

Gezondheidsrisico's door lage concentraties koolmonoxide

Aan: de minister van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties

Nr. 2019/11, Den Haag, 10 juli 2019

Gezondheidsraad



inhoud

Samenvatting	3	03 Omvang van blootstelling en gezondheidsschade	10
01 Inleiding	5	3.1 Omvang blootstelling	11
1.1 Opgemerkte en onopgemerkte koolmonoxideongevallen	5	3.2 Omvang gezondheidsschade	14
1.2 Commissie en werkwijze	5	04 Recente beschermingsmaatregelen	15
1.3 Leeswijzer	6	4.1 Maatregelen na de aanbevelingen van de OVV	15
02 Giftige werking en veilige niveaus	6	4.2 Gevoeligheid van koolmonoxidemelders	16
2.1 Gangbare opvatting	7	05 Advies voor aanvullende maatregelen	18
2.2 Nieuwe inzichten	8	Literatuur	20
2.3 Gevoeligheid van de foetus	10		



samenvatting

Dit advies gaat over de gezondheidsrisico's door blootstelling aan lage concentraties koolmonoxide en hoe deze kunnen worden beperkt. Het advies is opgesteld door de Commissie Signalering gezondheid en milieu.

Het is algemeen bekend dat het inademen van hoge concentraties koolmonoxide schadelijk is voor de gezondheid. Elk jaar belanden in ons land honderden mensen op de Spoedeisende Hulp of in het ziekenhuis met een koolmonoxidevergiftiging en vallen er enkele dodelijke slachtoffers. In woningen vormt defecte verbrandingsapparatuur, tegenwoordig vooral de cv-ketel, in combinatie met een ondeugdelijke rookafvoer de voornaamste oorzaak. Minder bekend is dat ook lage concentraties koolmonoxide de gezondheid kunnen schaden.

De heersende opvatting onder artsen en andere deskundigen is dat koolmonoxide ervoor zorgt

dat het bloed minder zuurstof kan transporteren, waardoor organen zuurstofgebrek krijgen. Maar de giftige werking van koolmonoxide blijkt complexer in elkaar te zitten. Andere mechanismen spelen ook een rol. In de cellen van weefsels en organen ontregelt het ingeademde koolmonoxide belangrijke biologische processen. Daardoor kan schade ontstaan aan hart- en bloedvaten en het zenuwstelsel. Dit gebeurt al bij blootstelling aan lage concentraties koolmonoxide. Er zijn aanwijzingen dat de foetus extra gevoelig is voor die ontregelende werking en dat blootstelling aan koolmonoxide tijdens de zwangerschap van invloed kan zijn op de neurologische ontwikkeling van de foetus. Ook hartpatiënten zijn extra gevoelig.

Om mensen te beschermen tegen de gezondheidsrisico's van koolmonoxide heeft de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) advieswaarden opgesteld die bedoeld zijn om de blootstelling te

beperken. Voor een blootstellingsduur van 1 uur mag de concentratie in de lucht gemiddeld niet hoger zijn dan 26 ppm (*parts per million*). Voor langere blootstelling gelden lagere concentraties: voor 8 uur 9 ppm en voor 24 uur 6 ppm.

Door schaarste aan meetgegevens is het niet duidelijk hoe vaak en hoe lang de advieswaarden van de WHO in Nederlandse woningen worden overschreden. Een grove schatting op basis van schaarse en al wat oudere meetgegevens is dat in 1 op de 1000 woningen een concentratie van meer dan 26 ppm aanwezig is. De advieswaarde van 6 ppm voor langdurige blootstelling zal in meer woningen op enig moment worden overschreden. De commissie adviseert om meer inzicht te verkrijgen in de omvang van het vraagstuk door metingen in woningen te verrichten.

Wat de omvang is van de gezondheidsschade door lage blootstellingen aan koolmonoxide is onbekend. De ziektelast door hogere blootstellingen laat zich al moeilijk schatten, omdat de



ziekteverschijnselen weinig specifiek zijn (hoofdpijn, misselijkheid, bewusteloosheid) en de betrokkenheid van koolmonoxide vaak niet onderkend wordt. Bij lage blootstellingen gaat het om effecten die niet altijd direct waarneembaar zijn. Een iets minder goede werking van hart- en bloedvaten of het zenuwstelsel hoeft niet meteen tot klachten te leiden.

Naar aanleiding van een rapport van de Onderzoeksraad voor Veiligheid (OVV) werkt de overheid samen met het bedrijfsleven aan maatregelen om mensen thuis en in andere gebouwen beter te beschermen tegen de gevaren van koolmonoxide. Dat betreft vooral een wettelijk stelsel van certificering voor werkzaamheden aan gasverbrandingsinstallaties. De commissie adviseert om aanvullend maatregelen te nemen die specifiek gericht zijn op de bescherming tegen gezondheidsschade door blootstelling aan lage concentraties koolmonoxide. De koolmonoxidemelders die nu in Nederland op de markt zijn, zijn niet gevoelig genoeg om concentraties onder de 10 ppm te detecteren en geven

conform de huidige voorschriften pas een akoestisch alarmsignaal bij 50 ppm, terwijl de WHO adviseert dat de gemiddelde blootstelling gedurende 8 uur beneden 9 ppm en gedurende 24 uur beneden 6 ppm blijft. Hier is sprake van een discrepantie. De commissie adviseert om te bevorderen dat de koolmonoxidemelders worden afgestemd op de WHO-waarden. Ze raadt aan dat Nederland dit inbrengt in het lopende traject om binnen de Europese Unie tot geharmoniseerde productnormen voor koolmonoxidemelders te komen. Tot slot beveelt de commissie aan om in voorlichting aan burgers, hulpverleners en installatiebedrijven meer aandacht te besteden aan de risico's van blootstellingen aan lage concentraties koolmonoxide.



01 inleiding

1.1 Opgemerkte en onopgemerkte koolmonoxideongevallen

Voor zover bekend sterven in Nederland jaarlijks 5 tot 10 mensen aan een koolmonoxidevergiftiging, worden er ongeveer 200 in het ziekenhuis opgenomen en enkele honderden behandeld op de afdeling spoedeisende hulp. Dat meldde de Onderzoeksraad voor Veiligheid (OVV) in zijn in 2015 verschenen rapport over het gevaar van koolmonoxide.¹ Met het geleidelijk verdwijnen van (afvoerloze) geisers uit woningen, is de moderne cv-installatie nu de grootste boosdoener. Zelfs bij nieuwe of goed onderhouden cv-installatie kan het misgaan. De betrokkenheid van koolmonoxide wordt lang niet altijd onderkend, omdat het gas kleur- en reukloos is en omdat de ziekteverschijnselen zo weinig specifiek zijn. De OVV schatte dat het werkelijke aantal slachtoffers een factor 3 tot 5 hoger is en deed aanbevelingen om het risico op vergiftigingen te verminderen.

De OVV richtte zich op koolmonoxideongevallen. Volgens de onderzoeksraad is daarvan sprake als de concentratie in de lucht een waarde van 25 *parts per million* (ppm, zie kader verderop) overschrijdt. Dat is duidelijk hoger dan de achtergrondconcentratie die bijvoorbeeld wordt gemeten langs snelwegen of in ruimten waar wordt gerookt.

De meeste koolmonoxideongevallen worden als zodanig onderkend, omdat koolmonoxidemelders afgaan of omdat alerte medische hulpverleners de ziekteverschijnselen of sterfte terecht in verband brengen met koolmonoxide. Bijna altijd gaat het dan om hogere niveaus van blootstelling. Bij een niet goed functionerende cv-installatie bijvoorbeeld, kan de concentratie wel 30.000 ppm bedragen.

Blootstellingen onder de 25 ppm kunnen echter ook al gezondheidseffecten veroorzaken. Lage blootstellingen blijven in de praktijk vaak onopgemerkt. Koolmonoxidemelders gaan niet af bij lage concentraties en ziekteverschijnselen zijn niet altijd direct waarneembaar. Met dit op eigen initiatief uitgebrachte advies wil de Gezondheidsraad de minister van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) informeren over de risico's van blootstelling aan lage concentraties koolmonoxide. De raad onderstreept daarmee het belang van de aanbevelingen van de OVV en reikt de minister aanvullende maatregelen aan, waarmee mensen ook beschermd kunnen worden tegen schadelijke gevolgen van lage blootstellingen.

1.2 Commissie en werkwijze

Dit advies is opgesteld door de Commissie Signalering gezondheid en milieu, een vaste commissie van de Gezondheidsraad. De commissie baseert haar bevindingen en aanbevelingen op een analyse op hoofdlijnen van de wetenschappelijke literatuur en rapporten van gezagheb-



bende organisaties in binnen- en buitenland. Een meer gedetailleerde analyse van de toxicologische en epidemiologische literatuur achtte de commissie niet nodig, omdat wetenschappelijk goed onderbouwde advieswaarden voor de blootstelling van de algemene bevolking al beschikbaar zijn. Daarnaast heeft de commissie enkele deskundigen geraadpleegd. Tot slot heeft een van de secretarissen van de commissie de 'Kennissessie koolmonoxide' bijgewoond, die op 13 november 2018 te Arnhem werd georganiseerd door Brandweer Nederland en de Nederlandse Brandwonden Stichting.

Het advies is op 10 juli 2019 [aangeboden](#) aan de minister van BZK. De samenstelling van de commissie en een lijst van geraadpleegde deskundigen staan achter in dit advies. De aanbiedingsbrief is te vinden op www.gezondheidsraad.nl.

ppm als maat voor de concentratie koolmonoxide in de lucht

De concentratie koolmonoxide in de lucht wordt vaak weergegeven in ppm, *parts per million*. Een koolmonoxideconcentratie van 1 ppm wil zeggen dat één op de miljoen gasmoleculen in de lucht een koolmonoxidemolecuul is. De meeste andere moleculen in de lucht zijn stikstof, zuurstof en kooldioxide.

Volgens het Internationale Stelsel van Eenheden (SI-stelsel) verdient het aantal milligram koolmonoxide per kubieke meter lucht (mg/m^3) als uitdrukkingsmaat de voorkeur. De commissie gebruikt in haar advies echter ppm, omdat koolmonoxidemeters meetwaarden in ppm weergeven. Een koolmonoxideconcentratie van 1 ppm komt overeen met $1,165 \text{ mg}/\text{m}^3$ (bij 760 mm kwikdruk en $20 \text{ }^\circ\text{C}$).

1.3 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk bespreekt de commissie hoe de inzichten in de giftige werking van koolmonoxide de laatste jaren aan het veranderen zijn en wat dat betekent voor wat deskundigen beschouwen als veilige niveaus van blootstelling. Hoofdstuk 3 gaat over de blootstelling aan (lage concentraties) koolmonoxide in Nederlandse woningen, de blootstellingsbronnen en de ziektelast die hieruit mogelijk voortvloeit. In hoofdstuk 4 gaat de commissie in op de aanbevelingen van de OVV en de maatregelen die het kabinet en het bedrijfsleven naar aanleiding daarvan nemen om mensen te beschermen tegen de schadelijke invloed van koolmonoxide. Tot slot doet de commissie in hoofdstuk 5 aanvullende aanbevelingen om ook de gezondheidsrisico's door lage blootstellingen te beperken.

02 giftige werking en veilige niveaus

Lange tijd werd gedacht dat koolmonoxide vooral schadelijk is doordat het gas zuurstofgebrek veroorzaakt in weefsels en organen. De laatste jaren is steeds duidelijker geworden dat ook andere werkingsmechanismen een rol spelen en dat die ook bij lage blootstelling gezondheidsschade kunnen veroorzaken. De gezondheidskundige advieswaarden van de WHO uit 1999 zijn hierop aangepast in 2010.



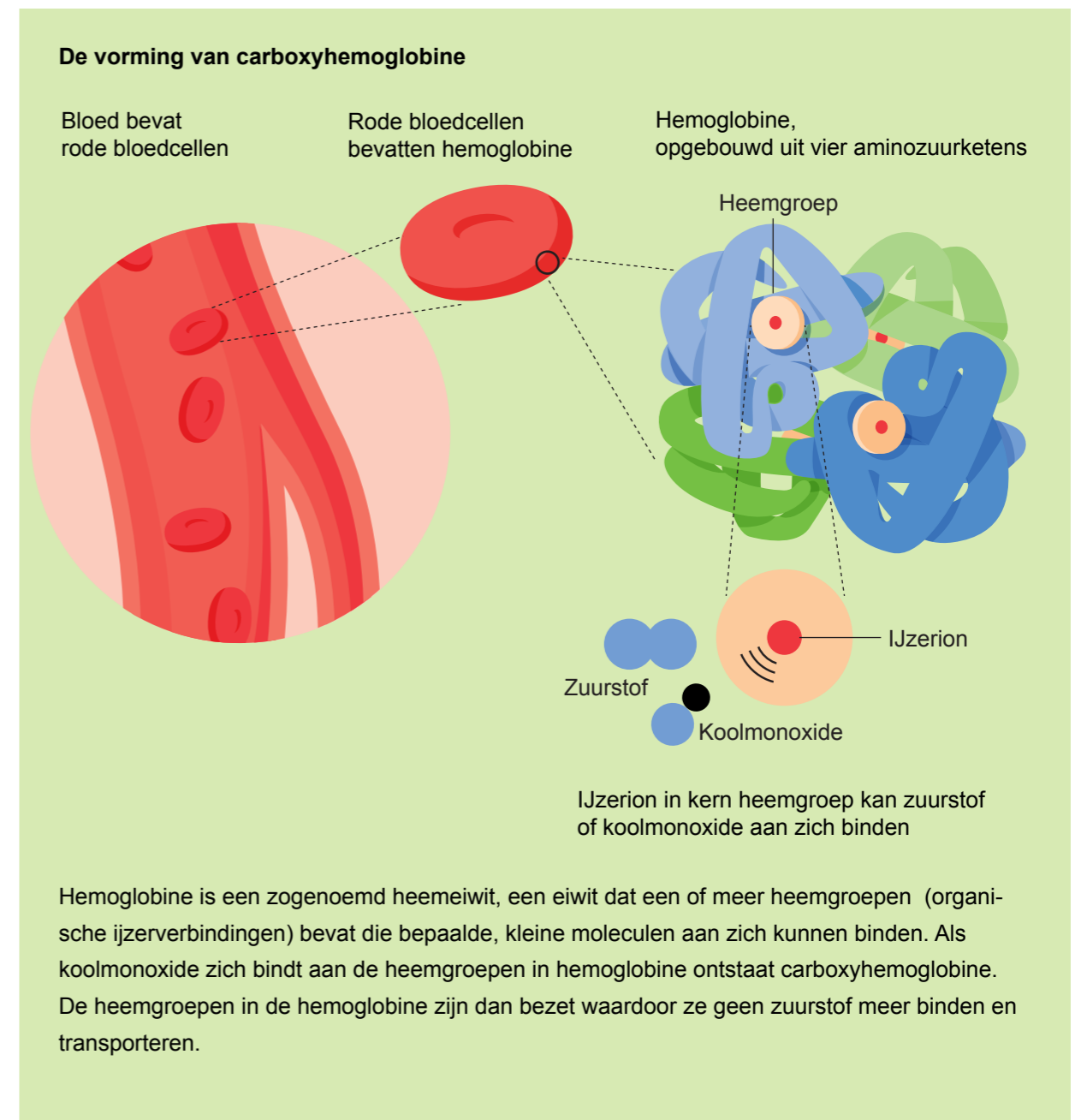
2.1 Gangbare opvatting

Bekende gezondheidseffecten van blootstelling aan koolmonoxide zijn hoofdpijn, vermoeidheid, duizelingen, concentratiestoornissen en misselijkheid. Ze kunnen al bij lage niveaus van blootstelling optreden. Bij hoge blootstelling kunnen slachtoffers bewusteloos raken en overlijden.²⁻⁵

Bekend is dat zwangere vrouwen en de foetus, pasgeborenen, ouderen, mensen met hart- en longziekten, met bloedarmoede of bloedziekten extra gevoelig zijn.²⁻⁴ Omdat het om specifieke ziekteverschijnselen gaat, wordt de oorzaak door de slachtoffers zelf en door hun hulpverleners lang niet altijd onderkend.^{3,6,7} Patiënten kunnen dan met een verkeerde diagnose naar huis worden gestuurd, waardoor de klachten voortduren of verergeren.

De heersende opvatting onder artsen en andere deskundigen is dat de schadelijke effecten van koolmonoxide vooral het gevolg zijn van zuurstofgebrek.^{2-5,8} Doordat koolmonoxide zich krachtig bindt aan de heemgroepen (organische ijzerverbindingen) van de rode kleurstof hemoglobine in het bloed, kan deze geen zuurstof meer transporteren, zie kader. Dit complex van koolmonoxide en hemoglobine wordt carboxyhemoglobine genoemd. Als te veel hemoglobine op deze manier onwerkzaam wordt, ontstaat in het lichaam een zuurstoftekort. Organen kunnen dan minder goed gaan functioneren of uitvallen. De behandeling van slachtoffers bestaat uit het laten inhaleren van schone lucht of de versnelde toediening van zuurstof. Op die manier kan zich weer zuurstof in plaats van koolmonoxide binden aan de hemoglobine.^{2,4}

Na een ernstige vergiftiging verloopt het herstel vaak traag en 15-40% van de slachtoffers kan nog lange tijd of blijvend last hebben van neurologische of cognitieve restverschijnselen.⁹



Vanwege de giftigheid van koolmonoxide hebben diverse instanties in de loop der jaren gezondheidskundige advieswaarden opgesteld voor de blootstelling van de algemene bevolking. Deze advieswaarden zijn bedoeld om de algemene bevolking te beschermen en beschrijven welke concentraties in de lucht niet overschreden zouden moeten worden. Ze zijn gericht op het beperken van de vorming van carboxyhemoglobine in het bloed, onder de aanname dat dat de belangrijkste oorzaak is van de schadelijke gezondheidseffecten. In 1999 heeft de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) geadviseerd dat het gemiddelde blootstellingsniveau over een periode van 8 uur niet boven de 9 ppm mag uitkomen (zie kader).¹⁰ Over kortere perioden mag de blootstelling gemiddeld wat hoger zijn. Deze advieswaarden zijn zo gekozen dat het percentage carboxyhemoglobine altijd beneden de 2,5% blijft.¹⁰ Deskundigen achten dat nodig om mensen met gedocumenteerde of latente ziekten aan de kransslagaders tegen een acuut hartinfarct en de foetus tegen schade door een tekort aan zuurstof te beschermen. Ze beschouwen deze groepen binnen de algemene bevolking als het meest gevoelig voor de schadelijke werking van koolmonoxide.

Gezondheidskundige advieswaarden van de WHO uit 1999 ter bescherming van de algemene bevolking

- 87 ppm voor 15 minuten
- 52 ppm voor 30 minuten
- 26 ppm voor 1 uur
- 9 ppm voor 8 uur

2.2 Nieuwe inzichten

De laatste decennia is steeds duidelijker geworden dat de giftige werking van koolmonoxide complexer is.^{9,11-16} De ernst van de ziekteverschijnselen blijkt niet altijd verband te houden met de mate waarin hemoglobine door ingeademd koolmonoxide onwerkzaam is geworden. Bij heel lage blootstellingen treden ook al gezondheidseffecten op. Het ligt niet voor de hand dat dan zo veel hemoglobine onwerkzaam wordt dat zuurstofgebrek optreedt. Kennelijk is de vorming van carboxyhemoglobine niet het probleem of in elk geval niet het enige probleem.

Al geruime tijd is bekend dat het menselijk lichaam zelf kleine hoeveelheden koolmonoxide produceert bij afbraakprocessen.¹⁷⁻¹⁹ Dit in het lichaam (endogeen) gevormde koolmonoxide blijkt geen nutteloos afvalproduct te zijn. Het vervult in het lichaam belangrijke regelfuncties.^{18,20} Die regelfunctie berust op het vermogen van koolmonoxide om zich te binden aan heemgroepen van eiwitten en daarmee hun werking te beïnvloeden (activeren, remmen, uitschakelen). In de cellen van het lichaam zijn tal van soorten eiwitten met één of meer heemgroepen (heemeiwitten) betrokken bij belangrijke biologische processen, zoals het zuurstoftransport, de energievoorziening, de omzetting van stoffen (bijvoorbeeld geneesmiddelen), de biologische klok, de bloeddrukregulatie, het hartritme en de prikkelgeleiding in zenuwen.^{18,21-24} Een goed verloop van deze processen is cruciaal voor de gezondheid.



Terwijl endogeen koolmonoxide door een subtiele interactie met heemewitten de werking van die eiwitten regelt, blijkt koolmonoxide dat van buitenaf in het lichaam komt (exogeen koolmonoxide) de werking van heemewitten juist te ontregelen. En dat geldt voor heemewitten in het algemeen, dus niet alleen voor hemoglobine.¹³ Hierdoor kan schade ontstaan, vooral aan hart en bloedvaten en het zenuwstelsel. Sommige deskundigen beschouwen effecten van exogeen koolmonoxide via heemewitten in de cellen van weefsels en organen van grotere betekenis voor de gezondheid dan effecten via de binding aan hemoglobine in het bloed.^{9,15,25,26} Enkele experts stellen dat de hemoglobine in het bloed (dat ongeveer 80% van alle heemgroepen in het lichaam bevat)²⁷ veeleer als een filter moet worden gezien dat exogeen koolmonoxide wegvangt en dat het deel van de koolmonoxide dat aan dit filter ontsnapt en de cellen in de weefsels en organen bereikt de eigenlijke gezondheidsschade veroorzaakt.²⁸

In 2010 heeft de WHO geconcludeerd dat bij gezondheidseffecten die voortvloeien uit lage blootstellingen andere werkingsmechanismen dan zuurstofgebrek een rol moeten spelen.²⁹ Daarom heeft ze haar advieswaarden uitgebreid: bij blootstelling gedurende 24 uur adviseert zij de waarde van 6 ppm niet te overschrijden.

Aanvullende gezondheidkundige advieswaarden voor de algemene bevolking van de WHO uit 2010

6 ppm voor 24 uren

Een bijkomende overweging van de WHO was dat in recente, grote epidemiologische onderzoeken positieve associaties zijn gevonden tussen blootstelling aan koolmonoxideconcentraties in de buitenlucht tussen 0,5-9 ppm en ziekenhuisopnamen en bezoeken aan spoedeisendehulpafdelingen wegens hart- en vaatziekten.²⁹

De *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR), een overheidsinstantie in de Verenigde Staten gericht op het minimaliseren van gezondheidsrisico's door gevaarlijke stoffen, heeft in 2012 geen advieswaarde voor de blootstelling aan koolmonoxide willen afleiden.¹³ Gezien de belangrijke fysiologische rol van endogeen koolmonoxide achtte de ATSDR het waarschijnlijk dat een veilig blootstellingsniveau aan exogeen koolmonoxide, mocht dat al bestaan, op of nabij het endogene productieniveau ligt. Dat zou volgens de ATSDR betekenen dat elke blootstelling aan een externe bron schadelijk kan zijn voor de gezondheid.

Nieuwe behandelmogelijkheden

De nieuwe inzichten in de giftige werking van koolmonoxide bieden ook kansen voor de ontwikkeling van nieuwe therapieën voor koolmonoxidevergiftiging.¹⁵ Een voorbeeld dat al succesvol toegepast is bij vergiftigde



muizen is het schoonwassen van het lichaam met een bijzonder krachtige koolmonoxidebinder in de vorm van een gemodificeerd natuurlijk heemeiwit.³⁰ Mogelijk kan deze therapie in de toekomst ook toegepast worden op mensen.

2.3 Gevoeligheid van de foetus

De WHO heeft de wetenschappelijke informatie over de giftigheid van koolmonoxide in 2010 samengevat en toen vastgesteld dat vooral het bewijs voor een verband tussen blootstelling aan koolmonoxide en het risico op hart- en vaatziekten sterk is. Er zijn ook effecten op de foetus beschreven, maar het bewijs daarvoor achtte de WHO minder hard.²⁹ Sindsdien zijn nieuwe epidemiologische onderzoeken en onderzoeken met proefdieren uitgevoerd. Deze duiden erop dat lage concentraties koolmonoxide (onder 25 ppm en zelfs onder 10 ppm) mogelijk de cognitieve ontwikkeling³¹⁻³⁴ en het gehoor³⁵⁻³⁸ van het ongeboren kind kunnen schaden.³⁹ Dergelijke effecten op de foetus zijn ook beschreven voor roken door moeders tijdens de zwangerschap.⁴⁰⁻⁴⁵ Koolmonoxide is één van de schadelijke bestanddelen van sigarettenrook. In een recent Zweeds overzichtsrapport van het toxicologisch en epidemiologisch onderzoek aan koolmonoxide concluderen de opstellers dat effecten op de zich ontwikkelende foetus het meest kritisch zijn, dat wil zeggen dat deze zich bij de laagste blootstellingsniveaus voordoen.⁴⁶

De commissie heeft voor dit advies, dat een signalerend karakter heeft, geen uitgebreide evaluatie gedaan van de toxicologische en epidemiologische literatuur over koolmonoxide. In 2020 zal een andere commissie van de Gezondheidsraad, de Commissie Gezondheid en beroepsmatige blootstelling aan stoffen (GBBS), op verzoek van de minister van SZW gezondheidskundige advieswaarden afleiden voor koolmonoxide op de werkplek. Die commissie zal zich dan ook buigen over de vraag welke waarde bescherming biedt aan de foetus van zwangere werknemers.

Overigens gelden voor werknemers doorgaans minder strenge grenswaarden dan voor de algemene bevolking, omdat de blootstellingsduur op de werkplek korter is (uitgangspunt is 40 uur per week gedurende 40 jaren) en omdat het niet om alle mensen gaat, maar om een beperkte subpopulatie (alleen gezonde volwassenen). De EU hanteert sinds kort als grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling: 100 ppm voor 15 minuten en 20 ppm voor 8 uur.⁴⁷ Wereldwijd gelden grenzen tussen 20-50 ppm als gemiddelde over 8 uur voor de bescherming van werknemers.^{5,48}

03 omvang van blootstelling en gezondheidsschade

De aanwezigheid van koolmonoxide in Nederlandse woningen wordt niet systematisch gemeten. Een grove schatting op grond van beperkte onder-



zoeksgegevens is dat in 1 op de 1000 woningen de waarde van 26 ppm wordt overschreden. De advieswaarde van de WHO van 6 ppm bij langdurige blootstelling zal vaker worden overschreden. Omdat de gezondheidsschade die wordt veroorzaakt door lage blootstellingen vaak onopgemerkt blijft, is niet duidelijk hoeveel mensen hiervan daadwerkelijk schade ondervinden.

3.1 Omvang blootstelling

Er vindt geen systematisch onderzoek plaats naar koolmonoxideconcentraties in Nederlandse woningen.⁴⁹ Wel zijn enkele onderzoeken van beperkte omvang uitgevoerd en wordt incidenteel gemeten door GGD-en (zie kader). Verbrandingsinstallaties blijken de voornaamste bronnen van blootstelling aan koolmonoxide binnenshuis te zijn. Andere bronnen zijn roken en het verkeer.

Verbrandingsinstallaties

Verbrandingsinstallaties in woningen (geisers, cv-installaties, fornuizen, kachels en haarden) vormen een belangrijke bron van blootstelling van de algemene bevolking aan koolmonoxide.¹ Het probleem wordt versterkt doordat de ventilatie van woningen vaak onvoldoende is.⁵⁴ Normale concentraties in woningen liggen rond hetzelfde niveau als die in de buitenlucht: onder de 1 ppm. In woningen waar niet wordt gerookt en andere bronnen afwezig zijn, bedraagt de concentratie gemiddeld circa 0,4 ppm.^{49,52} Concentraties van enige tientallen ppm worden geregeld

aangetroffen. In de jaren '80 waren de concentraties hoger dan later, omdat er toen meer (afvoerloze) geisers in gebruik waren.⁴⁹

Onderzoeksgegevens over koolmonoxideconcentraties in Nederlandse woningen

1982: concentraties bij geiser in de keuken (na 15 minuten werking van de geiser) in 254 woningen in Arnhem en Enschede⁵⁰ (kortdurende metingen van enkele minuten):

- 63% minder dan 10 ppm
- 20% tussen 11 en 50 ppm
- 10% tussen 51 en 100 ppm
- 7% meer dan 100 ppm.

Winter van 2003/2004: concentraties in 74 Nederlandse keukens⁵¹:

- Weekgemiddelde: 0,4 ppm, maximum van 5,2 ppm.

Januari tot en met oktober 2007: meetresultaten tijdens huisbezoeken GGD Rotterdam-Rijnmond (aantal bezochte woningen en meetduur niet bekend)⁴⁹:

- In 7 woningen tussen 20 tot 178 ppm.

2007 en 2008: concentraties in ruimte met gastoestel (geiser, kachel, fornuis) in 1.028 huurwoningen in Schiedam en Dordrecht (kortdurende metingen van hooguit enkele minuten met handmeter)⁵²:

- 84% minder dan 1 ppm (detectiegrens)
- 15% tussen 1 en 10 ppm
- 1% tussen 10 en 25 ppm
- 0,5% tussen 25 en 50 ppm
- 0,3% tussen 50 en 75 ppm
- 8% in de woonkamer, maximum 15 ppm.

Augustus 2008 en januari-februari 2009: concentraties in woonkamer in 25 resp. 60 woningen in Groningen gedurende één week⁵³:

- Weekgemiddelde concentraties in beide seizoenen: 0 ppm
- Mediane piekconcentratie in beide seizoenen: 1 ppm
- Hoogste piekconcentraties: 15 ppm.



Ter beperking van de opwarming van de aarde door toenemende gehalten van kooldioxide in de atmosfeer heeft het kabinet in 2016 een 'Energie-agenda' opgesteld.⁵⁵ Daarin geeft het te kennen het aardgasgebruik, ook in woningen, tot 2050 sterk te willen terugdringen. In nieuwbouwwijken zullen in beginsel geen gasnetten meer worden aangelegd. Daarmee zal het risico op koolmonoxidevergiftigingen door verbrandingsinstallaties geleidelijk afnemen, maar zolang onder andere open haarden en hout- en pelletkachels (pellets zijn korrels van geperst hout) in gebruik blijven, zal het risico nooit helemaal nul zijn. Ook tafelbarbecues en de opslag van houtpellets zijn mogelijke bronnen van koolmonoxide.^{56,57}

Roken

Roken is een andere bron van blootstelling aan koolmonoxide. Naast nicotine en teer is koolmonoxide de belangrijkste chemische component in tabaksrook waaraan de schadelijke gezondheidseffecten van roken worden toegeschreven. Bij rokers kan 3-15% van het hemoglobine onwerkzaam zijn door binding aan koolmonoxide.^{2,5} Het beleid van de overheid en de inspanningen van medische beroepsgroepen is erop gericht om het roken terug te dringen en vooral ook vrouwen ertoe te bewegen om niet te roken tijdens de zwangerschap.

De huidige tabakswetgeving die roken in openbare gelegenheden verbiedt, biedt iedereen bescherming tegen schadelijke gevolgen van 'meerroken', dus ook zwangere vrouwen. Maar in huiselijke kring kunnen

zwangere vrouwen worden blootgesteld aan sigarettenrook en daarmee ook aan lage concentraties koolmonoxide. Bekend is dat de rook die vanaf een sigaret rechtstreeks de woonkamer ingaat vijf maal meer koolmonoxide bevat dan de rook die de roker zelf inhaleert en weer uitblaast.^{58,59} Vermoedelijk komt dat omdat er zuurstof wordt aangezogen op het moment dat de roker een trek neemt, waardoor de verbranding vollediger is.

Sommige Nederlandse onderzoekers melden dat in woningen waar wordt gerookt de koolmonoxideconcentratie 2 ppm bedraagt,^{49,52} anderen melden 5-10 ppm.⁷ De laatste waarden liggen rond de huidige advieswaarden van de WHO. De laatste jaren is het rookgedrag van mensen echter behoorlijk veranderd onder invloed van voorlichtingscampagnes. Een ruime meerderheid van de Nederlanders houdt het huis nu rookvrij en er is een geleidelijke daling waarneembaar in het binnenshuis roken in gezinnen met kinderen.⁶⁰ Het belang van 'meerroken' als bron van blootstelling aan koolmonoxide lijkt daarmee af te nemen. Daarentegen lijken waterpijpen een steeds belangrijkere bron van blootstelling aan koolmonoxide te worden. Dat betreft niet alleen de rokers zelf, maar ook degenen die zich bevinden in de ruimte waar wordt gerookt of in aangrenzende ruimten.^{57,61}



Verkeer

Koolmonoxide hoeft niet per se in de woning te ontstaan, maar kan ook van buitenaf de woning binnendringen. De verbrandingsmotoren van het verkeer vormen een bron van koolmonoxide. Sommigen deskundigen melden een bijdrage door het verkeer van 1-2 ppm aan de koolmonoxideconcentratie in woningen nabij drukke verkeerswegen.⁷ De concentraties van koolmonoxide in de buitenlucht zijn de laatste jaren echter sterk gedaald, vooral door de invoering van de katalysator in auto's. Op verkeersrijke locaties bedroeg de maximale 8-uursgemiddelde concentratie gedurende eind jaren '80 en begin jaren '90 van de vorige eeuw 5-11 ppm; in 2008 was dat ongeveer 2 ppm.⁶² Meetgegevens uit Amsterdam van 2017 laten zien dat zelfs op drukke verkeerswegen met hoge gebouwen aan weerszijden (de zogenoemde *street canyons*) uurgemiddelde concentraties tegenwoordig slechts zelden boven 1 ppm uitkomen.^a De waarden zijn nu zo laag dat er geen EU-verplichting voor monitoring van koolmonoxide meer geldt. Door de toename van het aandeel hybride- en elektrische auto's zal de uitstoot alleen maar verder afnemen. Het verkeer lijkt dan ook geen belangrijke bron meer van blootstelling, zeker niet in de woning.

^a Persoonlijke mededeling dr. R. van Strien, GGD Amsterdam

Schatting aantal woningen boven WHO norm

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu constateerde in 2008 dat de beschikbare onderzoeksgegevens geen landsdekkend en representatief beeld geven van chronische blootstelling aan koolmonoxide in Nederlandse woningen.⁴⁹ Dat is volgens de commissie nog steeds het geval. Om toch een indicatie te geven van de omvang van de blootstelling schat de commissie op grond van de meetgegevens uit Schiedam en Dordrecht van 2007 en 2008 en onder de aannames dat die woningen niet helemaal representatief zijn voor het hele woningenbestand en dat de blootstelling sindsdien gedaald is door verdere uitfasering van geisers, dat op enig moment in 1 op 1.000 woningen concentraties voorkomen van 26 ppm of hoger. Dat is een grove schatting. De uitgevoerde onderzoeken zijn te klein om dit aandeel nauwkeurig vast te kunnen stellen. Over het aantal woningen waarin koolmonoxideconcentraties voorkomen die boven de WHO-advieswaarde voor langdurige blootstelling van 6 ppm liggen, valt weinig meer te zeggen dan dat het om een hoger aantal zal gaan. Daarbij moet wel de kanttekening worden geplaatst dat de gegevens uit Schiedam en Dordrecht berusten op metingen van enkele minuten en de WHO-waarde van 6 ppm geldt voor een blootstellingsduur van 24 uur.

Project 'Veilig Wonen Schiedam'

In Schiedam loopt momenteel het project 'Veilig Wonen Schiedam', waarin een woningcorporatie en een installatiebedrijf in samenwerking met de Gemeente Schiedam en de Brandweer Regio Rijnmond het risico



op koolmonoxidevergiftiging proberen te verkleinen. In 12000 woningen zijn of worden rook- en koolmonoxidemelders opgehangen. Elke twee jaar controleert het bedrijf de werking van de cv-installatie en de melders. Het bijzondere van de gebruikte koolmonoxidemelders is dat ze over een geheugenfunctie beschikken waarin alle meetgegevens worden opgeslagen. Met een app op de mobiele telefoon zijn deze historische gegevens af te lezen. Zo is terug te zien wanneer welke concentratie koolmonoxide is gemeten en wanneer het alarm is afgegaan. Omdat relatief gevoelige koolmonoxidemelders zijn gebruikt (detectie vanaf 10 ppm), biedt dit project een unieke kans om meer inzicht te krijgen in de aanwezigheid van koolmonoxide in woningen, ook in relatief lage concentraties. Daartoe moeten de gegevens dan wel centraal worden verzameld en geanalyseerd. De eerste kwantitatieve resultaten van het project zijn op 13 november 2018 gepresenteerd tijdens de Kennissessie Koolmonoxide, die in Arnhem werd georganiseerd door Brandweer Nederland en de Nederlandse Brandwonden Stichting. Binnen enkele weken nadat de eerste 5000 koolmonoxidemelders waren geïnstalleerd, gingen er 15 (0,3%) af, wat duidt op koolmonoxideconcentraties hoger dan (ongeveer) 50 ppm.⁶³

3.2 Omvang gezondheidsschade

Als de koolmonoxideconcentratie in een woning de WHO-waarden overschrijdt, betekent dat niet automatisch dat er gezondheidseffecten optreden. Dat hangt af van waar in de woning de verhoogde concentraties

aanwezig zijn (zolder, woonkamer, slaapkamer, keuken, douche), hoe lang iemand eraan is blootgesteld en in welke conditie hij of zij op dat moment verkeert. Sommige mensen hebben een verhoogde 'basis-blootstelling'. Dat geldt voor rokers en voor mensen die beroepsmatig worden blootgesteld aan koolmonoxide, zoals wegwerkers, chauffeurs, garagewerkers en brandweerlieden. Bij hen kan het percentage carboxyhemoglobine wel 5% bedragen, soms nog meer. Zij lopen daardoor meer risico op gezondheidseffecten.⁴⁹

Allerlei maatschappelijke ontwikkelingen kunnen de risico's van koolmonoxide vergroten, ook al zijn de concentraties koolmonoxide in woningen tegenwoordig lager dan voorheen. De bevolking vergrijsst. Ouderen zijn meer thuis, wonen tot op hogere leeftijd thuis en hebben een toenemende gevoeligheid door ouderdom of ziekte. Een andere ontwikkeling die de risico's van koolmonoxide vergroot, is dat mensen vaker thuis werken.⁵⁴

Wat de omvang van de gezondheidsschade is, is niet duidelijk. Als zichtbare gezondheidsschade en zelfs sterfte door acute en relatief hoge blootstellingen al moeilijk te schatten zijn¹, dan geldt dat in versterkte mate voor de niet direct waarneembare gezondheidseffecten als gevolg van (langdurige) lage blootstellingen.⁶⁴



04 recente beschermingsmaatregelen

De maatregelen die overheid en bedrijfsleven nemen naar aanleiding van de aanbevelingen van de OVV, zullen resulteren in een vermindering van het aantal ongevallen met koolmonoxide. De bescherming tegen gezondheidsschade door blootstelling aan lage concentraties is echter niet optimaal. De koolmonoxidemelders die in Nederland op de markt zijn, zijn namelijk niet gevoelig genoeg om lage concentraties te detecteren.

4.1 Maatregelen na de aanbevelingen van de OVV

Naar aanleiding van de aanbevelingen in het rapport van de OVV (zie kader) heeft het kabinet diverse maatregelen aangekondigd.⁶⁵ Een deel van de aanbevelingen van de OVV heeft betrekking op de kwaliteit van de verbrandingsinstallaties in woningen en van de vakmensen die deze installaties plaatsen en controleren. Onlangs heeft de Tweede Kamer een voorstel van de minister van BZK aangenomen voor een wet die regelt dat alleen gecertificeerde installatiebedrijven gasgestookte cv-installaties, haarden en geisers mogen plaatsen en onderhouden.⁶⁶ De wet wordt vermoedelijk in 2020 van kracht. De brancheorganisatie van installatiebedrijven, Techniek Nederland, heeft een instructiefilm op haar website geplaatst met tien aanbevelingen aan cv-monteurs voor het goed en veilig houden van cv-installaties.⁶⁷ Verdere houvast biedt de in 2018 verschenen

Nederlandse NEN 8025 norm voor de periodieke beoordeling van de veiligheid van technische installaties in woningen.⁶⁸ Voorts zal het kabinet ijveren voor wijzigingen in Europese wet- en regelgeving over eisen voor gastoestellen, zodat deze *failsafe* en *foolproof* worden.⁶⁵ Enkele fabrikanten van gastoestellen hebben inmiddels zelf het initiatief genomen om koolmonoxidesensoren in hun toestellen op te nemen die het apparaat uitschakelen als het te veel koolmonoxide produceert.

Andere aanbevelingen van de OVV hebben betrekking op koolmonoxidemelders, zowel op het verbeteren van hun betrouwbaarheid en effectiviteit als op het stimuleren van hun toepassing. Er zijn Europese normen voor koolmonoxidemelders (NEN-EN 50291 en NEN-EN 50292)^{69,70}, maar dit zijn vrijwillige normen voor producenten en leveranciers; ze hebben geen wettelijke status en vormen geen geharmoniseerde normen onder de EU-Verordening Bouwproducten. Een traject om binnen de Europese Unie tot een geharmoniseerde productnorm voor koolmonoxidemelders te komen, loopt op dit moment.⁷¹ Op de markt beschikbare melders blijken in de praktijk lang niet altijd betrouwbaar, zelfs niet als de fabrikant testrapporten volgens de NEN-EN 50291 kan overleggen.⁷¹ De Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) heeft in 2016 onderzoek gedaan naar de kwaliteit van koolmonoxidemelders en melders die niet aan de veiligheidseisen voldoen van de markt gehaald.⁷² Omdat de betrouwbaarheid van de koolmonoxidemelders nog niet is geregeld met een Europese productnorm en omdat alle nieuwbouw sinds 1 juli 2018 in principe geen



gasaansluiting meer mag hebben, stelt het kabinet koolmonoxidemelders niet wettelijk verplicht bij nieuwbouw of renovatie.⁷³ Het ziet de toepassing van koolmonoxidemelders als een aanvullende, vrijwillige maatregel op het brongerichte beleid dat met de wettelijke certificering van installatiebedrijven wordt ingezet. In 2017 zijn Brandweer Nederland, de Veiligheidsregio's en de Nederlandse Brandwonden Stichting de jaarlijkse, landelijke publiekscampagne 'Stop CO-vergiftiging' gestart. Via deze campagne wil het kabinet het vrijwillig gebruik van melders bevorderen en zorgen voor voorlichting over het juiste gebruik en een correcte reactie op een eventueel alarm.^{74,75} Brandweer Nederland heeft onderzoek laten doen naar de beste locatie voor het ophangen van koolmonoxidemelders in de woning⁷⁶ en op basis daarvan een plaatsingsadvies op zijn website geplaatst.⁷⁷ Instructies zijn ook te vinden op Youtube in filmpjes van de Consumentenbond en leveranciers van melders. De brancheorganisatie van installatiebedrijven pleit ervoor dat verkoop, installatie en controle van koolmonoxidemelders worden toegevoegd aan de wettelijke certificeringsregeling.⁷⁸

Het kabinet heeft toegezegd de koolmonoxideproblematiek en de effectiviteit van de maatregelen te monitoren.⁶⁵

Aanbevelingen van de Onderzoeksraad voor Veiligheid (OVV)¹

1. Stel een wettelijke verplichte uniforme erkenningsregeling in voor alle installateurs die verbrandingsinstallaties aanleggen en/of onderhouden in woningen en andere gebouwen.
2. Formuleer wettelijke eisen (eventueel in Europees verband) die ertoe leiden dat verbrandingsinstallaties failsafe en foolproof zijn.
3. Maak direct de volledige testresultaten van koolmonoxidemelders openbaar, zodat bewoners/eigenaren zelf in staat worden gesteld om een bewuste afweging te maken bij de aanschaf ervan.
4. Formuleer daarnaast wettelijke eisen (eventueel in Europees verband) die ertoe leiden dat de betrouwbaarheid en effectiviteit van koolmonoxidemelders gewaarborgd wordt. Stimuleer vervolgens de toepassing van betrouwbare en effectieve koolmonoxidemelders in woningen en publieke gebouwen.
5. Zorg voor voorlichting over de risico's met betrekking tot koolmonoxide bij bewoners/eigenaren, installateurs en hulpverleners.
6. Monitor de problematiek en de effectiviteit van maatregelen door registratie en onderzoek van koolmonoxideongevallen.

4.2 Gevoeligheid van koolmonoxidemelders

De maatregelen die overheid en bedrijfsleven nemen, pakken het probleem bij de bron aan en zullen naar verwachting bijdragen aan de vermindering van de koolmonoxideproblematiek in het algemeen. Het vraagstuk van de blootstelling aan lage concentraties maakt de noodzaak voor deze maatregelen alleen maar groter, omdat de problematiek waarschijnlijk omvangrijker is dan de analyse van de OVV doet vermoeden. Tegelijkertijd zijn ze onvoldoende om ongemerkte gezondheidsschade door blootstelling aan lage concentraties koolmonoxide te voorkomen. Het kabinet wil het vrijwillig gebruik van koolmonoxide melders bevorderen,



maar de melders die in Nederland op de markt zijn, zijn niet gevoelig genoeg. De gevoeligste melders detecteren concentraties vanaf 10 ppm en vermelden die waarde op een display. Andere melders beginnen pas vanaf 25 ppm. Weer andere melders hebben geen display. Geen enkele melder geeft een alarmsignaal af bij deze waarden.

De huidige, niet-wettelijke Europese norm waaraan de NVWA de melders toetst (NEN-EN 50291)⁶⁹, schrijft voor dat melders beneden 30 ppm geen akoestisch alarmsignaal mogen geven, zie tabel 1. Voor testdoeleinden is bepaald dat er bij 30 ppm in elk geval geen alarmsignaal mag klinken binnen 120 minuten. De ondergrens van 30 ppm is gekozen om vals alarm (bijvoorbeeld door vervuilde buitenlucht) te voorkomen.⁷⁰ Een akoestisch alarmsignaal is verplicht vanaf 50 ppm. Alle melders die in Nederland op de markt zijn, geven dan ook pas een alarm vanaf (ongeveer) 50 ppm. Terwijl het volgens organisaties als de WHO vanuit gezondheidkundig perspectief niet verstandig is om aan meer dan 6 ppm blootgesteld te zijn gedurende 24 uur (en 9 ppm gedurende 8 uur), stelt de Europese norm een akoestisch alarmsignaal voor koolmonoxide pas verplicht bij 50 ppm en verbiedt zelfs een signaal beneden 30 ppm. Hier is sprake van een discrepantie.

Tabel 1. Technische eisen aan koolmonoxidemelders volgens Europese norm NEN-EN 50291⁶⁹

Concentratie koolmonoxide ppm	Géén alarm binnen (minuten)	Wel alarm binnen (minuten)
30	120	-
50	60	90
100	10	40
300	-	3

De gevoeligheid van de koolmonoxidemelders en de eisen die worden gesteld aan het alarm sluiten evenmin aan bij de GGD-richtlijn voor koolmonoxide in woon- en verblijfsruimten.^{7a} Die richtlijn schrijft voor dat GGD-medewerkers bij meetwaarden van enkele ppm extra metingen moeten verrichten en adviezen aan bewoners en eigenaren moeten geven over ventilatie en het onderhoud van de verbrandingsinstallatie. Boven 25 ppm moeten zij onmiddellijk actie ondernemen, zie tabel 2. De GGD-richtlijn gaat uit van concentraties die de medewerkers zelf detecteren met behulp van hun eigen mobiele koolmonoxidemeters. Koolmonoxidemelders in woningen detecteren immers geen lage concentraties. Doorgaans gaat het om kortdurende metingen van hooguit enkele minuten. De GGD-richtlijn schrijft voor om al bij enkele ppm in te grijpen. Het uitgangspunt van de GGD is dat 'langdurige blootstelling (> 8 uur) aan lage gehalten koolmonoxide onwenselijk is en dat daarnaast een verhoogd koolmonoxidegehalte een indicatie is voor een mogelijk gevaarlijke situatie die plotseling

^a De richtlijn uit 2008 wordt momenteel geactualiseerd.



kan verergeren.' Daarbij doelt de GGD op ondeugdelijke verbrandingsapparatuur of onjuiste afvoer van verbrandingsgassen.

Tabel 2. GGD-richtlijn voor medewerkers die koolmonoxide in een woning detecteren⁷

Concentratie koolmonoxide in woning	Te nemen maatregelen
Enkele ppm	Extra metingen en bronopsporing (tenzij rookgedrag of kaarsen bron); adviezen over ventilatie en onderhoud verbrandingstoestel
10-25 ppm	Altijd extra metingen en bronopsporing; adviezen over ventilatie en gebruik en onderhoud verbrandingstoestel
25-50 ppm	Direct ingrijpen (binnen 30 minuten): ventileren, verbrandingstoestellen uitschakelen; bronopsporing door KIWA Gas Technology (in pandige bron) of milieudienst (externe bron)
50-100 ppm	Direct ingrijpen (binnen 15 minuten): ventileren, verbrandingstoestellen uitschakelen; zo nodig pand ontruimen; bronopsporing door technisch bedrijf (in pandige bron) of milieudienst (externe bron)
Boven 100 ppm	Pand ontruimen; hulpdiensten waarschuwen

Tot slot is er ook een discrepantie met de NEN 8025:2018 nl voor periodieke beoordeling van de veiligheid van technische installaties in woningen. Deze norm stelt dat er 'enig bezwaar' is tegen heringebruikname van een verbrandingsinstallatie na een periodieke controlebeurt, als de monteur in de opstellingsruimte een koolmonoxideconcentratie meet van 5-25 ppm en 'ernstig bezwaar' tegen heringebruikname bij een concentratie van >25 ppm, zie tabel 3. Ook dit betreft kortdurende metingen van maximaal enkele minuten. Bij 'enig bezwaar' moet het installatiebedrijf advies geven dat leidt tot onderhoud, reparatie of vervanging. Bij 'ernstig bezwaar' tegen heringebruikname moeten onmiddellijk maatregelen worden getroffen, omdat er sprake is van een acuut gevaar.

Een koolmonoxidemelder die in dezelfde ruimte aanwezig is, mag bij deze waarden volgens NEN-EN 50291 geen alarm geven!

Tabel 3. Beoordeling of er bezwaar is tegen heringebruikname verbrandingstoestel na controlebeurt op grond van de koolmonoxide concentratie in de opstellingsruimte volgens NEN 8025⁶⁸

	Geen bezwaar	Enig bezwaar	Ernstig bezwaar
Concentratie CO	<5 ppm	5-20 ppm	>25 ppm

05 advies voor aanvullende maatregelen

De OVV heeft in 2015 aandacht gevraagd voor gezondheidsschade door blootstelling aan koolmonoxide. De problematiek is vermoedelijk omvangrijker dan de analyse van de OVV doet vermoeden, omdat lage blootstellingen doorgaans niet worden opgemerkt en de gezondheidseffecten ervan niet altijd direct zichtbaar zijn. Om ook de gezondheidsrisico's van lage blootstellingen beter af te dekken, doet de commissie enkele aanbevelingen in aanvulling op de maatregelen die nu al genomen worden.

Gevoelige koolmonoxidemelders

Om bescherming te bieden tegen lage concentraties koolmonoxide, zouden koolmonoxidemelders ook moeten waarschuwen als de WHO-waarden voor langdurige blootstelling (9 ppm en 6 ppm) worden over-



schreden. Daartoe zijn melders nodig die gevoeliger zijn of gevoeliger zijn afgesteld. De gevoeligste melders die nu op de markt zijn, kunnen 10 ppm detecteren. In de Verenigde Staten zijn koolmonoxidemelders voor consumenten op de markt die concentraties vanaf 5 ppm op hun display vermelden en bij 5 ppm ook een akoestisch signaal afgeven. Technisch is het dus haalbaar om koolmonoxidemelders te maken en te laten afgaan bij zo'n lage concentratie. Deze *low-level* melders zijn wel wat duurder dan de in Nederland gangbare typen. Belangrijk is dat melders niet veel duurder worden door het verhogen van de gevoeligheid, anders gaan mensen uit kostenoverwegingen afzien van de aanschaf van een melder. In dat geval zou ook de bescherming tegen hoge concentraties wegvallen en zou de maatregel een averechts effect hebben. Om diezelfde reden moet worden voorkomen dat door de hogere gevoeligheid vaker vals alarm optreedt. Dat risico is te vermijden door conform de WHO-normen te eisen dat het alarm bij 9 en 6 ppm pas afgaat als die waarden continu gedurende langere tijd (8, respectievelijk 24 uur) worden overschreden. Ook dat lijkt technisch haalbaar; de huidige melders geven bij 50 ppm immers ook pas een alarmsignaal na 60 minuten.

De commissie adviseert te bevorderen dat de voorschriften voor koolmonoxidemelders aansluiten bij de advieswaarden van de WHO. Het lijkt raadzaam om in de voorschriften te laten opnemen dat de melders ook bij lage waarden een akoestisch signaal moeten geven. Bewoners kijken immers niet vaak op het display. Om te voorkomen dat hulpdiensten onnodig gealarmeerd worden als een melder afgaat, zou daarbij onder-

scheid gemaakt kunnen worden tussen een luid en alarmerend signaal bij acuut gevaar (pand onmiddellijk verlaten, hulpdiensten waarschuwen) en een zachter signaal bij chronisch gevaar dat geen schrikreactie veroorzaakt, maar wel tot actie aanzet (ventileren, cv-installatie uitschakelen en laten nakijken). De commissie raadt aan dat Nederland dit inbrengt in het lopende traject om binnen de Europese Unie tot geharmoniseerde productnormen voor koolmonoxidemelders te komen.

Zolang betere melders niet beschikbaar zijn, is het raadzaam om de consument te adviseren de meest gevoelige melder aan te schaffen die nu op de markt is. Die meldt concentraties vanaf 10 ppm op zijn display, maar geeft geen alarm.

Metten in woningen

Om meer inzicht te krijgen in de omvang van het vraagstuk, verdient het aanbeveling onderzoek naar de aanwezigheid van lage concentraties koolmonoxide in woningen te stimuleren. Te denken valt aan projecten als 'Veilig Wonen Schiedam', waarbij op grote schaal relatief gevoelige koolmonoxidemelders in woningen worden geïnstalleerd, die meetgegevens over langere perioden kunnen opslaan. Die gegevens zouden dan wel centraal verzameld en geanalyseerd moeten worden.

Voorlichting over risico's van lage concentraties

Bij voorlichting aan bewoners, installatiebedrijven en hulpverleners over koolmonoxide verdienen de risico's van blootstelling aan lage concentra-



ties aparte aandacht, evenals de mogelijkheden om deze risico's te verkleinen. Dit is in het bijzonder van belang voor groepen die extra risico lopen door een hogere basis-blootstelling (rokers, mensen met bepaalde beroepen) of een hogere gevoeligheid (zwangeren, jonge kinderen, mensen met hart- en vaatziekten).

Advieswaarden voor blootstelling regelmatig updaten

De wetenschappelijke inzichten ten aanzien van de toxiciteit van koolmonoxide veranderen snel. Het verdient aanbeveling om geregeld te controleren of de advieswaarden nog up-to-date zijn. Dit dient in internationaal verband te gebeuren. Nederland kan zich daarvoor inzetten. Het aangekondigde advies van de commissie GBBS (zie hoofdstuk 2) kan daarbij van dienst zijn.

literatuur

- ¹ Onderzoeksraad voor Veiligheid. *Koolmonoxide - Onderschat en onbegrepen gevaar*. Den Haag: Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2015.
- ² Ernst A, Zibrak JD. *Carbon monoxide poisoning*. N Engl J Med 1998; 339(22): 1603-8.
- ³ Prockop LD, Chichkova RI. *Carbon monoxide intoxication: an updated review*. J Neurol Sci 2007; 262(1-2): 122-30.
- ⁴ Weaver LK. *Clinical practice. Carbon monoxide poisoning*. N Engl J Med 2009; 360(12): 1217-25.
- ⁵ Bleecker ML. *Carbon monoxide intoxication*. Handb Clin Neurol 2015; 131: 191-203.
- ⁶ Harper A, Croft-Baker J. *Carbon monoxide poisoning: undetected by both patients and their doctors*. Age Ageing 2004; 33(2): 105-9.
- ⁷ Kerkhoff RLH, Boels EL. *GGD-richtlijn medische milieukunde: koolmonoxide in woon- en verblijfsruimten*. Bilthoven: RIVM, 2008; 609330006/2008.
- ⁸ The Nordic Expert Group for criteria documentation of health risks from chemicals, Stockmann-Juvala H. 147. *Carbon monoxide*. Gothenburg: University of Gothenburg, 2012.
- ⁹ Rose JJ, Wang L, Xu Q, McTiernan CF, Shiva S, Tejero J, et al. *Carbon Monoxide Poisoning: Pathogenesis, Management, and Future Directions of Therapy*. Am J Respir Crit Care Med 2017; 195(5): 596-606.
- ¹⁰ World Health Organization. *Environmental Health Criteria 213 Carbon monoxide 2nd edition*. Geneva: World Health Organization, 1999.
- ¹¹ Townsend CL, Maynard RL. *Effects on health of prolonged exposure to low concentrations of carbon monoxide*. Occup Environ Med 2002; 59(10): 708-11.
- ¹² Kao LW, Nanagas KA. *Toxicity associated with carbon monoxide*. Clin Lab Med 2006; 26(1): 99-125.
- ¹³ Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *Toxicological profile for carbon monoxide*. Atlanta, Georgia, 2012.
- ¹⁴ Sykes OT, Walker E. *The neurotoxicology of carbon monoxide - Histo-*



- rical perspective and review. Cortex* 2016; 74: 440-8.
- ¹⁵ Roderique JD, Josef CS, Feldman MJ, Spiess BD. *A modern literature review of carbon monoxide poisoning theories, therapies, and potential targets for therapy advancement. Toxicology* 2015; 334: 45-58.
- ¹⁶ Peers C, Boyle JP, Scragg JL, Dallas ML, Al-Owais MM, Hettiarachichi NT, e.a. *Diverse mechanisms underlying the regulation of ion channels by carbon monoxide. Br J Pharmacol* 2015; 172(6): 1546-56.
- ¹⁷ Sjostrand T. *Endogenous formation of carbon monoxide in man. Nature* 1949; 164(4170): 580.
- ¹⁸ Wu L, Wang R. *Carbon monoxide: endogenous production, physiological functions, and pharmacological applications. Pharmacol Rev* 2005; 57(4): 585-630.
- ¹⁹ Rochette L, Cottin Y, Zeller M, Vergely C. *Carbon monoxide: mechanisms of action and potential clinical implications. Pharmacol Ther* 2013; 137(2): 133-52.
- ²⁰ Verma A, Hirsch DJ, Glatt CE, Ronnett GV, Snyder SH. *Carbon monoxide: a putative neural messenger. Science* 1993; 259(5093): 381-4.
- ²¹ *Heme biology - The secret life of heme in regulating diverse biological processes. New Jersey: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.; 2011. Editor: Zhang, L.*
- ²² Burton MJ, Kapetanaki SM, Chernova T, Jamieson AG, Dorlet P, Santolini J, e.a. *A heme-binding domain controls regulation of ATP-dependent potassium channels. Proc Natl Acad Sci U S A* 2016; 113(14): 3785-90.
- ²³ Kapetanaki SM, Burton MJ, Basran J, Uragami C, Moody PCE, Mitcheson JS, e.a. *A mechanism for CO regulation of ion channels. Nat Commun* 2018; 9(1): 907.
- ²⁴ Minegishi S, Sagami I, Negi S, Kano K, Kitagishi H. *Circadian clock disruption by selective removal of endogenous carbon monoxide. Sci Rep* 2018; 8(1): 11996.
- ²⁵ Goldbaum LR, Ramirez RG, Absalon KB. *What is the mechanism of carbon monoxide toxicity? Aviat Space Environ Med* 1975; 46(10): 1289-91.
- ²⁶ Schatzschneider U. *Novel lead structures and activation mechanisms for CO-releasing molecules (CORMs). Br J Pharmacol* 2015; 172(6): 1638-50.
- ²⁷ Zhang L. *Introduction. Editor: Zhang L. Heme biology - The secret life of heme in regulating diverse biological processes: 1-6. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.; 2011.*
- ²⁸ Motterlini R, Foresti R. *Biological signaling by carbon monoxide and carbon monoxide-releasing molecules. Am J Physiol Cell Physiol* 2017; 312(3): C302-C13.
- ²⁹ World Health Organization. *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Copenhagen: World Health Organization, Regional Office for Europe, 2010.*
- ³⁰ Azarov I, Wang L, Rose JJ, Xu Q, Huang XN, Belanger A, e.a. *Five-coordinate H64Q neuroglobin as a ligand-trap antidote for carbon*



monoxide poisoning. Sci Transl Med 2016; 8(368): 368ra173.

- ³¹ Dix-Cooper L, Eskenazi B, Romero C, Balmes J, Smith KR. *Neurodevelopmental performance among school age children in rural Guatemala is associated with prenatal and postnatal exposure to carbon monoxide, a marker for exposure to woodsmoke*. Neurotoxicology 2012; 33(2): 246-54.
- ³² Bharadwaj P, Gibson M, Graff Zivin J, Neilson C. *Gray matters: fetal pollution exposure and human capital formation*. Journal of the Association of Environmental and Resource Economists 2017; 4(2): 505-42.
- ³³ Cheng Y, Thomas A, Mardini F, Bianchi SL, Tang JX, Peng J, e.a. *Neurodevelopmental consequences of sub-clinical carbon monoxide exposure in newborn mice*. PLoS One 2012; 7(2): e32029.
- ³⁴ Trentini JF, O'Neill JT, Poluch S, Juliano SL. *Prenatal carbon monoxide impairs migration of interneurons into the cerebral cortex*. Neurotoxicology 2016; 53: 31-44.
- ³⁵ Stockard-Sullivan JE, Korsak RA, Webber DS, Edmond J. *Mild carbon monoxide exposure and auditory function in the developing rat*. J Neurosci Res 2003; 74(5): 644-54.
- ³⁶ Webber DS, Korsak RA, Sininger LK, Sampogna SL, Edmond J. *Mild carbon monoxide exposure impairs the developing auditory system of the rat*. J Neurosci Res 2003; 74(5): 655-65.
- ³⁷ Lopez I, Acuna D, Webber DS, Korsak RA, Edmond J. *Mild carbon monoxide exposure diminishes selectively the integrity of the cochlea of the developing rat*. J Neurosci Res 2003; 74(5): 666-75.

- ³⁸ Lopez IA, Acuna D, Beltran-Parrazal L, Espinosa-Jeffrey A, Edmond J. *Oxidative stress and the deleterious consequences to the rat cochlea after prenatal chronic mild exposure to carbon monoxide in air*. Neuroscience 2008; 151(3): 854-67.
- ³⁹ Levy RJ. *Carbon monoxide pollution and neurodevelopment: A public health concern*. Neurotoxicol Teratol 2015; 49: 31-40.
- ⁴⁰ Clifford A, Lang L, Chen R. *Effects of maternal cigarette smoking during pregnancy on cognitive parameters of children and young adults: a literature review*. Neurotoxicol Teratol 2012; 34(6): 560-70.
- ⁴¹ Kristjansson AL, Thorisdottir IE, Steingrimsdottir T, Allegrante JP, Lilly CL, Sigfusdottir ID. *Maternal smoking during pregnancy and scholastic achievement in childhood: evidence from the LIFECOURSE cohort study*. Eur J Public Health 2017; 27(5): 850-5.
- ⁴² Korres S, Riga M, Balatsouras D, Papadakis C, Kanellos P, Ferekidis E. *Influence of smoking on developing cochlea. Does smoking during pregnancy affect the amplitudes of transient evoked otoacoustic emissions in newborns?* Int J Pediatr Otorhinolaryngol 2007; 71(5): 781-6.
- ⁴³ Durante AS, Ibidi SM, Lotufo JP, Carvalho RM. *Maternal smoking during pregnancy: impact on otoacoustic emissions in neonates*. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 2011; 75(9): 1093-8.
- ⁴⁴ Weitzman M, Govil N, Liu YH, Lalwani AK. *Maternal prenatal smoking and hearing loss among adolescents*. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg 2013; 139(7): 669-77.
- ⁴⁵ Wilunda C, Yoshida S, Tanaka S, Kanazawa Y, Kimura T, Kawakami K.



Exposure to tobacco smoke prenatally and during infancy and risk of hearing impairment among children in Japan: A retrospective cohort study. Paediatr Perinat Epidemiol 2018; 32(5): 430-8.

- ⁴⁶ Montelius J. *Scientific basis for Swedish occupational standards - Cutting fluid aerosols, carbon monoxide.* Stockholm: Swedish Work Environment Authority, Swedish Criteria Group of Occupational Standards, 2017.
- ⁴⁷ De Europese Commissie. *Richtlijn (EU) 2017/164 van de Commissie van 31 januari 2017 tot vaststelling van een vierde lijst van indicatieve grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling uit hoofde van richtlijn 98/24/EG van de Raad en tot wijziging van de richtlijnen 91/322/EEG, 2000/39/EG en 2009/161/EU van de Commissie.* Publicatieblad van de Europese Unie 2017; L27: 115-20.
- ⁴⁸ Visser MJ, de Wit-Bos L, Palmes NGM, Bos PMJ. *Overview of occupational exposure limits within Europe.* Bilthoven: RIVM, 2014.
- ⁴⁹ Mooij M. *Chronische blootstelling aan koolmonoxide - Is er sprake van een probleem in Nederland?* Bilthoven: RIVM, 2008; 609300005/2008.
- ⁵⁰ Brunekreef B, Smit HA, Biersteker K, Boleij JSM, Lebret E. *Indoor carbon monoxide pollution in the Netherlands.* Environment International 1982; 8: 193-6.
- ⁵¹ Willers SM, Brunekreef B, Oldenwening M, Smit HA, Kerkhof M, Vries H. *Gas cooking, kitchen ventilation, and exposure to combustion products.* Indoor Air 2006; 16(1): 65-73.
- ⁵² Bruggen M van, Gram JTM, Boels EL, Ruhaak L, Mooij M. *Koolmo-*

noxide in huurwoningen in de randstad. metingen bij huishoudens met een bruto jaarinkomen lager dan €14.000 in Schiedam en Dordrecht. Bilthoven: RIVM, 2009.

- ⁵³ Hall EF, Dusseldorp A, Aries MBC, Knoll B. *Verbindingen in lucht en huisstof van woningen.* Bilthoven: RIVM, 2009; 609021087.
- ⁵⁴ Gezondheidsraad. *Een gezond binnenmilieu in de toekomst.* Den Haag: Gezondheidsraad, 2013; publicatienr. 2013/17.
- ⁵⁵ Ministerie van Economische Zaken. *Energieagenda - Naar een CO₂-arme energievoorziening.* Den Haag: Ministerie van Economische Zaken, 2016.
- ⁵⁶ Gauthier S, Grass H, Lory M, Kramer T, Thali M, Bartsch C. *Lethal carbon monoxide poisoning in wood pellet storerooms – two cases and a review of the literature.* Ann Occup Hyg 2012; 56(7): 755-63.
- ⁵⁷ Bosch S. *Tischgrills, Wasserpfeifen und Holzpellets: unerwartete Kohlenmonoxid-Gefahren.* Biol Unserer Zeit 2016; 46(2): 114-7.
- ⁵⁸ Hoffmann D, Adams JD, Wynder EL. *Formation and analysis of carbon monoxide in cigarette mainstream and sidestream smoke.* Prev Med 1979; 8(3): 344-50.
- ⁵⁹ Perfetti TA, Coleman III WM, Smith WS. *Determination of mainstream and sidestream cigarette smoke components for cigarettes of different tobacco types and a set of reference cigarettes.* Beiträge zur Tabakforschung International 1998; 18(3): 95-113.
- ⁶⁰ Weijde W ter, Croes E, Verdurmen J, Monshouwer K. *Factsheet meerooken.* Utrecht: Nationaal Expertisecentrum Tabaksontmoediging,



Trimbos-Instituut, 2015.

⁶¹ RIVM. *Factsheet Waterpijp: risico op koolmonoxidevergiftiging bij gebruik*. Bilthoven: RIVM, 2016.

⁶² Swaluw E van der, Hoogerbrugge R. *CO monitoring strategy*. Bilthoven: RIVM, 2012.

⁶³ Schipper J. *Presentatie tijdens Kennissessie koolmonoxide georganiseerd door brandweer Nederland en de Nederlandse Brandwonden Stichting op 13 november*. Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid; 2018.

⁶⁴ Wright J. *Chronic and occult carbon monoxide poisoning: we don't know what we're missing*. *Emerg Med J* 2002; 19(5): 386-90.

⁶⁵ *Kabinetsreactie van 17 juni 2016 op het rapport 'Koolmonoxide, onderschat en onbegrepen gevaar' van de Onderzoeksraad voor Veiligheid*. Tweede Kamer, vergaderjaar 2015-2016 32 757(nr 136):

⁶⁶ Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. *Wijziging van de Woningwet in verband met de introductie van een stelsel van certificering voor werkzaamheden aan gasverbrandingsinstallaties - Gewijzigd voorstel van wet van 28 mei 2019*.

⁶⁷ UNETO-VNI. *UNETO-VNI lanceert film met tips voor onderhoud van cv-installatie 20 oktober 2016*. <https://www.technieknederland.nl/persberichten/2016/uneto-vni-lanceert-film-met-tips-voor-onderhoud-van-cv-installatie>. Geraadpleegd: 6 juni 2019.

⁶⁸ Koninklijk Nederlands Elektrotechnisch Comité. *Nederlandse norm NEN 8025 (nl) Periodieke beoordeling van de veiligheid van technische installaties en technische voorzieningen in woningen*. Delft: NEN, 2018.

⁶⁹ Nederlands Elektrotechnisch Comité. *Nederlandse norm NEN-EN 50291-1 (en), Gas detectoren - Elektrisch materieel voor de detectie van koolstofmonoxide in tot bewoning bestemde gebouwen - Deel 1: Beproevingmethoden en prestatie-eisen*. Delft: NEN, 2018.

⁷⁰ Nederlands Elektrotechnisch Comité. *Nederlandse norm NEN-EN 50292 (en), Elektrisch materieel voor de detectie van koolstofmonoxide in tot bewoning bestemde gebouwen, caravans en vaartuigen - leidraad voor de keuze, het aanbrengen, het gebruik en het onderhoud*. Delft: NEN, 2013.

⁷¹ Graaf PJ van der. *Onderzoek koolmonoxidemelders*. Utrecht: Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V., 2018.

⁷² Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit. *Koolmonoxidemelders 2016 - Onderzoek naar de veiligheid van koolmonoxidemelders*. Utrecht: Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 2016.

⁷³ Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. *Kamerbrief van 31 januari 2019 over de stand van zaken uitvoering diverse toezeggingen en moties over brandveiligheid ouderen*.

⁷⁴ Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. *Wijziging van de Woningwet in verband met de introductie van een stelsel van certificering voor werkzaamheden aan gasverbrandingsinstallaties - Memorie van toelichting*. Tweede Kamer der Staten-Generaal Vergaderjaar 2017-2018 35 022(nr 3): 1-39.

⁷⁵ Ministerie van Justitie en Veiligheid. *Bijlage bij de brief van 13*



december 2018 aan de Tweede Kamer over de stand van zaken implementatie aanbevelingen uit 2015 en 2016 van de Onderzoeksraad voor Veiligheid.

- ⁷⁶ Kobes M, Vogel T. *Onderzoek naar geadviseerde locatie voor CO-melders*. Arnhem: Instituut voor Fysieke Veiligheid, Brandweeracademie, 2016.
- ⁷⁷ Brandweer. *Plaatsingsadvies koolmonoxidemelders*. Arnhem: Instituut voor Fysieke Veiligheid, Brandweeracademie; 2018. https://www.brandweer.nl/media/9313/plaatsingsadvies-co-melders_201903.pdf. Geraadpleegd: 3 juli 2019.
- ⁷⁸ Techniek Nederland. *Veelgestelde vragen over de wettelijke certificering van cv-installateurs*. <https://www.technieknederland.nl/extra-product/veelgestelde-vragen-wettelijke-certificering-cv-installateurs>. Geraadpleegd: 3 juli 2019.



Commissie en geraadpleegde deskundigen

Samenstelling Commissie signalering gezondheid en milieu voor het advies over gezondheidsrisico's door lange concentraties koolmonoxide

- dr. F. Woudenberg, manager afdeling leefomgeving, GGD, Amsterdam, *voorzitter*
- prof. dr. ing. J.W. Erisman, directeur Louis Bolk Instituut, Driebergen; bijzonder hoogleraar integrale stikstofstudies, VU Amsterdam
- dr. P.J. van den Hazel, medisch milieukundige, Veiligheids- en Gezondheidsregio Gelderland Midden, Arnhem
- prof. dr. M.A. Koelen, hoogleraar gezondheid en maatschappij, Wageningen UR
- prof. dr. R. Leemans, hoogleraar milieusysteemanalyse, Wageningen UR
- prof. dr. H. van Lente, hoogleraar Science and Technology Studies, Maastricht University
- prof. dr. J.P. van der Sluijs, hoogleraar algemene wetenschapstheorie van de natuurwetenschappen, Universiteit van Bergen, Noorwegen; universitair hoofddocent nieuwe risico's, Copernicus instituut voor duurzame ontwikkeling, Universiteit Utrecht
- prof. dr. A.P. van Wezel, hoogleraar waterkwaliteit en gezondheid, Universiteit Utrecht
- prof. dr. ir. E. Lebet, Chief Science Officer Integrated Risk Assessment, RIVM, Bilthoven; hoogleraar Environmental health impact assessment, Universiteit Utrecht, *structureel geraadpleegd deskundige*

Waarnemers

- ing. A.J.H.M. Dobbelsesteen, IenW, Den Haag

Secretarissen

- dr. H.F.G. van Dijk, Gezondheidsraad, Den Haag
- drs. J.W. Dogger, Gezondheidsraad, Den Haag
- dr. ir. P.W. van Vliet, Gezondheidsraad, Den Haag

Incidenteel geraadpleegde deskundigen

- E. Bosscher, Manager Brandveiligheid, Federatie Veilig Nederland, Zoetermeer
- prof. dr. ir. B. Brunekreef, hoogleraar milieuepidemiologie, IRAS, Utrecht
- J.T.M. Gram, verpleegkundige, GGD Rotterdam-Rijnmond
- dr. J. van der Helm, RIVM, Bilthoven
- R. Jonker, GGD, Amsterdam
- J. Schipper, product manager domotica, Hemmink B.V., Zwolle
- drs. S. Schoevaars-Lops, Veiligheids- en Gezondheidsregio Gelderland-Midden, Arnhem
- dr. R. van Strien, adviseur milieu en gezondheid, GGD, Amsterdam



De Gezondheidsraad, ingesteld in 1902, is een adviesorgaan met als taak de regering en het parlement 'voor te lichten over de stand der wetenschap ten aanzien van vraagstukken op het gebied van de volksgezondheid en het gezondheids(zorg)onderzoek' (art. 22 Gezondheidswet).

De Gezondheidsraad ontvangt de meeste adviesvragen van de bewindslieden van Volksgezondheid, Welzijn en Sport; Infrastructuur en Waterstaat; Sociale Zaken en Werkgelegenheid en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. De raad kan ook op eigen initiatief adviezen uitbrengen, en ontwikkelingen of trends signaleren die van belang zijn voor het overheidsbeleid.

De adviezen van de Gezondheidsraad zijn openbaar en worden als regel opgesteld door multidisciplinaire commissies van – op persoonlijke titel benoemde – Nederlandse en soms buitenlandse deskundigen.

U kunt dit document downloaden van www.gezondheidsraad.nl.

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:

Gezondheidsraad. Gezondheidsrisico's door lage concentraties koolmonoxide. Den Haag: Gezondheidsraad, 2019; publicatienr. 2019/11.

Infographics: VormVijf

Auteursrecht voorbehouden

