (1996) ^(cde)	Doodshoofd-aapje 1M of 1F	0; 0,5; 1,0 mg/m ³ 4 of 7 uur/dag 5 dagen/week Gedurende laatste 2/3 ^e periode van de dracht (15-17 weken) Whole body	verminderd lerend vermogen bij gedragstraining bij 0,8 tot 4 jaar oude dieren.	LOAEC – ontwikkelingstoxiciteit: 0,5 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstelling-respons: 3	1351	75	Aantal dieren per blootstellingsgroep is laag. Daarnaast verschilt ook het tijdspunt van meten per blootgesteld dier. Geen informatie over maternale toxiciteit.
RAT								
Morgan et al. (2002) ^(cde)	Rat Long-Evans 5F	0; 1; 2; 4; 8 mg/m ³ 2 uur GD6 nose-only	Maternale toxiciteit: geen effecten Ontwikkelingstoxiciteit: geen effecten	NOAEC – maternale toxiciteit en ontwikkelingstoxiciteit: 8 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10	21622	25	Moederdieren opgeofferd op GD6 direct na blootstelling.
Morgan et al. (2002) ^(cde)	Rat Long-Evans 5F	0; 1; 2; 4; 8 mg/m ³ GD 6-10 2 uur/dag nose-only	Maternale toxiciteit: 10% afname in lichaamsgewicht moederdier bij 8 mg/m ³ Ontwikkelingstoxiciteit: geen effecten	NOAEC maternale toxiciteit: 4 mg/m ³ NOAEC – ontwikkelingstoxiciteit: 8 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10	21622	25	Moederdieren opgeofferd op GD10 direct na blootstelling.
Morgan et al. (2002) ^(cde)	Rat Long-Evans 10F	0; 1; 2; 4; 8 mg/m ³ GD 6-15 2 uur/dag nose-only	Maternale toxiciteit: 1 en 2 mg/m ³ : geen effecten 4 mg/m ³ : >10% afname in lichaamsgewicht; verhoogd niergewicht 32% op GD15; verhoogd ALP en urine-eiwitten (bij 4 mg/m ³) 8 mg/m ³ : 17% lichaamsgewicht afname moederdier, milde tremoren, lethargie, inbalans Ontwikkelingstoxiciteit: 1, 2 en 4 mg/m ³ : geen effecten 8 mg/m ³ : verhoogde resorpties, afname aantal pups en lager pupgewicht	NOAEC – maternale toxiciteit: 2 mg/m ³ NOAEC – ontwikkelingstoxiciteit: 4 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10	10811	25	50% van de moederdieren zijn opgeofferd op GD15 direct na blootstelling en 50% op PND1

Referentie	Species, stam, geslacht, aantal/groep	Blootstellings-scenario	Effecten	NOAEC of LOAEC	AFs ^a	Berekende MOS ^a	Minimale MOS ^a	Opmerkingen ^b
Frederiksson et al. (1996) ^{cd,e}	Rat Sprague- Dawley 12F	0; 1,8 mg/m ³ 1,5 uur/dag GD 14-19 whole body	Maternale toxiciteit: geen effecten op lichaamsgewicht-toename gedurende de zwangerschap; geen duidelijke tekenen van nadellige effecten. Ontwikkelingstoxiciteit: Toename spontane bewegingen, opzitten, en totaal aan vertoende activiteit bij 4 maanden oude dieren. Leervermogen ruimtelijk inzicht aangetast bij 4,5 maanden oude dieren	NOAEC maternale toxiciteit: 1,8 mg/m ³ LOAEC – ontwikkelingst oxiciteit: 1,8 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstelling- respons: 3	4865	75	
Frederiksson et al. (1992) ^{cd,e,f}	Rat Sprague- Dawley 8-10M	0; 0,05 mg/m ³ 1 uur/dag PND 11-17 whole body	Toename in spontane bewegingen en afname in het opzitten van het dier (4 maanden oud). Leervermogen van ruimtelijk inzicht aangetast bij 6 maanden oud.	LOAEC – postnatale ontwikkelingst oxiciteit: 0,05 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstelling- respons: 3	135	75	
Frederiksson et al. (1992) ^{cd,e,f}	Rat Sprague- Dawley 8-10M	0; 0,05 mg/m ³ 4 uur/dag PND 11-17 whole body	Toename in spontane bewegingen en afname opzitten bij 2 maand oude dieren. Afname spontane bewegingen en opzitten bij 4 maand oude dieren en leervermogen ruimtelijk inzicht aangetast bij 6 maanden oude dieren.	LOAEC – postnatale ontwikkelingst oxiciteit: 0,05 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstelling- respons: 3	135	75	
Danielsson et al. (1993) ^{cd,e}	Rat Sprague-Dawley 12F	0; 1,8 mg/m ³ 1 of 3 uur/dag GD 11-14 en GD 17-20 whole body	Maternale toxiciteit: geen effecten op lichaamsgewicht-toename gedurende de zwangerschap; geen duidelijke tekenen van nadellige effecten. Ontwikkelingstoxiciteit: Afname in spontane beweging, opzitten en totaal vertoende activiteit bij 3 maanden. Afname in het gewinnen van nieuwe omgevingen bij 7 maand oude dieren bij beide tijdsduren.	NOAEC maternale toxiciteit: 1,8 mg/m ³ LOAEC – ontwikkelingst oxiciteit: 1,8 mg/m ³	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10 Blootstelling- respons: 3	4865	75	
Söderström et al. (1995) ^c	Rat Sprague-Dawley	0; 1,5 mg/m ³ 1 of 3 uur/dag	Maternale toxiciteit: geen effecten op	NOAEC maternale	Interspecies: 2,5 Intraspecies: 10	4054	75	

Referentie	Species, stam, geslacht, aantal/groep	Blootstellings-scenario	Effecten	NOAEC of LOAEC	AFs ^a	Berekende MOS ^a	Minimale MOS ^a	Opmerkingen ^b
	8F	gedurende GD6-11 of GD13-18 whole body	<p>lichaamsgewicht gedurende de zwangerschap; geen duidelijke tekenen van nadelige effecten.</p> <p><i>Ontwikkelingstoxiciteit:</i> geen effecten op het lichaamsgewicht en geen klinische symptomen bij de nakomelingen; voornamelijk een toename 'nerve growth factor' (NGF) in de hippocampus van de foetussen op PND21 vergezeld van een afname NGF in basale voorhersenen en septale regio (3 uur/d GD6-11; PND21); daarnaast ook afname NGF in septale regio (3 uur/d GD6-11; PND60), toename NGF in cortex (3 uur/dag, GD13-18; PND21), toename NGF in hippocampus (1 uur/dag, GD13-18; PND60), toename NGF in cortex en hippocampus (3 uur/dag, GD13-18; PND60)</p>	<p>toxiciteit: 1,5 mg/m³</p> <p>LOAEC ontwikkelingstoxiciteit: 1,5 mg/m³</p>	Blootstelling-respons: 3			

AFs: Assessment Factor, GD: Gestation Day, LOAEC: Lowest-Observed Adverse Effect Concentration, MOS: Margin of Safety, NOAEC: No-Observed Adverse Effect Concentration, NGF: nerve growth factor, PND: postnatal day

^a In deze tabel is tevens per studie ten behoeve van de risicobeoordeling het volgende gepresenteerd (Zie voor verdere details paragraaf 3.3):

- de van toepassing zijnde AFs: interspecies, intraspecies, blootstelling-respons (in geval van LOAEC)
- de berekende MOS, uitgaande van de NOAEC of LOAEC voor ontwikkelingstoxiciteit (de PoD) uit de dierstudie en de plekkoncentratie van 0,37 µg/m³ uit het blootstellingsscenario
- de minimale MOS, uitgaande van de van toepassing zijnde AFs

De effecten op het moederdier (maternale toxiciteit) worden voor de huidige risicobeoordeling buiten beschouwing gelaten. Dit betreft namelijk éénmalige blootstelling of een blootstelling van enkele dagen van het moederdier (tijdens de draagt). Deze PoD (maternale toxiciteit) met een korte blootstellingsduur wordt daarom als minder relevant beschouwd worden voor de huidige risicobeoordeling.

^b voor alle studies geldt dat deze niet zijn uitgevoerd volgens OECD TG of GLP

^c geciteerd in AEGl (2010)

^d geciteerd in MAK (2016)

^e geciteerd in ATSDR (2022)

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

mei 2023

De zorg voor morgen
begint vandaag