

Risicomengpaneel – technische rapportage

De technische bijlage van het instrument voor bestuurders om integraal veiligheids- en gezondheidsrisico's af te kunnen wegen



I. Helslot
M. Helslot

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK). Contactpersonen voor ons bij EZK is Jan van Tol.

Auteurs

prof. dr. Ira Helsloot

Marijn Helsloot MSc

Maart 2023

De werkgroep BOVEN bestaat uit wethouders, burgemeesters en gedeputeerden. BOVEN zoekt naar manieren om het bestuurlijke perspectief op veiligheids- en gezondheidsrisico's te combineren met de bestuurlijke opgave om de energietransitie te realiseren. BOVEN doet dat door middel van het opstellen van handreikingen en het organiseren van bijeenkomsten.

Crisislab is de onderzoeksgroep die het onderzoek van de leeropdracht Besturen van Veiligheid van de Radboud Universiteit Nijmegen ondersteunt. De doelstelling van Crisislab is de ontwikkeling en verspreiding van kennis op het domein van crisisbeheersing en veiligheidszorg. Voor Crisislab is een kernactiviteit het verrichten van empirisch gefundeerd onderzoek op het veiligheidsdomein, omdat momenteel feiten vaak ontbreken bij beleidsvorming en discussies op het terrein van het besturen van veiligheid. Op basis van dit onderzoek adviseren we overheden en bedrijven om tot redelijk en proportioneel veiligheidsbeleid te komen. De oefeningen en trainingen die wij verzorgen zijn gericht op het realistisch leren omgaan met crisismechanismen en met de veerkrachtige samenleving.

Crisislab
Dashorsterweg 1
3927 CN Renswoude
www.crisislab.nl

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	5
1.1	Aanleiding en doelstelling	5
1.2	Rekenwijze	6
1.3	Onderzoeksmethoden	8
1.4	Leeswijzer	9
2.	Elektriciteitsproductietechnieken	10
2.1	Windturbines	10
2.2	Zonne-energie	17
2.3	Biomassa	21
2.4	Afnemende risico's door vermindering fossiele brandstoffen	28
3.	Technieken om warmte te genereren	32
3.1	Geothermie	32
3.2	Waterstofwoningen	36
3.3	Vermindering gaswoningen	40
4.	Energieopslagsystemen	44
4.1	Buurtbatterij	44
4.2	Waterstoftankstation	46
4.3	Auto's als opslag met de huidige elektriciteitsmix	51
4.4	Vermindering benzineauto's	52
5.	Mitigatiemechanismen	59
5.1	Verkeerregulering	59
5.2	Geluidsbronnen	63
5.3	Isolatie als mitigatie	66
6.	Schaalniveaus in het mengpaneel	69
6.1	Introductie	69
6.2	Externe veiligheidsrisico's en geluidshinder	69
6.3	Luchtverontreiniging	70
6.4	Verkeers- en transportonveiligheid	71
6.5	Vergelijkingsparameters	72
7.	Slotbeschouwing	74
	Literatuurlijst	77

Bijlage 1. Luchtverontreiniging door elektriciteitsproductie	80
B1.1 Beschrijving parameters	80
B1.2 Illustratiecasus biomassa	95

1. Inleiding

In dit inleidende hoofdstuk beschrijven we de positie van deze rapportage in en de primaire uitgangspunten voor het risicomengpaneel.

1.1 Aanleiding en doelstelling

Om aan de in het Klimaatakkoord gestelde doelstellingen te kunnen voldoen, zal Nederland in de komende decennia over moeten gaan van het opwekken van energie door fossiele brandstoffen naar duurzame en hernieuwbare energie. Een groot deel van de ontwikkelingen zal op lokaal of regionaal niveau moeten worden gerealiseerd. Deze nieuwe ontwikkelingen kennen vanzelfsprekend nieuwe veiligheids- en gezondheidsrisico's terwijl oude risico's veelal zullen verminderen of verdwijnen.

Het is aan het lokaal, regionaal en provinciaal openbaar bestuur om bij vergunningverlening een integrale afweging te maken en de (nieuwe) veiligheids- en gezondheidsrisico's in perspectief te plaatsen.

Op verzoek van het 'Bestuurlijk Overleg voor een Veilige Energietransitie in Nederland' (BOVEN) hebben we een *risicomengpaneel* ontwikkeld waarmee lokale en regionale bestuurders de nieuwe veiligheids- en gezondheidsrisico's kunnen vergelijken met de momenteel bestaande risico's.

Het risicomengpaneel bestaat, naast het instrument zelf, uit drie rapportages:

- De eerste rapportage is een handreiking voor bestuurders waarin staat op welke manier het risicomengpaneel te gebruiken is.
- De tweede rapportage is 'de technische bijlage'. Dat is dit document. Dit document beschrijft de parameters in en uitgangspunten van het instrument.
- Separaat hebben wij een handleiding opgesteld hoe het mengpaneel te gebruiken is door de adviseurs van het openbaar bestuur en op welke manier data uit het mengpaneel in een later stadium (bij nieuwe inzichten/databronnen/studies) aangepast kan worden.

Wij zien deze versie van het risicomengpaneel nadrukkelijk als een *groeidocument*. Voor bepaalde energietransitieprojecten zijn nog niet alle risico's volledig te kwantificeren. Wanneer er nieuwe kennis beschikbaar komt, zal dit geïntegreerd moeten worden in het mengpaneel. De *formule* stellen wij beschikbaar aan de werkgroep BOVEN die hierover het beheer voert.

1.2 Rekenwijze

1.2.1 De kernformule

Om een vergelijking te maken tussen de oude en nieuwe risico's willen wij het aantal verloren gezonde levensjaren door de gebruikte energietechnieken met elkaar vergelijken. Om het verloren aantal levensjaren (DALYs) te bepalen, hanteren we de volgende gebruikelijke formule:

$$\text{DALY} = \text{YLD (Years Lived with Disability = puntprevalentie * wegingsfactor)} + \text{YLL (Years of Life Lost = sterfte * resterende levensverwachting)}$$

Door de ogenharen kijkend zien wij twee risico's die ontstaan na een nieuwe ontwikkeling of bestaan bij een huidige techniek:

- Een (direct) extern *veiligheidsrisico* doordat er een explosie, brand, etc. kan ontstaan.
- Een (sluimerend) *gezondheidsrisico* door langdurige blootstelling waardoor er (op termijn) gezonde levensjaren verloren kunnen gaan.

Heel concreet betekent dit ook dat een cruciale factor in de berekening het aantal omwonenden van een techniek is: hoe meer mensen er blootgesteld worden aan een (geaccepteerd) risico, hoe meer gezonde levensjaren er ook verloren gaan. Dit is (een van de) parameter(s) die bestuurders zelf laten moeten invullen voor zijn lokale situatie.

1.2.2 Verschillende initiatieven in het mengpaneel

In deze rapportage kijken we naar verschillende technieken rond de energietransitie. We maken onderscheid tussen ontwikkeling rond de productie van elektriciteit (in het mengpaneel kijken we naar windturbines, zonne-energie en biomassa)¹, ontwikkelingen rond warmteproductie zoals t.b.v. gasloze woningen (geothermie en waterstof) en energieopslagsystemen (buurtbatterijen, waterstof tankstations en elektrisch laadstations).

In het mengpaneel kijken wij alleen naar technieken van een omvang waarover het lokale/regionale bestuur een besluit over moet nemen. Hierdoor laten wij bijvoorbeeld kernenergie buiten beschouwing aangezien hier het Rijk de vergunningverlener voor is. Ook warmtepompen en zonnepanelen voor particulieren laten we buiten beschouwing omdat hier geen vergunning voor nodig is en het lokale/provinciale bestuur hier dus niet over besluit.

¹ In de rapportage kijken wij **niet** naar initiatieven rond waterkracht. In 2021 droeg energie opgewekt door waterkracht voor slechts 0,05% bij aan het totale energieaanbod. Waterkracht initiatieven zijn dus (nog) niet gebruikelijk in Nederland.

1.2.3 De schaalniveaus

In dit instrument maken we onderscheid tussen het *individueel risico* (dat voor sommige bewoners omhoog kan als een project met een nieuwe techniek in de directe nabijheid wordt gestart) en het *maatschappelijk risico*. Wij verstaan onder het maatschappelijk risico: het risico voor de maatschappij in termen van gezonde verloren levensjaren.

Wat de maatschappij is moet telkens gedefinieerd worden. Ten minste op vier niveaus (ofwel het gebied van beschouwing) kan er naar de veiligheid voor omwonenden gekeken worden:

- Het lokale niveau (een afzonderlijke gemeente),
- Het regionale niveau (een RES regio of provincie),
- Het nationale niveau,
- Het mondiale niveau.

Dit onderscheid is van belang omdat een energietransitie-gerelateerde ontwikkeling een risico kan meebrengen voor direct omwonenden maar er tegelijkertijd toe kan leiden dat er elders (binnen of buiten de eigen gemeente) een ander risico kleiner wordt. Om de totale veiligheid op lokaal niveau gelijk te houden zullen er dus vaak aanvullende maatregelen getroffen moeten worden, maar om de veiligheid op regionaal niveau gelijk te houden is dit meestal al niet meer het geval.

1.2.4 De spelregels

Voor opname van een risico in het mengpaneel hanteren we een aantal spelregels:

- 1) Het moet een erkend veiligheids- en gezondheidsrisico zijn door de WHO en/of het RIVM. Een voorbeeld hiervan is geluidshinder. Elektromagnetische straling of laagfrequent geluid is dit bijvoorbeeld niet.
- 2) Het moet een veiligheids- of gezondheidsrisico zijn dat gekwantificeerd kan worden. Een voorbeeld hiervan zijn transportbewegingen. Slagschaduw is dit bijvoorbeeld niet. Let op: erkende veiligheids- en gezondheidsrisico's hebben wij zo veel mogelijk getracht te kwantificeren, al dan niet via 'omwegen'. Deze aannames en uitgangspunten zijn ook in dit document terug te vinden. Onze aanname is dat, wanneer het een 'echt' risico betreft, dit ook gekwantificeerd kan worden.
- 3) Het (gekwantificeerde) individueel risico op overlijden voor *veiligheidsrisico's* moet groter zijn dan 1 keer in de 100.000.000 jaar (10^{-8}). We sluiten hierbij aan bij de grens die de Rijksoverheid (sinds 1989) stelt voor een verwaarloosbaar risico voor gevaarlijke stoffen.² Alvast als vooruitblik: veel ontwikkelingen hebben (gezondheids)risico's of effecten die zijn veel groter zijn dan 10^{-8} waardoor risico's die

² Zie bijvoorbeeld: Smit (2011).

kleiner dan 10^{-8} zijn inderdaad ‘verwaarloosbaar’ zijn in de berekeningen. Het instrument zou dus nodeloos complex worden wanneer wij ook verwaarloosbare risico’s zouden meenemen.

- 4) Bij een *veiligheidsrisico* waardoor iemand overlijdt, gaan wij uit van een verlies van 40 gezonde levensjaren. De gemiddelde leeftijd van de Nederlandse bevolking is ongeveer 40, de gemiddelde leeftijdsverwachting is ongeveer 80, waardoor er gemiddeld grofweg 40 levensjaren verloren gaan bij een incident.³ Dit doen wij omdat de meeste veiligheidsincidenten niet gerelateerd zijn aan leeftijd (denk aan het afbreken van een wiek van een windturbine) of dat het effect van leeftijd op overlijden niet inzichtelijk is (denk aan koolstofmonoxidevergiftiging waarbij niet inzichtelijk is wat de gemiddelde leeftijd en dus resterende levensverwachting is van de slachtoffers).⁴ Dit is dus een conservatieve aanname waarbij alle levensjaren ook als gezond worden geteld.
- 5) Bij externe *veiligheidsrisico’s* van inrichtingen sluiten we, in lijn met het Nederlands veiligheidsbeleid, waar mogelijk aan bij de zo genaamde PR-contouren die het individueel risico beschrijven. Dit betekent dat wij, net als de PR-contouren, bij deze externe veiligheidsrisico’s niet naar de kans op letsel kijken maar alleen naar de kans op overlijden. Let op: verkeersveiligheid is een voorbeeld van een veiligheidsrisico dat geen ‘extern veiligheidsrisico van inrichtingen is’ en waarbij wij wel kijken naar de kans op slachtoffers met letsel.
- 6) Voor *gezondheidsrisico’s* die niet leiden tot (acuut) overlijden sluiten wij aan bij de *disability weight* per ziekte die de WHO voor ziektes die het gevolg zijn van het risico hanteert.
- 7) De laatste spelregel is dat wij alleen kijken naar effect van de maatregel als de techniek energie produceert en dus nadrukkelijk niet naar de constructiefase van een nieuwe techniek. Net als in elk project zullen er ook tijdens de constructiefase (arbo-)veiligheidsrisico’s zijn en zal er hinder door omwonenden worden ervaren. Bij het bouwen van bijvoorbeeld een wooncomplex zou dit niet anders zijn. Wij zien het dus niet als een specifiek energietransitie-*risico*.

1.3 Onderzoeksmethoden

De technische bijlage is opgesteld op basis van de bestaande literatuur. Voor onze berekeningen gaan wij voor een belangrijk deel uit van de parameters die worden gebruikt in verschillende, relevante onderzoeken van het RIVM en daarmee ook hun conclusies.

³ Zie hiervoor de statistiek van het CBS (2022). Levensverwachting; geslacht, leeftijd (per jaar en periode van vijf jaren). Geraadpleegd op 20 februari 2023 via <https://opendata.cbs.nl/>.

⁴ Een uitzondering zou verkeersslachtoffers door transportbewegingen kunnen zijn waarbij wel inzichtelijk is wat de gemiddelde leeftijd van overlijden is. Omdat dit de enige categorie is waarbij dit inzichtelijk zou kunnen worden gemaakt, doen we dit niet in het mengpaneel en gaan we ook bij verkeersslachtoffers uit van 40 verloren gezonde levensjaren.

Deze technische bijlage is ook gereviewd door het RIVM. De onderzoekers zijn verantwoordelijk voor de wijze waarop het reviewcommentaar op detailpunten is verwerkt.

1.4 Leeswijzer

In de volgende hoofdstukken bespreken wij de relevante technieken voor het mengpaneel rond de energietransitie. In hoofdstuk 2 bespreken wij eerst de mogelijke technieken om de elektriciteitsvraag te verduurzamen. In hoofdstuk 3 kijken wij naar technieken om de warmtevraag te verduurzamen. In hoofdstuk 4 kijken wij naar de technieken om groene energie op te slaan en op een later moment te gebruiken.

In hoofdstuk 5 bespreken wij enkele mogelijkheden om risicoruimte te creëren. In hoofdstuk 6 kijken wij naar de verschillende schaalniveaus waarnaar gekeken kan worden.

In hoofdstuk 7 geven wij een slotbeschouwing op het mengpaneel.

Daarnaast hebben we voor deze specifieke rapportage nog drie leestips:

1. De parameters die in het risicomengpaneel zelf ingevuld moeten worden, staan in deze rapportage **dikgedrukt**.
2. Voor elke paragraaf in elk hoofdstuk geldt dat wij middels een tabel weergeven waarop wij de uitgangspunten en aannames van het mengpaneel hebben gebaseerd. Hierdoor wordt duidelijk waar de leemtes in kennis zitten en waar aanvullend onderzoek naar zou kunnen/moeten worden uitgevoerd.
3. Daarnaast hebben we op diverse plekken in de rapportage intermezzo's c.q. 'blauwe blokjes' geplaatst. Deze zijn slechts ter illustratie of kennisgeving en vormen geen primair bron in en voor het mengpaneel.

2. Elektriciteitsproductietechnieken

In dit hoofdstuk kijken we de meer- en minder risico's die verbonden zijn met lokale elektriciteitsproductietechnieken.

2.1 Windturbines

Op basis van literatuuronderzoek onderscheiden wij twee (overkoepelende) risico's bij de productie van elektriciteit door windmolens:

1) Het risico op overlijden of letsel door fysieke onveiligheid. Zo kunnen de wieken, gondel of mast afbreken en terecht komen op huizen of passanten.⁵

Overigens is er in theorie een risico op ijsafwerping (en het vallen van andere objecten) maar dit wordt in Nederland (vaak) gemitigeerd door detectiesystemen en/of een veiligheidsafstand. Het risico op ijsafwerping is (nog) niet te kwantificeren en nemen wij daarom niet mee in het onderzoek.

2) Een risico door (langdurige) blootstelling aan geluid. Langdurige blootstelling aan geluidshinder (door windturbines) zorgt voor een verlies aan gezonde levensjaren.⁶

2.1.1 Fysieke onveiligheid: afbreken onderdelen windturbine

Op basis van casuïstiek uit o.a. Denemarken heeft de RVO faalkansen berekend (waarmee vervolgens de risicozonering kan worden bepaald).⁷ De faalkansen per windturbine per jaar volgens de RVO zijn:

Risico	Faalkansfrequentie
Bladbreek bij nominaal bedrijf	$8,4 \cdot 10^{-4}$
Bladbreek bij overtoeren (2 keer nominaal toerental)	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Mastbreek	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Naar beneden vallen van hele gondel en/of rotor	$4,0 \cdot 10^{-5}$

Tabel 2.1: Faalkansfrequentie per windturbine per jaar.

Ook in Nederland kennen wij een aantal voorbeelden waarbij er wieken en masten van windturbines zijn afgebroken.

Om te komen tot een bepaling van het risico voor personen moet naast de faalkans ook gekeken worden naar de trefkans en vervolgens de kans op overlijden na treffen.

⁵ Faasen e.a. (2014).

⁶ Gooijer & Mennen (2021).

⁷ Faasen e.a. (2014).

Met behulp van het softwareprogramma SAFETI-NL waarin de rekenmethodiek van het RIVM is vastgelegd kunnen dan de risico- c.q. PR-contouren worden berekend. De PR-contouren gebruiken wij om de ‘trefkans’ te bepalen.

Plaatsgebonden risico (PR)⁸

Het plaatsgebonden risico is de berekende kans per jaar, dat een persoon overlijdt als rechtstreeks gevolg van een ongeval bij een risicobron, aangenomen dat hij op die plaats permanent en onbeschermd verblijft.

Voor (het gebruik van) de PR-contouren voor windturbines kunnen drie vuistregels worden vastgesteld:

1. Binnen de PR10⁻⁵ contour mogen volgens de rijksregelgeving voor omgevingsveiligheid mogen geen gebouwen of wegen worden aangelegd binnen de PR10⁻⁵ contour. Die contour is ongeveer gelijk aan de halve rotordiameter.
2. Binnen de PR10⁻⁶ contour mogen geen kwetsbare gebouwen aanwezig zijn maar wel beperkt kwetsbare gebouwen (dus vrijstaande woningen en wegen). Die contour is ongeveer gelijk aan de maximale werpafstand bij nominaal rotortoerental.
3. De PR10⁻⁶ contour is ongeveer gelijk aan de 10⁻⁹ contour d.w.z. dat het risico buiten de PR10⁻⁶ contour als verwaarloosbaar mag worden beschouwd.⁹

Wij kijken in het geval van windturbines enkel naar het aantal omwonenden en passanten die zich in de ruimte tussen de PR10⁻⁵ en PR10⁻⁶ contour bevinden aangezien binnen de halve rotordiameter van de PR10⁻⁵ contour geen bebouwing aanwezig mag zijn en er redelijkerwijs nauwelijks een mogelijkheid tot passage kan zijn en buiten de PR10⁻⁶ contour er geen risico objectief is. Als parameter gebruiken wij daarom ‘een gemiddeld plaatsgebonden risico’ van $5 * 10^{-6}$ per jaar voor iedere bewoner/passant die zich in deze zone bevindt.

In deze studie kijken wij echter naar het ‘individueel risico’. Dit is wat anders dan een PR-contour waarbij er wordt uitgegaan van een individu die permanent en onbeschermd in de risicozone blijft. In de praktijk zal dit niet het geval zijn. Omwonenden zijn niet onbeschermd en 24 uur per dag aanwezig. In het mengpaneel hebben wij de standaardaanname dat een omwonende (of werknemer) slechts de helft van de tijd in de risicozone verblijft (dus de ‘blootstellingsfactor’ is 0,5) en dat de kans op het instorten van een pand 0,07 is (dit is dan de ‘beschermingsfactor’). Hiermee zien wij het huis nadrukkelijk als ‘bescherming’. De ‘beschermingsfactor’ hebben we bepaald op basis van de rapportage van TNO over de kans op levensgevaar na instorten van een pand na een aardbeving.¹⁰ Wij zullen twee standaardwaarden (0,5 en 0,07) later ook gebruiken om het veiligheidsrisico bij andere ontwikkelingen te bepalen.

⁸ Zie hiervoor: RIVM (z.d.). Stappenplan bepalen plaatsgebonden risico. Geraadpleegd op 20 februari 2023 via <https://www.rivm.nl/>.

⁹ Faasen e.a. (2014), p. 106 en 107.

¹⁰ Steenbergen e.a. (2015).

Het risico per omwonende per jaar in de PR10⁻⁶ contour is dan $5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,07 \cdot 0,5 = 1,75 \cdot 10^{-7}$. Wij gaan er standaard van uit dat bij dergelijke veiligheidsrisico's 40 gezonde levensjaren verloren gaan per slachtoffer.

Het aantal verloren gezonde levensjaren (DALYs) is dan $5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,07 \cdot 0,5 \cdot 40$ verloren levensjaren * **aantal omwonenden binnen PR10-6 contour** (zelf invullen).

De 'beschermingsfactor' voor passanten zien wij als 1,0 (d.w.z. dat zij 'onbeschermd' zijn). Voor passanten dient er dus enkel nog gekeken te worden naar de 'blootstelling' in het risicogebied. Per passage gaan wij (conservatief) uit van 1 minuut aanwezigheid. Wij gebruiken hiervoor de vuistregel $p(\text{blootstelling per passant per passage}) = 1 \text{ minuut} / 525.600 \text{ minuten per jaar} = 1,9 \cdot 10^{-6}$.

Het risico per passage in de PR10⁻⁶ contour is dan $5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,9 \cdot 10^{-6} \cdot 1,0 = 9,5 \cdot 10^{-12}$. Wij gaan er standaard van uit dat bij dergelijke veiligheidsrisico's 40 gezonde levensjaren verloren gaan per slachtoffer.

Het aantal verloren gezonde levensjaren (DALYs) is dan $5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,9 \cdot 10^{-6} \cdot 40$ verloren levensjaren * **gemiddeld aantal passages per dag binnen de PR10-6 contour** (zelf invullen) * 365 dagen per jaar.

Verloren levensjaren per TWh en windturbine

Een gepubliceerd artikel berekend op andere wijze dat per Terrawattuur (TWh, oftewel 1 miljard kWh) windenergie zijn er ongeveer 0,035 slachtoffers door ongelukken.¹¹ In totaal 64% van de slachtoffers zijn werknemers, de overige 36% van de slachtoffers is 'publiek'. Een grove schatting is daarmee dat er $(0,035 \cdot 0,36 \cdot 40)$ 0,5 DALY per TWh verloren zal door een ongeval met een windturbine. In Nederland zal dit betekenen dat er jaarlijks 5,0 gezonde levensjaren verloren gaan (immers 10.000 miljoen kWh opgewekt), waardoor het risico, met ongeveer 2.000 windturbines, 0,003 DALY per windturbine is.

In Nederland en in de EU kennen wij geen incidenten waarbij personen anders dan werknemers om zijn gekomen door windturbines. Wij hebben de databases ARIA, ENSAD, ZEMA, FACT en eMARS geraadpleegd.¹² Er is van 1990 tot 2020 ruim 0,1 miljoen in Nederland en 3,5 miljoen GWh in de EU (27 landen) opgewekt.¹³ Het risico dat gedestilleerd kan worden uit de studie van Sovacool e.a. lijkt daarmee een overschatting van de werkelijkheid. Wij komen op basis van de RVO historische data uit op een risico van $< 0,01$ DALY (alleen Nederlandse data) of $< 0,0003$ (EU-data) DALY per TWh.

¹¹ Sovacool e.a. (2016).

¹² Deze databases zijn door ons voor het laatst geraadpleegd in mei 2022.

¹³ Zie hiervoor: Eurostat (z.d.). Production of electricity and derived heat by type of fuel. Geraadpleegd op 11 januari 2023 via <https://ec.europa.eu/>.

2.1.2 Geluidshinder

Het tweede risico dat is verbonden aan windturbines op land is het geluidsrisico. Geluid kan zorgen voor vroegtijdige sterfte door bijvoorbeeld hartziekten en voor een verlies aan kwalitatief leven door geluidshinder.¹⁴

In een literatuurstudie door het RIVM wordt aangetoond dat omwonenden ernstige (geluids)hinder kunnen ervaren door windturbines. Er wordt geen (significant en consequent) verband gevonden tussen slaapverstoring en geluid door windturbines en tussen cardiovasculaire effecten en geluid door windturbines. Ook de WHO vindt geen (significante) relatie tussen bijvoorbeeld hartziekten of slaapverstoring en een verlies aan gezonde levensjaren door windturbines. Zij vinden wel een relatie tussen ernstige hinder en een verlies aan gezonde levensjaren.¹⁵

Wij kijken in het mengpaneel dus enkel naar het verlies aan gezonde levensjaren door ernstige geluidshinder.

De WHO adviseert om geluid afkomstig door windturbines te reduceren tot 45 dB_{Lden}. Lden is gewogen jaargemiddeld geluidsniveau op een bepaalde locatie. In het advies wordt gerefereerd naar het percentage 'highly annoyed people' dat anders (te) hoog is.

In Nederland geldt echter de richtlijn dat er niet meer dan 47 dB_{Lden} op de gevel van een woning mag komen door windturbinegeluid (voor wegverkeer en treinverkeer gelden andere regels). De inschatting is dat er geen huizen binnen 300 a 400 meter van de windturbine mogen staan.¹⁶

Wij hanteren het advies van de WHO als grens, d.w.z. wij kijken naar geluidshinder vanaf 45 dB_{Lden} op de gevel en zien dat als het niveau vanaf waar (te veel) gezondheidsschade zal optreden. Niet iedereen zal exact op de grens van 47 dB_{Lden} wonen. Gemiddeld genomen gaan wij ervan uit dat iemand die binnen het gebied 45 dB_{Lden} tot 47 dB_{Lden} woont, 46 dB_{Lden} op de gevel krijgt.¹⁷

TNO heeft uitgerekend welk percentage van de omwonenden (ernstige) hinder ervaart bij een bepaald aantal dB_{Lden} op de gevel.¹⁸ Voor 46 dB_{Lden} is dit 6,53%.

Het RIVM en de WHO hanteren een disability weight van 0,02 voor (ernstige) hinder.¹⁹ Dit betekent dat wij ervan uitgaan dat er per omwonende in het gebied tussen 45 dB_{Lden}

¹⁴ WHO (2018).

¹⁵ Van Kamp & Van den Berg (2020); WHO (2018).

¹⁶ Verheijen & Jabben (2011).

¹⁷ Wij beseffen ons dat geluid een logaritmische schaal heeft waardoor 'de middelste' decibel niet per definitie de gemiddelde geluidsbelasting is in een gebied. Wij gaan hier, omdat we het gemiddelde afhankelijk is van de lokale omstandigheden uit van de middelste decibel als benadering.

¹⁸ Janssen, S.A. e.a. (2008).

¹⁹ Knol & Staatsen (2005); WHO (2018).

en $47 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ ($0,0653 * 0,02 =$) $0,001 = 1 * 10^{-3}$ gezonde levensjaren per jaar verloren gaan door geluid.

Het aantal verloren gezonde levensjaren (DALYs) is dan $0,001 * \text{aantal omwonenden in het gebied tussen } 45 \text{ dB}_{\text{Lden}} \text{ en } 47 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ (zelf invullen).

Hoewel de WHO dus $45 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ als grens adviseert, zullen er dan nog steeds mensen hinder ervaren. De richtlijn van $35 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ wordt daarom ook genoemd.²⁰ Op ongeveer een kilometer is er nog 35 dB over.

Zoals ook beschreven in voetnoot 17 wordt er bij geluidsbelasting een logaritmische schaal gehanteerd. Het verschil tussen 35 dB en 45 dB is daarom enorm. Wij verdelen het gebied van $35 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ tot $44 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ daarom, maar om het toch enigszins behapbaar te houden voor adviseurs, in twee 'restgroepen':

- De groep omwonenden die in het gebied tussen $40 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ en $44 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ wonen.
- De groep omwonenden die in het gebied tussen $35 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ en $39 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ wonen.

Wij gaan uit van een geluidsniveau van $42 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ (we middelen het geluidsniveau conform voetnoot 17) waarbij $2,49\%$ ernstige hinder ervaart (TNO, 2018). Dit betekent dat wij ervan uitgaan dat er per omwonende in het gebied tussen $40 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ en $45 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ ($0,0249 * 0,02 =$) $5 * 10^{-4}$ gezonde levensjaren per jaar verloren gaan door geluid.

Het aantal verloren gezonde levensjaren (DALYs) is dan $5 * 10^{-4} * \text{aantal omwonenden in het gebied tussen } 40 \text{ dB}_{\text{Lden}} \text{ en } 44 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ (zelf invullen).

Tot slot is er een derde categorie van mensen die ook bij minder dan $40 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ gezondheidsklachten kunnen ervaren. Voor deze categorie gaan wij uit van $37 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ (we middelen het) waarbij $0,58\%$ ernstige hinder ervaart. Dit betekent dat wij ervan uitgaan dat er per omwonende in het gebied tussen $35 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ en $39 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ ($0,0058 * 0,02 =$) $1 * 10^{-4}$ gezonde levensjaren verloren gaan door geluid.

Het aantal verloren gezonde levensjaren (DALYs) is dan $1 * 10^{-4} * \text{aantal omwonenden in het gebied tussen } 35 \text{ dB}_{\text{Lden}} \text{ en } 39 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ (zelf invullen).

DALYs per windturbine en TWh vanwege geluid in perspectief

Er gaan jaarlijks 96.000 gezonde levensjaren verloren door ernstige geluidshinder.²¹ Dit aantal is in totaal, dus inclusief wegverkeer, luchtvaart en treinverkeer.

Van de $1.322.000$ gehinderden door geluid in Nederland, worden slechts 7.340 mensen gehinderd door windturbines.²² Dit komt neer op $0,6\%$ alle gehinderden door geluidsbronnen.

²⁰ De Haan, W/VPRO (2020). Nieuw onderzoek: 'Onhoorbaar' geluid schadelijk voor gezondheid. Geraadpleegd op 13 januari 2023 via <https://www.vpro.nl/>.

²¹ Gooijer & Mennen (2021).

²² Gooijer & Mennen (2021).

Een voorzichtige schatting is dat $0,6\% * 96.000 = 533$ gezonde levensjaren per jaar verloren gaan door windturbines.

Er zijn in Nederland ongeveer 2.000 windturbines op land die gezamenlijk 10 TWh opwekken.²³ Dit betekent dat er grofweg $533/2.000 = 0,27$ DALYs zijn per windturbine vanwege geluid en 53,3 per TWh. Hiermee mag duidelijk zijn dat het gezondheidsrisico vanwege geluid (veel) groter is dan het fysieke veiligheidsrisico.

Anderzijds geldt dat er veel bronnen van geluid zijn. Het geluid van een windturbine nabij een doorgaande weg (en dus zeker een snelweg) valt al snel weg tegen de achtergrondbelasting.

Merk op dat bij het invullen in het instrument van de aan geluid blootgestelde inwoners rekening moet worden gehouden met andere geluidsbronnen die een ordegrrootte hogere toegestane geluidsbelasting kunnen veroorzaken. Die bewoners waarvoor dat geldt moeten dus niet worden meegerekend.

2.1.3 *Vollasturen*

Een factor die nodig is om de gezondheidswinst te berekenen is het aantal vollasturen per windturbine, d.w.z. het aantal uren dat de turbine op vol vermogen zouden moeten draaien om de gerealiseerde productie te halen. Met het aantal vollasturen kan de verwachte opbrengst in KWh worden berekend en dus hoeveel fossiele energie er bespaard wordt.

Zelf in te vullen is dus het **vermogen in MW** van de lokale windturbine(s) om de bespaarde hoeveelheid fossiele elektriciteit en dus de verminderde gezondheidsrisico's.

Het aantal vollasturen is volgens het CBS gemiddeld 2.219 uur per jaar (tussen 2017 en 2021).²⁴ In het mengpaneel gebruiken we dit gemiddelde.

In het klimaatakkoord wordt uitgegaan van het aantal vollasturen van 3.237 uur. De cijfers van het CBS laten zien dat de meest moderne hogere windturbines een hoger aantal vollasturen hebben. Gezien het huidig gemiddeld aantal vollasturen over heel Nederland lijkt dit het aantal vollasturen volgens het klimaatakkoord vooralsnog wat te optimistisch.

²³ CBS (2022). Windenergie op land. Geraadpleegd op 11 januari 2023 via <https://opendata.cbs.nl>.

²⁴ CBS (2022). Windenergie op land. Geraadpleegd op 11 januari 2023 via <https://opendata.cbs.nl>.

2.1.4 Overzichtstabel aannames windturbines voor elektriciteitsproductie

Risico	Uitgangspunt	Referentie / uitleg
Fysieke onveiligheid omwonenden	Er is een verwaarloosbaar risico voor personen die buiten de PR10 ⁻⁶ contour wonen. Voor personen die binnen deze contour wonen gaan wij uit als grove schatting uit van 5 * 10 ⁻⁶ als individueel risico (dus niet plaatsgebonden risico). Indien er sprake is van een kantoorpand kunnen werknemers ook als 'omwonenden' worden gezien.	Het uitgangspunt dat het risico verwaarloosbaar is komt uit Faasen e.a. (2014). De inschatting van het IR voor omwonenden is een eigen, grove schatting.
Fysieke onveiligheid omwonenden	Wij gaan ervan uit dat omwonenden zich maar de helft van de tijd in hun huis begeven.	Dit is een eigen, grove schatting.
Fysieke onveiligheid omwonenden	De kans op overlijden voor aanwezige bewoners na treffen van het huis door (onderdelen van) de windturbine.	Deze kans hebben we bepaald op basis van de rapportage van TNO (2015) over de kans op levensgevaar na instorten van een pand na een aardbeving.
Fysieke onveiligheid passanten	Als blootstelling voor passanten gaan wij uit van 1 minuut per passage.	Dit is een eigen, grove en waarschijnlijk conservatieve schatting.
Gezondheidsrisico geluidshinder	Wij gaan ervan uit dat geluid van windturbines alleen leidt tot een vermindering van (kwalitatieve) levensjaren door geluidshinder en niet door bijvoorbeeld hartziekten of slaapverstoring. Wij hanteren voor geluidshinder de disability weight 0,02.	Zowel de WHO (2018) als het RIVM (2020) vinden alleen een significante relatie tussen verloren gezonde levensjaren en geluidshinder. De disability weight nemen wij over van het RIVM (2005) en de WHO (2011).
Gezondheidsrisico geluidshinder	Wij gaan uit van drie 'groepen' geluidshinder: 45-47 dB, 40-44 dB en 35-39 dB. Voor elk van de groepen 'middelen' we de geluidsbelasting. Vervolgens kijken we bij 'die decibel' wat het verwachte percentage ernstig gehinderden is.	De drie groepen zijn tot stand gekomen na grenswaarden die worden geadviseerd door de WHO (2018) en een geluidsonderzoeker (De Laat, via VPRO, 2020).

		De gemiddelde geluidsbelasting op de gevel is een eigen, grove schatting. ²⁵ Voor het percentage 'ernstig gehinderden' per decibel sluiten we aan bij de studie van TNO (2008).
Vollasturen windturbine	Wij gaan ervan uit dat windturbines 2.219 uur per jaar (vollasturen) stroom produceren.	De data zijn afkomstig van de statistiek van het CBS (2022). Wij hebben het gemiddeld aantal vollasturen volgens het CBS genomen over de afgelopen vijf jaar.

2.2: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor windturbines.

2.2 Zonne-energie

Op basis van de literatuur zien wij twee mogelijke risico's bij het gebruik van zonne-energie voor elektriciteitsproductie:

- Een gezondheidsrisico door depositie bij brand.
- Een veiligheidsrisico door brand.

2.2.1 Depositie

Bij grootschalige branden waarbij zonnepanelen bij betrokken zijn kunnen theoretisch verbrandingsproducten en onverbrande resten van zonnepanelen in de omgeving verspreid worden, dit proces wordt depositie genoemd. Door de hoeveelheid warmteontwikkeling bij brand stijgt de rook op en neemt de rook in de hittewerping allerlei stoffen met zich mee. Hierdoor kunnen de onverbrande stoffen in de atmosfeer komen en door de wind ver in de omgeving verspreid worden.²⁶

De mogelijke schadelijke effecten van depositie zijn scherfwerking en schadelijke stoffen die vrij kunnen komen. De blootstelling die ervaren kan worden door omwonende zijn de scherpe onverbrande resten. Daarnaast kunnen de vrijgekomen stoffen schadelijk zijn voor de gezondheid van de mens.

Uit onderzoek van het IFV blijkt dat over een periode van 2018 tot 2021 in totaal 112 branden met zonnepanelen hebben plaatsgevonden. Van het totaal aantal branden heeft er 11 keer depositie plaatsgevonden. Er zijn bij deze branden (nog) geen gezondheidseffecten bekend.

²⁵ Wij beseffen ons dat geluid een logaritmische schaal heeft waardoor 'de middelste' decibel niet per definitie de gemiddelde geluidsbelasting is in een gebied. Wij gaan hier, omdat we geen andere data beschikbaar hebben, toch uit van de middelste decibel in de geluidsbelasting-groep.

²⁶ Rosmuller (2021).

Risico depositie volgens het RIVM²⁷

Deze branden leveren, naast directe schade voor de eigenaar, ook risico's op voor de gezondheid door blootstelling aan schadelijke stoffen die bij de branden vrijkomen en schade aan het milieu door depositie van deeltjes tot ver in de omgeving (zie effecten op natuur en milieu). In een experimentele setting met verschillende typen zonnepanelen (per type is elke keer één paneel in brand gestoken) heeft de TÜV (2015) emissies schadelijke stoffen gemeten. Hieruit bleek dat toxicologische grenswaarden van onder meer zware metalen alleen in de onmiddellijke nabijheid van de brand en onder zeer ongunstige omstandigheden worden overschreden. In de experimenten is er geen rekening gehouden dat bij branden met zonnepanelen ook delen van het gebouw kunnen verbranden en ook hier schadelijke stoffen bij vrijkomen. Echter, de totale blootstelling aan zulke stoffen bij dit soorten incidenteel voorkomende branden op grotere afstand van de brand zelf, lijkt relatief klein te zijn.

Het RIVM concludeert op basis van recent onderzoek naar schadelijke stoffen bij branden met zonnepanelen²⁸:

- *Wanneer een zonnepaneel verbrandt, komen ongeveer dezelfde gevaarlijke stoffen vrij als bij een gemiddelde brand met elektronica en kunststoffen. Bij een gebouwbrand zijn de zonnepanelen op een dak maar een klein onderdeel van de totale brand. Daarom zal de rook van een brandend gebouw met zonnepanelen in de praktijk niet gevaarlijker zijn dan die bij een gewone brand (p 3).*
- *De fysieke eigenschappen van scherven van zonnecellen vormen mogelijk een groter gezondheidsrisico dan de chemische eigenschappen. De kans dat mensen per ongeluk (grote) scherven van zonnecellen inslikken (ingestie) lijkt echter gering. Dit gezondheidsrisico is waarschijnlijk vooral relevant voor grazende dieren, zoals runderen (p. 13).*

Depositie van schadelijke stoffen na branden met zonnepanelen kent dus (nog) geen kwantificeerbaar veiligheidsrisico. Wij zullen het daarom ook niet meenemen in het mengpaneel.

2.2.2 Brandrisico

Om inzicht te krijgen in de brandrisico's van zonnepanelen (PV-systemen) wordt er gekeken naar de volgende drie factoren: de kans dat een zonnepaneel in de brand vliegt en kans op overlijden door brand en aantal verloren levensjaren per slachtoffer.

Het verschil tussen zonnepanelen van particulieren en zonnepanelen op daken van bedrijven etc. is van belang. Voor zonnepanelen van particulieren is (meestal) geen vergunning nodig en speelt de gemeente als bevoegd gezag geen rol. Bovendien kan het risico voor particulieren op koopwoningen als een vrijwillig risico worden gezien zodat dit risico volgens gangbaar rijksbeleid niet aan de norm voor het individueel risico hoeft te voldoen.

²⁷ Gooijer & Mennen (2021), p. 38.

²⁸ Van Veen e.a. (2022).

- 1) TNO heeft op basis van beschikbare informatie berekend dat de kans op brandincidenten met zonnepanelen 0.014% bedraagt per PV-systeem. Er zijn 27 branden bekend met PV-systemen bekend in 2018.²⁹ Van de 27 branden zijn er 4 niet op woonhuizen. Als (belangrijke) oorzaak wordt in het rapport 'het onvakkundig installeren' genoemd waardoor dit een overschatting van het risico zal zijn wanneer we uit mogen gaan van deskundige installatie.

In 2019 (de cijfers van 2018 zijn niet bekend) werd er door 'groot vermogen op dak' 1.842 miljoen KWh en opgewekt en 751 miljoen KWh opgewekt door 'groot vermogen zon op veld'.³⁰ Het risico op een brand is daarmee (voor groot vermogen zon, hetgeen waarnaar wij kijken) dus $4 / (1.842 + 751 \text{ miljoen KWh}) = 1,54$ per TWh.

- 2) De kans op overlijden kan als volgt berekend worden, we weten dat er in 2021 ongeveer 64.000 (woning)branden zijn geweest met daarbij 31 slachtoffers. 6 op de 10 slachtoffers had geen rookmelder.³¹ Omdat het hier specifiek gaat om bedrijfspanden is het aannemelijk dat er sprake is van een brandmeldingssysteem, waardoor wij ervan uitgaan dat dit de kans op overlijden met 60% verminderd (en de kans op overlijden is dan dus slechts 40%). De kans op overlijden door brand is dan: $31 / 64.000 * 40\% = 0,0002$.

N.B. Voor zonnenvelden zien wij (dus) geen risico op overlijden door brand.

- 3) Als laatst gaan we ervan uit dat het verlies aan gezonde levensjaren 40 bedraagt (DALYs). Wij hebben geen studie die aantoont dat ouderen (of jongeren) eerder zullen overlijden.

Deze gegevens vertellen ons allereerst dat het risico in DALYs per jaar neerkomt op $1,54 * 0,0002 = 3 * 10^{-4}$ per TWh. Per TWh op daken van bedrijven (dus groot vermogen op dak) zullen er dan grofweg $3 * 10^{-4} * 40$ levensjaren = 0,012 levensjaren verloren gaan. Let op: dit is een conservatieve inschatting aangezien het meerjarig gemiddelde laat zien dat er minder slachtoffers vallen dan 31 per jaar en meer brandincidenten zijn.³² Bovendien blijken veel slachtoffers van branden verminderd zelf redzaam wat bij bedrijfspanden ook niet het geval zal zijn.³³

²⁹ Bende & Dekker (2019).

³⁰ CBS (2022). Zonnestroom; vermogen en vermogensklasse, bedrijven en woningen, regio. Geraadpleegd op 12 januari 2023 via <https://opendata.cbs.nl>.

³¹ Federatie veilig Nederland (z.d.). Feiten en Cijfers Branden. Geraadpleegd op 12 januari 2023 via <https://federatieveilignederland.nl>.

³² Zie hiervoor de statistiek van het CBS (2022). Overledenen; doodsoorzaak (uitgebreide lijst), leeftijd, geslacht) en CBS (2020). Branden en hulpverleningen; meldingen brandweermeldkamer, regio 2013-2019). Beide geraadpleegd op 20 februari 2023 via <https://opendata.cbs.nl>.

³³ Wij hebben de kans op overlijden bij branden bij zonnepanelen afgeleid van woningbranden. Het RIVM merkt in haar review op dat het een overschatting van de kans is aangezien brand bij zonnepanelen op daken plaatsvindt en daardoor de kans op vluchten groter is dan bij woningbranden die elders en veelal 's nachts ontstaan. Branden met zonnepanelen ontstaan vooral overdag bij intense zonneshijn.

Let op: dit geldt alleen voor zon op dak (en bij groot vermogen) en niet voor zonnepanelen waarvoor wij het omgevingsrisico als nihil beschouwen.

Een zonnepaneel levert zo'n 315 KWh per jaar op. Dit betekent dat het risico per zonnepaneel is $3 * 10^{-4} / 10^9 * 315 = 9,5 * 10^{-11}$.³⁴ Zelf met 100 panelen is dit risico kleiner dan 10^{-8} . Wij beschouwen daarom dit risico als verwaarloosbaar (overigens net als het RIVM doet voor omgevingsveiligheid³⁵) en nemen het daarom niet mee in het mengpaneel.

2.2.3 Vollasturen

In het mengpaneel gaan wij er dus van uit dat zonnepanelen alleen voor veiligheids- en gezondheidswinst zorgen (immers geen/nihil veiligheidsrisico).

Een factor die nodig is om de gezondheidswinst te berekenen is het aantal vollasturen per zonnepaneel. Met het aantal vollasturen kan de verwachte opbrengst in KWh worden berekend en vervolgens hoeveel fossiele energie er bespaard wordt.

In het klimaatakkoord wordt uitgegaan van het aantal vollasturen van 854 uur. Wij sluiten hierbij aan.³⁶

In het mengpaneel gaan wij alleen uit van een gezondheidswinst. Zelf in te vullen is dus alleen **het vermogen in MW** dat het project heeft. Dit wordt vervolgens vermenigvuldigd met het aantal vollasturen om zo de uitgespaarde fossiele energie te berekenen.

2.2.3 Overzichtstabel aannames zonne-energie voor elektriciteitsproductie

Risico	Uitgangspunt	Referentie / uitleg
Depositierisico (gevaarlijke stoffen)	Wij gaan uit van een nihil en niet te kwantificeren risico.	Dit is in lijn met het RIVM (2021, 2022).
Brandrisico	Wij gaan uit van een verwaarloosbaar risico (d.w.z. individueel risico is $< 10^{-8}$) en nemen het niet mee in het mengpaneel.	Op basis van het aantal branden door zonnepalen, het aantal KWh grootvermogen en de verhouding slachtoffers t.o.v. woningbranden, hebben wij berekend dat het risico verwaarloosbaar is.
Vollasturen	Wij gaan uit van 854 uur.	Het aantal vollasturen hebben we overgenomen uit het Klimaatakkoord 2019.

2.3: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor zonnepanelen.

³⁴ Wij zijn ervan uitgegaan dat een zonnepaneel 315 KWh per jaar oplevert, zie Consumentenbond (2022). Hoeveel zonnepanelen heb ik nodig?. Geraadpleegd op 17 februari 2023 via <https://www.consumentenbond.nl/>.

³⁵ Gooijer & Mennen (2021, p. 81).

³⁶ Klimaatakkoord 2019, p. 162.

2.3 Biomassa

Biomassacentrales wekken energie op door biomassa om te zetten in warmte. Een ander proces is het omzetten van biomassa in brandstoffen (door vergisting en vergassing).

Er kan grofweg onderscheid gemaakt worden tussen (hout)kachels, biomassa-installaties kleiner dan 15 MW en biomassacentrales groter dan 15 MW. In het mengpaneel gaan wij uit van biomassa-installaties die elektriciteit produceren en kijken dus niet naar (hout)kachels. Voor stookinstallaties met een thermisch vermogen van minder dan 15 MW geldt dat er geen vergunning afgegeven hoeft te worden (mits de warmte nuttig wordt gebruikt).³⁷

Wederom zien wij twee (overkoepelende) risico's die door de ontwikkeling 'biomassa' ontstaan voor omwonenden: een fysiek veiligheidsrisico (explosie, brand, etc.) maar ook verkeersrisico's door transport en een gezondheidsrisico door de uitstoot van fijn stof, stikstofdioxide en zwaveldioxide.

Volgens het RIVM:

Biomassa: De veiligheidsaspecten van biomassacentrales, waarin biomassa wordt verbrand voor opwekking van elektriciteit of warmte, verschillen niet wezenlijk van die van energiecentrales. Dit betekent dat er geen specifieke veiligheidsrisico's zijn voorzien qua omgevingsveiligheid of arbeidsveiligheid. ³⁸

Hiermee lijkt het fysieke veiligheidsrisico niet af te wijken van fossiele elektriciteitsopwekkingcentrales.

2.3.1 Fysieke veiligheid: explosiegevaar

Het risico op explosie, brand, etc. berekenen wij op eenzelfde wijze als voor windturbines, d.w.z. dat wij de modelering van het RIVM (SAFETI-NL) aanhouden. Evenals voor windturbines zullen er geen gebouwen binnen de PR10⁻⁵ norm mogen staan en geen kwetsbare gebouwen binnen de PR10⁻⁶ norm.

Wij hanteren dezelfde parameters als voor windturbines (concreet de blootstelling en de 'beschermingsfactor'). Wederom kijken we naar omwonenden (of werknemers) en passanten:

- Het aantal verloren gezonde levensjaren (DALYs) is dan $5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,07 \cdot 0,5 \cdot 40$ verloren levensjaren * **aantal omwonenden binnen PR10⁻⁶ contour** (zelf invullen).

³⁷ Zie hiervoor Kenniscentrum InfoMil (z.d.). Biomassa in het Activiteitenbesluit'. Geraadpleegd op 12 januari 2023 via <https://www.infomil.nl/>.

³⁸ Gooijer & Mennen (2021, p. 55)

- Het aantal verloren gezonde levensjaren (DALYs) is dan $5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,9 \cdot 10^{-6} \cdot 40$ verloren levensjaren * **gemiddeld aantal passages per dag binnen PR10⁻⁶ contour** (afhankelijk per situatie dus zelf in te vullen) * 365 dagen per jaar.

Wij hebben een (veiligheids)risico gedefinieerd als een risico waarbij de kans groter is dan 10⁻⁸ per jaar om te overlijden (zie de spelregels in de inleiding). Naast de PR10⁻⁶ contour zullen we daarom ook kijken naar de PR10⁻⁷ contour (maar niet naar de 10⁻⁸ contour omdat wij bij het individueel risico niet uitgaan 24 uur onbeschermd op dezelfde locatie waardoor het individueel risico in de PR10⁻⁸ contour altijd lager dan 10⁻⁸ zal zijn.

Ook in deze 'ring' hanteren we dezelfde parameters als voor windturbines (concreet p(overlijden) en p(blootstelling), alleen gaan we dan uit van faalkans van $5 \cdot 10^{-7}$. We-derom kijken we naar omwonenden en passanten:

- Het aantal verloren gezonde levensjaren (DALYs) voor omwonenden is dan $5 \cdot 10^{-7} \cdot 0,07 \cdot 0,5 \cdot 40$ verloren levensjaren * **aantal omwonenden binnen PR10⁻⁷ contour** (zelf invullen).
- Het aantal verloren gezonde levensjaren (DALYs) voor passanten is dan $5 \cdot 10^{-7} \cdot 1,9 \cdot 10^{-6} \cdot 40$ verloren levensjaren * **gemiddeld aantal passages per dag binnen PR10⁻⁶ contour** (zelf invullen) * 365 dagen per jaar.

Ter nuancering: voor biogasinstallaties gaat het RIVM uit van maximaal 50 meter als PR10⁻⁶ contour. Het aantal passanten en omwonenden zal daarmee beperkt zijn.³⁹

DALYs per TWh

Per TWh zijn er ongeveer 0,0099 slachtoffers door ongelukken met/bij/door biomassacentrales.⁴⁰ Naar verwachting zullen (de meeste van) deze slachtoffers werknemers zijn.

In Nederland en in de EU kennen wij geen incidenten waarbij personen anders dan werknemers om zijn gekomen door windturbines. Wij hebben de databases ARIA, ENSAD, FACT en eMARS geraadpleegd.⁴¹ Ook Moreno e.a. komen tot deze conclusie voor biogasinstallaties.⁴² Er is van 1990 tot 2020 bijna 0,8 miljoen in Nederland en ruim 30 miljoen GWh in de EU (27 landen) opgewekt.⁴³

³⁹ Morgenstern (2010).

⁴⁰ Sovacool e.a. 2016).

⁴¹ Deze databases zijn door ons voor het laatst geraadpleegd in mei 2022.

⁴² Moreno e.a. (2016).

⁴³ Zie hiervoor: Eurostat (z.d.). Production of electricity and derived heat by type of fuel. Geraadpleegd op 11 januari 2023 via <https://ec.europa.eu/>.

2.3.2 Fysieke veiligheid: aanvoer grondstoffen

Een factor die (wel) voor meer onveiligheid zorgt bij omwonenden is de toegenomen verkeersonveiligheid door vrachtwagens.⁴⁴ Dit risico berekenen wij door: risico per vrachtwagen per km * aantal kilometers per vrachtwagen * aantal benodigde vrachtwagens per jaar.

Risico vrachtwagen

Volgens SWOV zijn er gemiddeld 73,5 verkeersdoden (alleen 'tegenpartij', slachtoffers onder vrachtwagenchauffeurs zien wij als arbo-risico) per jaar door vrachtauto's.⁴⁵ Wij hebben gekeken naar de periode 2009-2018. Het aantal kilometers dat wordt gereden door vrachtauto's is 7.394 miljoen kilometer. Wij zien het risico daarom als $73,5 / 7.394$ miljoen kilometer = $9,9 * 10^{-9}$ doden per kilometer.

Ter vergelijking: het risico op overlijden per gereden kilometer met personenauto's is ongeveer 10 kleiner.

Wij gaan er standaard vanuit dat bij overlijden 40 gezonde levensjaren verloren gaan. Per vrachtwagenkilometer gaan er dan $(9,9 * 10^{-9} * 40 =) 4,0 * 10^{-7}$ DALYs door overlijden verloren. Dit is dan de YLL in de DALY formule.

Voor verkeersveiligheid kijken wij ook naar de kans op letsel (zie hiervoor de spelregels in paragraaf 1.2). Dit betekent dat we ook naar de YLD in de DALY formule moeten kijken. Als eerste parameter hebben we dan 'de kans op ernstig letsel' nodig. Data over de kans op letsel na aanrijding door vrachtwagens hebben wij niet. Wij hanteren daarom de reguliere verdeling 'verkeersgewonden t.o.v. verkeersdoden'. Data van 2015 tot 2020 laat zien dat er gemiddeld 33,2 meer verkeersgewonden met ernstig letsel zijn dan verkeersdoden (21.050 t.o.v. 635).⁴⁶ We schatten de kans op letsel daarom 33,2 maal hoger in dan de kans op overlijden. De kans op letsel door aanrijding vrachtwagen is dan $(9,9 * 10^{-9} * 33,2 =) 3,3 * 10^{-7}$ per kilometer.

De YLD berekenen we, in lijn met de SWOV, middels:

YLD = Wegingsfactor acuut letsel + (aandeel blijvend letsel x wegingsfactor blijvend letsel x duur blijvend letsel).

⁴⁴ Wij beseffen ons dat, wanneer biomassa-grondstoffen worden aangevoerd, ergens anders een verkeersstroom wegvalt doordat deze grondstoffen niet naar een afvalstation hoeven te worden vervoerd. In de 'lokale situatie' komt er echter een risico bij. In dit geval kijken wij alleen naar verandering op het lokale niveau. Wij laten de 'weggevallen' vervoersbewegingen buiten beschouwing. Het is daarmee een conservatieve inschatting.

⁴⁵ SWOV (2020).

⁴⁶ Zie hiervoor Rijkswaterstaat (z.d.). Actuele verkeersongevallencijfers. Geraadpleegd op 12 januari 2023 via <https://www.rijkswaterstaat.nl/>.

Voor deze parameters sluiten wij aan bij de gegevens die VZinfo.nl ook gebruikt.⁴⁷ De *Wegingsfactor acuut* is 0,201, het aandeel blijvend letsel is 24,9%⁴⁸, de *wegingsfactor blijvend letsel* is 0,197 en de duur van het blijvend letsel is 40 jaar⁴⁹.

Per vrachtwagenkilometer gaan er dan $(3,3 * 10^{-7} * (0,201 + (24,9\% * 0,197 * 40))) = 7,1 * 10^{-7}$ DALYs door overlijden verloren. Dit is dan de YLD in de DALY formule.

In totaal zullen er dus per vrachtwagenkilometer $(4,0 * 10^{-7} + 7,1 * 10^{-7}) = 1,1 * 10^{-6}$ DALYs verloren gaan.

Aantal kilometers per vrachtwagen

Wij gaan ervan uit dat de meeste biomassa zich in de buurt bevindt en het aantal kilometers per vrachtwagen dus beperkt is. Voor de biomassacentrale in Utrecht wordt alleen gebruik van biomassa dat op maximaal 100 km afstand van Utrecht is geroid.⁵⁰ Voor kleinere centrales zal dit naar verwachting (nog) dichterbij zijn. Bovendien komt ruim 75% van de biomassa 'gewoon' uit Nederland.⁵¹

Wij gaan conservatief uit van biomassa die gemiddeld op 50 km afstand wordt geroid. Een vrachtwagen rijdt daardoor 'standaard' 100 km.

Deze standaard zou aangepast kunnen worden in de achterliggende data in het mengpaneel.

Aantal vrachtwagens

Het aantal benodigde vrachtwagens correspondeert met de opgewekte energie. Grofweg kan er gesteld worden dat er met 1,65 miljoen ton biomassa⁵² 33,8 PJ en dus 9,392 TWh kan worden opgewekt.⁵³ Voor 1 TWh is dus 0,176 miljoen ton biomassa nodig.

Wij gaan ervan uit dat een vrachtwagen 10 ton vervoerd (de toegestane massa in Nederland is 50 ton maar biomassa is volumineus). In dat geval zullen er 17.600 vrachtwagens nodig zijn per TWh.

⁴⁷ Wij hebben hiervoor het Excel document '150819_ziektelast_van_letsels_door_ongevalen_in_2011_v0_definitief' gebruikt dat wij op 12 januari 2023 hebben verkregen via <https://www.vzinfo.nl/>.

⁴⁸ Hier wijken wij af van het percentage dat VZInfo.nl noemt aangezien wij enkel kijken naar ernstig gewonden.

⁴⁹ Ook hier wijken wij af van VZInfo.nl aangezien wij, als overal in de rapportage, uitgaan van 40 jaar resterende levensverwachting.

⁵⁰ Zie hiervoor: RTV Utrecht (2017). "Voldoende houtsnippers voor biomassacentrale". Geraadpleegd op 12 januari 2023 via <https://www.rtvutrecht.nl/>.

⁵¹ Zie hiervoor: Planbureau voor de Leefomgeving (z.d.). Vragen en antwoorden over biomassa. Geraadpleegd op 12 januari 2023 via <https://www.pbl.nl/>.

⁵² Zie hiervoor: Planbureau voor de Leefomgeving (z.d.). Vragen en antwoorden over biomassa. Geraadpleegd op 12 januari 2023 via <https://www.pbl.nl/>.

⁵³ Zie hiervoor: CBS (2022). Elektriciteit en warmte; productie en inzet naar energiedrager. Geraadpleegd op 12 januari 2023 <https://opendata.cbs.nl/>.

Ook deze parameter (10 ton per vrachtwagen) zou bij nader inzicht aangepast kunnen worden in de achterliggende parameterset van het mengpaneel.

Risico totaal per KWh

Overlijden: $1,1 * 10^{-6} * 100 \text{ km} * 17.600 \text{ vrachtwagens} = 1,95$ verloren gezonde levensjaren per 1 per TWh. Het verloren aantal levensjaren is afhankelijk van hoeveel biomassa er gebruikt wordt en hoeveel elektriciteit er wordt geproduceerd. Zelf in te vullen is dus alleen **het vermogen in MW** dat de biomassacentrale heeft. In paragraaf 2.3.4 laten ze zien hoe we met het vermogen van de biomassacentrale komen tot een geschatte opbrengst.

2.3.3 Luchtverontreiniging door elektriciteitsproductie

Voor de risico's rond luchtverontreiniging door elektriciteitsproductie is onze kernbron Markandya en Wilkinson (2007). Zij hebben uitgerekend hoeveel slachtoffers er zijn voor kolen, gas en aardolie (zie later) maar ook voor biomassa.⁵⁴ Zij kijken in het artikel naar doden door ongelukken (fysieke veiligheid, zie hierboven) maar ook naar doden en gewonden door luchtverontreiniging.

Specifiek voor luchtverontreiniging door biomassa komen de onderzoekers uit op:⁵⁵

- 4,63 doden per TWh (waarvan 88% tot 99% door chronische effecten en dus 12% tot 1% door acute effecten).
- 43 gevallen van *serious illness* per TWh (respiratory and cerebrovascular hospital admissions, congestive heart failure, and chronic bronchitis).
- 2.276 gevallen van *minor illness* per TWh (restricted activity days, bronchodilator use cases, cough, and lower-respiratory symptom days in patients with asthma, and chronic cough episodes).

Kijken we echter verder naar deze bron, dan blijkt de primaire data afkomstig te zijn van een studie uit 1998.⁵⁶ Wij zullen deze bron ook gebruiken, maar de data wel in perspectief te plaatsen (d.w.z. schonere fabrieken dan in 1998). In bijlage 1 leggen wij uit hoe we tot een nieuwe inschatting zijn gekomen. In tabel 2.4 geven we alleen de uitkomst van de berekening weer: per TWh opgewekt door biomassa zullen er 20,7 gezonde levensjaren verloren gaan door luchtverontreiniging.

⁵⁴ Markandya & Wilkinson (2007).

⁵⁵ Let op: een deel van de uitstoot en dus verloren levensjaren door biomassa zullen in het buitenland zijn (en andersom natuurlijk ook: een deel van de uitsluit en dus verloren levensjaren door de opwekking van elektriciteit door biomassa uit het buitenland zal in Nederland zijn). Volgens het Kelfkens e.a. (2020) dragen binnenlandse bronnen voor 40% bij aan de verloren levensjaren door luchtverontreiniging, buitenlandse bronnen voor 36% en natuurlijke en onbekende bronnen voor 24%.

⁵⁶ Berry J.E. e.a. (1998).

	SO ₂	NO _x	PM	Totaal
Verwacht aantal verloren levensjaren Nederland	1,09	15,48	4,16	20,73

2.4: Het aantal verloren gezonde levensjaren door luchtverontreiniging door biomassa na correctie voor recente omstandigheden per TWh.

Zelf in te vullen is **het vermogen in MW** zodat de hoeveel opgewekte energie bepaald kan worden (zie ook paragraaf 2.3.4).

2.3.4 Vollasturen

Het Planbureau Leefomgeving (PBL) gaat voor kleine biomassaketels (0,5 – 5,0 MW) uit van 3.000 uur per jaar en voor grotere biomassaketels (5,0 – 20,0 MW) uit van 4500 tot 8.500 uur per jaar.⁵⁷ Het aantal uren dat de centrale draait is van belang om zowel de uitstoot te bepalen als later de gezondheidswinst door een vermindering van fossiele brandstoffen.

In het mengpaneel middelen we het aantal vollasturen en gaan wij 'standaard' uit van 6.500 uur per jaar.

Zelf in te vullen is dus **het vermogen in MW** van de biomassacentrale.

2.3.5 Overzichtstabel aannames biomassa-elektriciteitsproductie

Risico	Uitgangspunt	Referentie / uitleg
Externe veiligheid biomassacentrale	Wij sluiten aan bij de parameters die wij ook voor windturbines (externe veiligheid) gebruiken.	Wij berekenen het risico voor biomassacentrales op eenzelfde wijze als windturbines. Dit is een grove inschatting. De blootstellingsfactor is dus 0,5 (helpt van de tijd aanwezig) en de beschermingsfactor is 0,07 (huis biedt een zekere mate van bescherming). Voor passanten gaan wij uit dat zij 1 minuut per passage aanwezig zijn.
Overlijdensrisico door vrachtwagens voor transport biomassa	Wij gaan uit van een transportrisico dat gelijk is aan het transportrisico van vrachtwagens (ongeveer 10 ⁻⁸).	De data hebben wij verkregen via cijfers van het SWOV (2020).

⁵⁷ Cremers, M. e.a. (2021).

<p>Letselrisico door vrachtwagens voor transport biomassa</p>	<p>Wij hanteren de reguliere verdeling 'verkeersgewonden t.o.v. verkeersdoden'. De kans op letsel is grofweg 33 keer groter dan de kans op overlijden.</p> <p>Voor het effect (de wegingsfactor) gaan wij uit van 0,201 (acuut letsel), 0,197 (blijvend letsel) en een percentage van 25% dat bij ernstig letsel blijvend letsel heeft voor 40 jaar.</p>	<p>De verhouding verkeersgewonden t.o.v. verkeersdoden hebben wij bepaald o.b.v. data van RWS (z.d.).</p> <p>Voor de wegingsfactoren en het percentage personen met blijvend letsel hebben wij gebruik gemaakt van data van VZinfo.nl (2011).</p>
<p>Vrachtwagenkilometers voor transport biomassa</p>	<p>Wij gaan uit van vrachtwagens die gemiddeld 100 kilometer afleggen. Daarnaast gaan wij uit van vrachtwagens die 10 ton per keer vervoeren.</p> <p>Voor 1 TWh is 0,176 miljoen ton biomassa nodig. Per TWh zullen er in dat geval 17.600 vrachtwagens nodig zijn.</p>	<p>Het aantal kilometers en het aantal ton biomassa dat een vrachtwagen vervoert is gebaseerd op een eigen grove schatting.</p> <p>Het aantal ton biomassa voor 1 TWh uur is gebaseerd op data van PBL (z.d.) in combinatie met data van het CBS (2022).</p>
<p>Luchtverontreiniging door biomassa (geldt ook voor luchtverontreiniging door (aard)gas en steenkool.</p>	<p>Een belangrijk uitgangspunt is dat wij ervan uitgaan dat het aantal verloren levensjaren lineair verloopt met de uitstoot.</p> <p>Het aantal verloren levensjaren hebben wij bepaald aan de hand van de DALY formule inclusief de parameters prevalentie, disability weight en de duur van de aandoening.</p>	<p>De uitstoot hebben wij bepaald met behulp van data van European Environment Agency.</p> <p>De prevalentie hebben wij gebaseerd op basis van de studie Berry e.a. (1998).</p> <p>Voor het bepalen van de disability weight hebben wij gebruik gemaakt van de WHO (2020) en een bijpassende waarde gekozen.</p> <p>De duur hebben wij bepaald o.b.v. van een eigen, grove schatting.</p>
<p>Vollasturen</p>	<p>Wij gaan uit van 6.500 uur per jaar.</p>	<p>Het PBL stelt dat (grotere) biomassaketels 4.500 tot 8.500 uur per jaar actief zijn. Wij middelen dit en komen uit op 6.500 uur per jaar.</p>

2.5: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor biomassa.

2.4 Afnemende risico's door vermindering fossiele brandstoffen

De opwekking van elektriciteit door fossiele brandstoffen wordt gedomineerd door het gebruik van steenkool en aardgas. 97% van de fossiele energie (alleen elektriciteitsproductie) komt van deze bronnen.⁵⁸ In deze rapportage kijken we daarom alleen naar de gezondheidseffecten van steenkool en aardgas.

Relatief wordt er veel aardgas gebruikt voor de productie van elektriciteit. Gemiddeld werd er tussen 2017 en 2021 61,8 TWh geproduceerd door gebruik te maken van aardgas en 21,4 TWh door gebruik te maken van steenkool. Dit betekent dat, als er alleen naar steenkool en aardgas gekeken wordt, 74,3% wordt opgewekt door aardgas en 25,7% wordt opgewekt door steenkool.⁵⁹ De verhouding hanteren wij in de verdere rapportage.

Het gebruik van steenkool is in Nederland na lange tijd weer toegenomen. In Nederland werd in het 3^e kwartaal van 2021 14,4 miljard KWh elektriciteit opgewekt door fossiele grondstoffen (dus exclusief hernieuwbaar en overig). 9,94 miljard KWh werd opgewekt door het gebruik van aardgas (69%) en 4,48 miljard KWh werd opgewekt door het gebruik van steenkool (31%).⁶⁰ Door de sluiting van het Groningergasveld is de gehanteerde verhouding (76% aardgas en 24% steenkool) mogelijk wat conservatief (aangezien, zo zal later blijken, het gebruik van steenkool vervuilender is).

Wij sluiten echter aan bij het langjarig gemiddelde zoals wij in deze rapportage vaker doen.

Wij zien grofweg twee omgevingsrisico bij het gebruik van steenkool om elektriciteit op te wekken:

- 1) Fysieke veiligheid door aanwezigheid van een fabriek.
- 2) Luchtverontreiniging.

2.4.1 Fysieke veiligheid: explosiegevaar en transport

Een eerste risico waaraan gedacht kan worden is een fysiek veiligheidsrisico, bijvoorbeeld explosiegevaar. In Nederland kennen we enkele voorbeelden van overleden personen door fysieke (on)veiligheid nabij kolencentrales maar dit waren uitsluitend werknemers.

Om twee redenen nemen wij 'explosiegevaar' niet mee in het mengpaneel:

⁵⁸ Zie hiervoor: CBS (2022). Elektriciteitsbalans; aanbod en verbruik. Geraadpleegd op 13 januari 2023 via <https://opendata.cbs.nl/>.

⁵⁹ Zie hiervoor: CBS (2022). Elektriciteitsbalans; aanbod en verbruik. Geraadpleegd op 13 januari 2023 via <https://opendata.cbs.nl/>.

⁶⁰ Zie hiervoor: CBS (2021). Elektriciteitsproductie uit kolen bijna verdubbeld. Geraadpleegd op 13 januari 2023 via <https://www.cbs.nl/>.

- 1) Het RIVM beoordeelt de kans op een groot ongeval met ten minste 10 slachtoffers in de omgeving (in Nederland) bij/door elektriciteitsproductie als verwaarloosbaar.⁶¹
- 2) Voor de lokale bestuurder zal het ingewikkeld zijn om dergelijke parameters in te vullen aangezien er waarschijnlijk geen kolen-/gascentrale zal sluiten in de eigen omgeving.

Wat betreft winning, transport en distributie gaat het RIVM uit van ongeveer 1 dodelijk arbeidsongeval per jaar en een kans van 1 keer in de 1.400 jaar op een groot ongeval met ten minste 10 slachtoffers in de omgeving (in Nederland) door het vervoer van gevaarlijke stoffen over de weg.⁶²

Het transportrisico nemen we in dit geval ook niet mee aangezien het transport niet over de weg gaat maar over via leidingen (aardgas) of binnenvaart (steenkool) waardoor er een nihil (en door afwezigheid van incidenten waarschijnlijk verwaarloosbaar⁶³) omgevingsrisico is.

Markandya en Wilkinson gaan in hun studie uit van 0,02 doden onder 'publiek' (dus geen werknemers) per TWh als gevolg van de energieopwekking middels steenkool en aardgas.⁶⁴ Dit betreft echter een internationale studie waardoor het niet 'zomaar' toe te passen is op de huidige, Nederlandse situatie.

2.4.2 Luchtverontreiniging

Markandya en Wilkinson hebben uitgerekend hoeveel slachtoffers er zijn voor kolen, gas en aardolie.⁶⁵ Zij kijken in het artikel naar doden door ongelukken (fysieke veiligheid, zie hierboven) maar ook naar doden en gewonden door luchtverontreiniging.

Voor steenkool (enkel luchtverontreiniging) komen de onderzoekers uit op:

- 24,5 doden per TWh.
- 225 gevallen van *serious illness* per TWh.
- 13.288 gevallen van *minor illness* per TWh.

Voor aardgas (enkel luchtverontreiniging) komen de onderzoekers uit op:

- 2,8 doden per TWh.
- 30 gevallen van *serious illness* per TWh.
- 703 gevallen van *minor illness* per TWh.

⁶¹ Van der Ree e.a. (2019).

⁶² Van der Ree e.a. (2019).

⁶³ Aangezien wij geen incidenten kennen en (in theorie) iedereen blootgesteld wordt aan dit risico van gasleidingen, zal het risico (veel) kleiner zijn dan 10^{-8} per jaar.

⁶⁴ Markandya & Wilkinson (2007).

⁶⁵ Markandya & Wilkinson (2007).

In de vorige paragraaf over biomassa hebben we laten zien dat de studie niet ‘zomaar’ kan worden toegepast op de Nederlandse situatie in 2022. Om tot een schatting te komen van het aantal verloren levensjaren door luchtverontreiniging hebben wij gekeken naar de *disability weight* die de WHO toekent aan de aandoeningen en rekening gehouden met de vermindering van emissies.

In bijlage 1 geven wij een uitleg over de rekenwijze en een overzicht van de verschillende aandoeningen door luchtverontreiniging, puntprevalentie per TWh en de disability weight voor de elektriciteitsproductie van biomassa, aardolie, aardgas en steenkool. Houden we ook rekening met de vermindering van emissies na publicatie van de studie, dan zullen er respectievelijk 111,64 en 15,93 DALYs per TWh verloren gaan door de productie van elektriciteit door steenkool en aardgas. In bijlage 1 lichten we toe hoe we tot deze factor zijn gekomen.

	SO2	NOx	PM	Totaal
Steenkool	33,96 DALYs	71,66 DALYs	6,02 DALYs	111,64
Aardgas	-0,21 DALYs	16,14 DALYs	0 DALYs	15,93

2.6: Het aantal verloren gezonde levensjaren door luchtverontreiniging per TWh per stof en brandstof na correctie voor recente omstandigheden.

In de inleiding hebben we gemeld dat we bij elektriciteitsproductie door fossiele grondstoffen uitgaan van een verdeling van 74% aardgas en 26% steenkool. In dat geval zal er per TWh ‘grijze energie’ $111,64 * 0,257 + 15,93 * 0,743 = 41$ gezonde levensjaren (DALYs) verloren gaan per TWh. Dit is $4,1 * 10^{-8}$ per KWh.

Het aantal verloren levensjaren door luchtverontreiniging volgens het RIVM⁶⁶

Volgens het RIVM gaan er jaarlijks 150.000 DALYs verloren door luchtverontreiniging. Het is voor ons onduidelijk hoe zij aan deze schatting komen.

Ongeveer een derde van de luchtvervuiling komt uit het buitenland. 0,1 van de 16,5 (=0,6%) PM10 concentratie en 0,2 van de 14,8 (=1,4%) NO2 concentratie komt door de energiesector. Ongeveer een 1% van de luchtverontreiniging in Nederland is daarmee toe te schrijven aan de energiesector. Let op: de SO2 verhoudingen zijn hier niet in meegenomen. Op basis van de studie van het RIVM zou het dan neerkomen op ongeveer 1.500 verloren DALYs door de luchtvervuiling door de energiesector. Let op: hierin zijn verloren DALYs door buitenlandse energiecentrales niet meegenomen, net als buitenlandse verloren DALYs door Nederlandse centrales.

In 2019 werd er ongeveer 90 TWh uur opgewekt door gebruik te maken van fossiele brandstoffen. Volgens het mengpaneel zullen er ongeveer 3.700 DALYs verloren gaan. Dit lijkt redelijk in lijn met de studie van het RIVM aangezien in het mengpaneel wél de ‘buitenlandse’ DALYs en SO2 (vooral relevant bij steenkool) zijn meegenomen.

⁶⁶ Van der Ree e.a. (2019).

Vanzelfsprekend hoeft er voor de vermindering van fossiele brandstoffen geen parameter te worden ingevuld aangezien dit automatisch volgt uit de opbrengst van de hierboven genoemde technologieën.

2.4.3 Overzichtstabel aannames verminderd verbruik fossiele brandstoffen

Risico	Uitgangspunt	Referentie / uitleg
Fossiele brandstoffen	<p>Wij gaan in het mengpaneel alleen uit van de risico's van aardgas en steenkool aangezien deze voor 97% verantwoordelijk zijn voor het energieaanbod geproduceerd door fossiele brandstoffen.</p> <p>Wij gaan daarnaast uit dat het overgrote deel wordt geproduceerd met behulp van aardgas (76%) en een kleiner deel met behulp van steenkool (26%).</p>	De percentages zijn bepaald met behulp van data van het CBS (2022).
Fysiek veiligheidsrisico	Wij nemen het fysieke veiligheidsrisico niet mee in het mengpaneel aangezien wij dit risico verwaarloosbaar achten en/of dit het instrument ingewikkeld maakt om in te vullen.	Wij baseren ons voornamelijk op de studie van het RIVM (2019).
Luchtverontreiniging	Wij hanteren dezelfde aannames als geschetst bij luchtverontreiniging door bij biomassa (zie tabel 2.5 en bijlage 1).	Wij hanteren dezelfde aannames als geschetst bij biomassa (zie tabel 2.5 en bijlage 1).

2.7: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor fossiele brandstoffen.

3. Technieken om warmte te genereren

In dit hoofdstuk kijken we de meer- en minder risico's die verbonden zijn met lokale technieken om warmte te genereren.

3.1 Geothermie

Bij geothermie wordt warmte uit de aarde onttrokken. Tot 500 meter wordt dit bodem-energie genoemd en vanaf 500 wordt dit aardwarmte genoemd.

Het gebruik van aardwarmte is nog beperkt in Nederland. In 2021 was het energieaanbod door aardwarmte nog slechts 6,2 PJ. Ter vergelijking: dit komt neer op zo'n 1,7 miljard KWh, 2% van alle hernieuwbare energie in Nederland en 0,2% van de energievraag in Nederland. Het is dus nog een relatief nieuwe methode waardoor nog niet alle risico's volledig en kwantitatief in beeld zijn.

Wij beschouwen drie mogelijke omgevingsrisico's die genoemd zijn:

- Vervuild drinkwater.
- Transportrisico.
- Een verhoogde kans op aardbevingen.⁶⁷

Het risico op blow-outs nemen wij expliciet niet mee in de analyse aangezien dit risico voor ontstaat tijdens de constructiefase (en dus eerder een arbo-risico is). Bovendien schat de SodM het risico in Nederland in als zeer beperkt: sinds 1970 zijn er geen blow-outs meer voorgekomen.⁶⁸

Het eerste risico, vervuild drinkwater, is nog onbekend (en daarmee ook of het überhaupt een veiligheids- of gezondheidsrisico is) en daarmee niet kwantitatief te beoordelen. Wij nemen het daarom niet mee in het mengpaneel (zie ook de spelregels).

De tweede risico, het transportrisico van het warme water, achten wij minimaal en zeker minder als de transportrisico's bij aardgas in woningen en nemen die daarom ook niet mee in deze vergelijking.

Het derde risico, een verhoogde kans op aardbevingen, nemen wij wel mee. Wij kijken hier alleen naar de kans op overlijden en niet naar de kans op bijvoorbeeld schade.

Als positief effect van geothermie zien wij een toename van het aantal gasloze woningen. Een gevolg van een gasloze woning is, naast een andere warmtebron, ook dat er meer gebruik zal moeten worden gemaakt van elektriciteit (voor bijvoorbeeld koken) dat, zie het vorig hoofdstuk, gezondheidseffecten heeft.

⁶⁷ Staatstoezicht op de Mijnen (2017).

⁶⁸ Staatstoezicht op de Mijnen (2017).

3.1.1 *Risico op aardbevingen*

Bij de aanleg van een geothermiecentrale zal een *quantitative risk assessment* (QRA) gemaakt moeten worden die een inschatting van het IR geeft. Dit is de input voor ons mengpaneel.

In de QRA zullen de PR-contouren moeten worden vermeld (zie paragraaf 2.4). Op deze manier kunnen we een inschatting maken van het verlies aan DALYs. Wij gebruiken hierbij dezelfde parameters als dat we gedaan hebben bij windturbines, maar met twee uitzonderingen: 1) we kijken niet naar een passanten-risico (aardbeving zal vooral voor mensen in huis gevaarlijk zijn) en 2) we kijken ook naar de PR 10^{-7} contour. De parameters zijn:

- Kans op ongewenst gebeurtenis binnen PR 10^{-6} contour = $5 * 10^{-6}$
- Kans op ongewenst gebeurtenis binnen PR 10^{-7} contour = $5 * 10^{-7}$
- Kans op aanwezigheid = 0,5
- Kans op overlijden na blootstelling = 0,07 (o.b.v. de rapportage van TNO over aardbevingen in het Groningergasveld, zie paragraaf 2.1).

Het aantal verloren gezonde levensjaren (DALYs) voor omwonenden is dan $5 * 10^{-6} * 0,07 * 0,5 * 40$ verloren levensjaren * **aantal omwonenden binnen PR 10^{-6} contour** (zelf invullen) + $5 * 10^{-7} * 0,07 * 0,5 * 40$ verloren levensjaren * **aantal omwonenden binnen PR 10^{-7} contour** (zelf invullen).

Het is hiermee aan de initiatiefnemer om te laten zien dat het geothermieproject voldoende veilig is. Het hooglerarenpanel over de omgang met de seismische risico's van overige mijnbouw stelt echter dat het individueel risico (let op: iets anders dan een PR-contour) in ieder geval kleiner is dan 10^{-5} per jaar op alle plekken in Nederland buiten de Roerdalslenk.

3.1.2 *Gezondheidsrisico's door elektriciteit*

Zoals in hoofdstuk 2 is laten zien zorgt het opwekken van elektriciteit voor gezondheidsschade, voornamelijk door luchtverontreiniging. Op twee manieren is er (extra) elektriciteit nodig wanneer er gebruik wordt gemaakt van geothermie:

- Voor de productie van geothermie/het oppompen van warmte.
- Voor koken op elektriciteit (i.p.v. gas).

Wij kijken naar de meergebruik van elektriciteit doordat er in de nieuwe situatie (met geothermie) meer elektriciteit uit het net wordt onttrokken dan anders het geval was.

Volgens de RVO is er per joule aardwarmte ongeveer 1/25 joule elektriciteit nodig.⁶⁹ Een huishouden gebruikt gemiddeld ongeveer 41,6 GJ per jaar.⁷⁰ In dat geval zal er dus 1,7 GJ, en dus 462,2 KWh, nodig zijn voor de productie van geothermie. Daarnaast gebruikt een huishouden gemiddeld ongeveer 200 KWh per jaar om elektrisch te koken.⁷¹

In totaal is er dus gemiddeld per jaar per huishouden 662,2 KWh ($=6,6 * 10^{-7}$ TWh per jaar) aan extra elektriciteit nodig.

Grofweg kunnen we de opwekking van elektriciteit in drie categorieën verdelen:

- Fossiele-energie met gezondheidsrisico's door luchtverontreiniging.
- Biomassa-energie met gezondheidsrisico's door luchtverontreiniging.
- Overige hernieuwbare-energie zonder gezondheidsrisico's door luchtverontreiniging.

Op basis van de 2021 gelden de volgende percentages:

- Fossiele-energie = 65,5%.
- Biomassa-energie = 8,6%.
- Overige hernieuwbare-energie = 25,9%.⁷²

In de voorgaande hoofdstukken hebben we laten zien dat het gezondheidsrisico per TWh voor fossiele brandstoffen 40,8 DALYs is en voor biomassa 20,7 DALYs is.

Het aantal verloren gezonde levensjaren (DALYs) is dan:

$$\text{DALYs} = (\text{aantal aangesloten huishoudens (zelf invullen)} * (6,6 * 10^{-7} \text{ TWh per jaar} * 66\% \text{ fossiele-energie} * 40,8 \text{ DALYs})) + (\text{aantal aangesloten huishoudens (zelf invullen)} * (6,6 * 10^{-7} \text{ TWh per jaar} * 9\% \text{ biomassa-energie} * 20,7 \text{ DALYs})) + (\text{aantal aangesloten huishoudens (zelf invullen)} * (6,6 * 10^{-7} \text{ TWh per jaar} * 26\% \text{ overige hernieuwbare-energie} * 0 \text{ DALYs}))$$

Zelf in te vullen is dus **het aantal woningen** dat wordt aangesloten.

Let op: door meer te investeren in hernieuwbare energie zal dit gezondheidsrisico (luchtvervuiling door meergebruik elektriciteit) ook afnemen.

⁶⁹ RVO (2022).

⁷⁰ Zie hiervoor: Milieu centraal (z.d.) Gemiddeld energieverbruik. Geraadpleegd op 14 februari 2023 via <https://www.milieucentraal.nl/>.

⁷¹ Zie hiervoor: Milieu centraal (z.d.) Inductie kookplaat. Geraadpleegd op 14 februari 2023 via <https://www.milieucentraal.nl/>. Een inductiekookplaat verbruikt zo'n 175 KWh per jaar en een keramische 200 KWh. Wij zijn daarom uitgegaan van gemiddeld 200 KWh.

⁷² Op basis van CBS (2022). Elektriciteitsbalans; aanbod en verbruik. Geraadpleegd op 20 januari 2023 via <https://opendata.cbs.nl/>. Wij hebben alleen gekeken naar fossiele en hernieuwbare bronnen (97% van het totaal). Kernenergie e.d. laten we buiten beschouwing aangezien dit slechts een klein deel van alle energiebronnen is. In tegenstelling tot elders in de rapportage kijken wij nu niet naar het langjarig gemiddelde omdat dit een vertekend beeld geeft, aangezien er juist steeds meer groene, hernieuwbare energie komt.

3.1.3 Overzichtstabel aannames geothermie voor warmte

Risico	Uitgangspunt	Referentie / uitleg
Geothermie	In het mengpaneel kijken wij alleen naar het risico op seismische activiteit. Het risico op lekkage kwantificeren wij niet aangezien de mate van dit risico nog onbekend is en daarmee niet te kwantificeren is. Het transportrisico kwantificeren wij ook niet aangezien dit risico volgens ons zeker niet groter is dan het transportrisico van aardgas.	De risico's zijn kwalitatief in beeld gebracht door SodM (2017) en RIVM (2021). Wij sluiten hierbij aan.
Externe veiligheid geothermie (omwonenden)	Wij sluiten aan bij de parameters die wij ook voor windturbines en biomassa (externe veiligheid) gebruiken.	Wij berekenen het risico voor geothermie op eenzelfde wijze als windturbine en biomassa. Dit is een grove inschatting. De blootstellingsfactor is dus 0,5 (helpt van de tijd aanwezig) en de beschermingsfactor is 0,07 (huis biedt een zekere mate van bescherming).
Externe veiligheid geothermie (passanten)	Bij geothermie laten wij het risico voor passanten buiten beschouwing. Wij gaan uit van een aardbevingsrisico waardoor het risico vooral binnenshuis zal zijn.	Dit is een eigen, grove aanname.
Luchtverontreiniging door elektriciteitsproductie	Wij gaan in het mengpaneel uit van geothermie als alternatief voor aardgas in woningen. Door warmteproductie door geothermie en het nu elektrisch moeten koken, zal er meer elektriciteit verbruikt worden. Per huishouden gaan wij uit van 662 KWh. Wij gaan uit van een gemiddeld huishouden dat 41,6 GJ aan 'warmte' nodig heeft.	Het energieverbruik per huishouden hebben wij verkregen via Milieu centraal (z.d.).
Verdeling elektriciteitsproductie hernieuwbaar t.o.v. fossiel.	Wij maken onderscheid tussen elektriciteitsproductie door biomassa, overige hernieuwbare bronnen en fossiele bronnen.	In het mengpaneel sluiten wij aan bij de data van het CBS uit 2021.

	<p>Wij maken dit onderscheid doordat er in de nieuwe situatie (met geothermie) meer elektriciteit uit het net wordt onttrokken dan anders het geval was.</p>	
--	--	--

3.1: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor geothermie.

3.2 Waterstofwoningen

Waterstof voor het verwarmen van woningen is nog een relatief nieuw. Het wordt nog niet tot nauwelijks toegepast, maar er zijn wel plannen en pilots.⁷³ Wij benadrukken dat het hier gaat om (gemeentelijke) projecten en niet om particulieren die zonder vergunning hun aardgasketel kunnen veranderen in een waterstofketel.

Wij zien drie risico's:

- Explosiegevaar.
- Gezondheidsrisico's door luchtverontreiniging door gebruik waterstof in woningen (stikstofdioxiden).
- Gezondheidsrisico's door luchtverontreiniging door meergebruik elektriciteit.

Aangezien dezelfde leidingen gebruikt kunnen worden als bij aardgas, zien wij de transportrisico's als wij minimaal en hetzelfde als bij aardgas (waarbij we het ook als verwaarloosbaar hebben beschouwd, zie paragraaf 2.4) in woningen en nemen die daarom niet mee in deze vergelijking.

3.2.1 Explosie- en brandgevaar

Om het risico op overlijden door een explosie door waterstof te berekenen, maken wij eerst een vergelijking met het risico op overlijden door een brand of explosie door aardgas. Zoals wij in de volgende paragraaf (paragraaf 3.3) laten zien, is dit risico:

- $4,2 * 10^{-8}$ op overlijden per inwoner met gas.
- $2,3 * 10^{-7}$ op ernstig letsel per inwoner met gas.

Door gebrek aan data en ervaringen met waterstof is het nog onbekend hoe het risico op overlijden (door) explosie zich verhoudt tot aardgas. Er zijn enkele argumenten om te veronderstellen dat het explosierisico groter is:

- Waterstof is lichter waardoor de uitstroom groter is.

⁷³ Zie voor een overzicht bijvoorbeeld de handreiking Omgaan met waterstofrisico's (werkgroep BOVEN, 2022) die door de werkgroep BOVEN is opgesteld.

- De explosie-ondergrens ligt lager waardoor er sneller een explosie zal kunnen ontstaan.
- De explosie-bovengrens is hoger waardoor er minder snel (alleen) een brand zal ontstaan en dus eerder een explosie.

Er zijn ook argumenten waardoor het explosierisico kleiner of gelijk is dan bij aardgas:

- Waterstof is lichter dus het blijft, zoals wel bij aardgas, niet hangen.
- In de tot nu toe gebruikte huizen werd gebruik gemaakt van een detectiesysteem terwijl dat bij aardgas niet het geval is.

Het toe- of afgenomen explosierisico kan nog niet worden bepaald. Er zijn argumenten om te veronderstellen dat het risico groter is maar ook argumenten om te veronderstellen dat het risico kleiner is.⁷⁴ Wij gaan ervan uit dat het brand- en explosierisico van waterstof in woningen daarom ongeveer gelijk is als dat bij het gebruik van aardgas in woningen.

Een huishouden kent gemiddeld 2,2 bewoners. Per huishouden zullen er dus gemiddeld twee personen worden blootgesteld aan het risico.

In paragraaf 3.3.2 leggen wij uit hoe we tot het aantal verloren gezonde levensjaren zijn gekomen. In het mengpaneel gaan wij uit van:

- $3,7 * 10^{-6}$ DALYs per waterstof-aansluiting door overlijden.
- $2,9 * 10^{-6}$ DALYs per waterstof-aansluiting door ernstig letsel.

Zelf in te vullen is dus **het aantal waterstofwoningen** dat wordt aangesloten.

We benaderen dat het een conservatieve schatting is. Een vergelijking tussen aardgas als energiedrager en waterstof in als toepassing in de industrie laat zien dat het risico een lager is.

Waterstof als toepassing in de industrie

In Europa zijn jaarlijks gemiddeld ongeveer 1 a 2 dodelijke incidenten met waterstof als toepassing in de industrie.⁷⁵ Er wordt in de EU jaarlijks zo'n 9,7 Mt waterstof geproduceerd, wat neerkomt op ongeveer 325,2 TWh.⁷⁶ De kans op overlijden is dus 0,003 tot 0,006 per TWh.

Markandya en Wilkinson hebben uitgerekend hoeveel slachtoffers er door ongevallen zijn per TWh bij het gebruik van aardgas bij elektriciteitsproductie: 0,02 'among the public' en 0,001 arbeidsongevallen.⁷⁷ Het overlijdensrisico lijkt bij waterstof dus kleiner te zijn dan bij aardgas.

⁷⁴ Weeda, M. & Niessink, R. (2020).

⁷⁵ Werkgroep BOVEN (2022).

⁷⁶ Kakoulaki e.a. (2021).

⁷⁷ Markandya & Wilkinson (2007).

3.2.2 NOx door verbranding waterstof in woningen

Net als bij aardgas komt er door de verbranding van waterstof NOx vrij. Nox zorgt voor een verlies aan gezonde levensjaren door luchtverontreiniging. Bij aardgas is dit de primaire oorzaak voor luchtverontreiniging.

Het Expertise Centrum Warmte stelt dat de hoeveelheid Nox die vrijkomt bij verbranding van waterstof gelijk of iets hoger is dan bij aardgas.⁷⁸ Hoofdstuk 2 laat zien dat er bij het gebruik van aardgas voor het opwekken van elektriciteit ongeveer 16 DALYs per TWh verloren gaan. Dit zal bij het gebruik van waterstof min of meer hetzelfde zijn.⁷⁹

In het mengpaneel gaan wij uit van 16 verloren DALYs per TWh door luchtverontreiniging door het gebruik van aardgas in woningen. Dit zijn $0,0002 = 2 * 10^{-4}$ DALYs per 41,6 GJ⁸⁰ (het warmtegebruik van een huishouden, zie paragraaf 3.1) en dus per waterstofaansluiting.

Zelf in te vullen is dus **het aantal waterstofwoningen** dat wordt aangesloten.

3.2.3 Luchtverontreiniging meergebruik elektriciteit

Waterstof kan op verschillende manieren worden geproduceerd. Wij gaan ervan uit dat de waterstof die wordt gebruikt in woningen 'groen' is, d.w.z. waterstof dat met behulp van hernieuwbare bronnen is geproduceerd. Daarnaast gaan wij ervan uit dat de elektriciteit voor de productie van waterstof niet wordt 'onttrokken' uit het energienet maar dat waterstof enkel wordt geproduceerd wanneer er een overschot aan *groene* elektriciteit is.

Dit is een primair uitgangspunt in het mengpaneel. Het uitgangspunt 'waterstof wordt alleen geproduceerd door groene energie' hanteren wij op basis van de volgende logica: het heeft geen zin (juist eerder averechts) om waterstof grijs te produceren aangezien er anders geen CO2-reductie en vermindering van aardgas zal zijn. Waterstof is immers, net als aardgas, een 'brandstof' waardoor het dan als het ware een een-op-een vervanging is zonder toegevoegde waarde. Wij zien dit daarom als fundamenteel anders dan bij geothermie waarbij wij wel kijken naar het meergebruik door productie.

Waterstof is echter niet geschikt om op te koken. Een huishouden zou dus per extra elektriciteit gebruiken om te koken. Dit zorgt voor een verlies aan gezonde levensjaren. Een huishouden verbruikt circa 200 kWh per jaar om elektrisch te koken. Zie hiervoor de paragraaf over elektrisch koken bij geothermie (paragraaf 3.1.2).

⁷⁸ Expertise Centrum Warmte (2020). Factsheet voor het maken van de transitievisie warmte en uitvoeringsplannen door gemeenten (Versie: 22 september 2020). Geraadpleegd op 20 januari 2023 via <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/>.

⁷⁹ Overigens beoogt DNVGL (Gersen e.a., 2020) dat er juist minder uitstoot van NOx zal zijn met 'hun' mitigerende maatregelen. De technologie die in de studie van Gersen e.a. (2020) wordt genoemd, wordt ook toegepast bij een project in Hoogeveen.

⁸⁰ 1 TWh staat gelijk aan 3.600.000 GJ.

Het verloren aantal gezonde levensjaren door luchtverontreiniging door meergebruik elektriciteit is dan:

$$\text{DALYs} = (\text{aantal aangesloten huishoudens} * (2,0 * 10^{-7} \text{ TWh per jaar} * 66\% \text{ fossiele-energie} * 40,8 \text{ DALYs})) + (\text{aantal aangesloten huishoudens} * (2,0 * 10^{-7} \text{ TWh per jaar} * 9\% \text{ biomassa-energie} * 20,7 \text{ DALYs})) + (\text{aantal aangesloten huishoudens} * (2,0 * 10^{-7} \text{ TWh per jaar} * 26\% \text{ overige hernieuwbare-energie} * 0 \text{ DALYs}))$$

Zelf in te vullen is dus **het aantal waterstofwoningen** dat wordt aangesloten.

3.2.4 Overzichtstabel aannames waterstof als warmtebron in woning

Risico	Uitgangspunt	Referentie
Brand- en explosiegevaar	Wij zien het risico op overlijden/ernstig letsel door het brand- en explosierisico als hetzelfde risico dat we gebruiken bij aardgas.	Dit is een eigen, grove aanname. Wij hebben geen bronnen die iets anders veronderstellen.
Luchtverontreiniging door verbranding waterstof	Wij sluiten aan de luchtverontreiniging door aardgas bij de productie van elektriciteit (zie hoofdstuk 2). Wij gaan uit van een gemiddeld huishouden dat 42 GJ aan 'warmte' nodig heeft (zie ook paragraaf 3.1).	Expertise Centrum Warmte (2020) en DNVGL (2020) geven aan dat de uitstoot van NOx min of meer hetzelfde of minder is dan bij de verbranding van aardgas in woningen.
Luchtverontreiniging door elektriciteitsproductie	Wij gaan in het mengpaneel uit van groene waterstof. Door het produceren van waterstof als energiedrager wordt hiermee <u>niet</u> bijgedragen aan de luchtverontreiniging. Wel zullen meer mensen nu elektrisch moeten koken. Hierdoor zal er meer elektriciteit worden gebruikt door de huishoudens met een waterstofaansluiting. Wij gebruiken hiervoor dezelfde uitgangspunten als bij geothermie (zie paragraaf 3.1).	Het uitgangspunt 'waterstof wordt alleen geproduceerd door groene energie' doen wij op basis van logica: het heeft geen zin (juist eerder averechts) om waterstof grijs te produceren aangezien er anders geen CO2-reductie en vermindering van aardgas zal zijn.

3.2: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor waterstofwoningen.

3.3 Vermindering gaswoningen

Het gevolg van het gebruik van waterstof in woningen en geothermie is dat het aantal gaswoningen verminderd.

In 2019 werd (nog steeds) 92% van de woningen verwarmd door aardgas.⁸¹ Er waren toen 7.924.691 huishoudens en 17.282.163 inwoners.⁸² Dit betekent dat er 15.899.590 inwoners zijn met een gasinstallatie en 7.290.716 huishoudens met een gasinstallatie.

Wij gaan uit van 2,2 personen per huishouden.

Een huishouden verbruikt gemiddeld 1.192 m³ gas per jaar.⁸³ Een klein deel hiervan is voor koken op gas. Dit komt neer, omgerekend, op 11.920 kWh per jaar per huishouden.⁸⁴

Wij zien drie risico's bij het gebruik van aardgas in woningen:

- Koolstofmonoxidevergiftiging.
- Explosie/brand.
- Luchtverontreiniging door verbranding voor warmte.

De transportrisico's achten wij minimaal en ongeveer hetzelfde als de transportrisico's bij geothermie en waterstofgas in woningen. Wij nemen de transportrisico's van aardgas in woningen daarom niet mee in deze vergelijking.

3.3.1 Koolstofmonoxidevergiftiging

Het is onduidelijk hoeveel slachtoffers er jaarlijks zijn door koolstofmonoxidevergiftiging:

- Volgens KIWA overlijden er jaarlijks 1-5 personen door koolstofmonoxidevergiftiging. De jaarrapportages (tussen 2017-2019) laten zien dat er gemiddeld 2 mensen per jaar overlijden door koolstofmonoxidevergiftiging in woningen/achter de meter. Er raken jaarlijks gemiddeld 75 personen zwaargewond door koolstofmonoxidevergiftiging en 44 lichtgewond.⁸⁵
- Volgens data van de OVV overlijden er jaarlijks 5 tot 10 personen door koolstofmonoxidevergiftiging. Tussen 2012 en 2014 overleden er gemiddeld 5,3 personen per jaar en werden er 132 personen naar het ziekenhuis vervoerd.⁸⁶

⁸¹ Zie hiervoor: CBS (2021). 92 procent woningen op aardgas begin 2019. Geraadpleegd op 20 januari 2023 via <https://www.cbs.nl/>.

⁸² Zie hiervoor: CBS (2022). Huishoudens; grootte, samenstelling, positie in het huishouden, 1 januari. Geraadpleegd op 20 januari 2023 via <https://opendata.cbs.nl/>.

⁸³ Zie hiervoor: PBL (2021). Lagere energierekening, effecten van lagere prijzen en energiebesparing. Geraadpleegd op 20 januari 2023 via <https://www.pbl.nl/>.

⁸⁴ Wij gaan uit van 10 kWh per m³ aardgas.

⁸⁵ Cijfers zijn op basis van de jaaroverzichten 2017, 2018 en 2019 van Kiwa (Rijpkema, 2018-2020).

⁸⁶ Onderzoekraad voor Veiligheid (2015).

- De OVV vermoedt dat het probleem 3 tot 5 keer zo groot is als nu wordt aangenomen, waardoor er dus 15 tot 50 dodelijke slachtoffers zouden zijn.⁸⁷

In deze berekeningen kijken wij naar de kans op overlijden en de kans op ernstig letsel. In het mengpaneel gaan wij conservatief uit van 5 dodelijke slachtoffers.

De kans op overlijden achten wij daarom als 5 doden/ 15.899.590 inwoners met een gasaansluiting (zie de inleiding van deze paragraaf) = $3,1 * 10^{-7}$.

Bij overlijden gaan wij uit van 40 DALYs. Statistiek over de leeftijd van overlijden door koolstofmonoxide ontbreekt zodat we van een gemiddelde Nederlander uitgaan.

Volgens KIWA zijn er jaarlijks 50-100 gevallen van ernstig letsel door koolstofmonoxidevergiftiging.⁸⁸ De jaarrapportages (tussen 2017-2019) laten zien dat er gemiddeld 75 mensen per jaar zwaargewond raken door koolstofmonoxidevergiftiging in woningen/achter de meter.⁸⁹

De kans op letsel achten wij $75 / 15.899.590$ inwoners met een gasaansluiting (zie de inleiding van deze paragraaf) = $4,7 * 10^{-6}$.

De WHO kent een disability weight van 0,163 toe aan 'poisoning'.⁹⁰ Wij nemen deze disability weight over en gaan er uit van de duur van een jaar (waarna de persoon weer volledig is hersteld).

Per gasaansluiting zullen er dan de volgende aantallen levensjaren verloren gaan door koolstofmonoxidevergiftiging:

- Overlijden: $3,1 * 10^{-7} * 40 \text{ DALYs} * 2,2 \text{ personen per huishouden} = 2,7 * 10^{-5}$ gezonde levensjaren.⁹¹
- Ernstig letsel: $4,7 * 10^{-6} * 0,163 \text{ DALYs} * 2,2 \text{ personen per huishouden} = 1,7 * 10^{-6}$ gezonde levensjaren.⁹²

⁸⁷ Onderzoekraad voor Veiligheid (2015).

⁸⁸ Cijfers zijn op basis van de jaaroverzichten 2017, 2018 en 2019 van Kiwa (Rijkema, 2018-2020). Wij gebruiken de rapportages van 217-2019 aangezien hier wel onderscheid wordt gemaakt tussen slachtoffers licht en zwaargewonden door vergiftiging (en dit niet is gedaan in de recentere rapportages).

⁸⁹ Opvallend is de dalende trend in de aantallen zwaargewonden tussen 2017 en 2019. Het huidige aantal zal naar verwachting dus iets lager liggen dan het gemiddelde.

⁹⁰ WHO (2020).

⁹¹ Dit is iets lager dan dat we op basis van de studie van het RIVM (2019, Klimaatakkoord: effecten op veiligheid, gezondheid en natuur) kunnen berekenen, namelijk $350 \text{ DALYs} / 7.290.716 \text{ gasinstallaties} = 4,8 * 10^{-5}$.

⁹² Dit is iets lager dan dat we op basis van de studie van het RIVM (2019, Klimaatakkoord: effecten op veiligheid, gezondheid en natuur) kunnen berekenen, namelijk $350 \text{ DALYs} / 7.290.716 \text{ gasinstallaties} = 4,8 * 10^{-5}$.

3.3.2 *Explosie en brand*

Het aantal slachtoffers als gevolg van niet-opzettelijke brand en/of explosie door gaslekkage is veel lager dan het aantal koolmonoxidevergiftigingen.⁹³ Volgens de jaarrapportages van KIWA overlijden er tussen 2017 en 2019 0,67 personen door een explosie door aardgas in woningen. Er raken jaarlijks gemiddeld 3,67 personen zwaargewond.

De individuele kans op overlijden zien wij dus als $0,67 / 15.899.590$ inwoners met een gasaansluiting (zie de inleiding van deze paragraaf) = $4,2 * 10^{-8}$.⁹⁴

Bij overlijden gaan wij uit van 40 DALYs.

De individuele kans op ernstig letsel zien wij dus als $3,67 / 15.899.590$ inwoners met een gasaansluiting (zie de inleiding van deze paragraaf) = $2,3 * 10^{-7}$.⁹⁵

Ingewikkelder is het bepalen van de disability weight. Wij sluiten aan bij de WHO en gaan uit van 'Burns of $\geq 20\%$ total surface area: short term, with or without treatment' (=0,314) voor het eerste jaar en 'Burns of $\geq 20\%$ total surface area or $\geq 10\%$ total surface area if head or neck, or hands or wrist involved: long term, with treatment' (=0,135) voor de resterende levensverwachting (40 jaar).⁹⁶

Per gasaansluiting zullen er dan:

Overlijden: $4,2 * 10^{-8} * 40$ DALYs * 2,2 personen per huishouden = $3,7 * 10^{-6}$ verloren gaan door explosie/brand.

Ernstig letsel: $2,3 * 10^{-7} * (0,314 + (0,135 * 40))$ DALYs * 2,2 personen per huishouden = $2,9 * 10^{-6}$ verloren gaan door explosie/brand.

3.3.3 *Luchtverontreiniging door verbranding voor warmte*

In hoofdstuk 2 hebben we laten zien dat er bij de verbranding van aardgas voor het opwekken van energie (elektriciteit) 16 gezonde levensjaren verloren gaan per TWh. Wij verwachten dat dit bij het gebruik van aardgas in woningen voor warmte hetzelfde zal zijn.

⁹³ Van der Ree e.a. (2019).

⁹⁴ Cijfers zijn op basis van de jaaroverzichten 2017, 2018 en 2019 van Kiwa (Rijpkema, 2018-2020). Wij gebruiken de rapportages van 217-2019 aangezien hier wel onderscheid wordt gemaakt tussen slachtoffers licht en zwaargewonden door vergiftiging (en dit niet is gedaan in de recentere rapportages).

⁹⁵ Cijfers zijn op basis van de jaaroverzichten 2017, 2018 en 2019 van Kiwa (Rijpkema, 2018-2020). Wij gebruiken de rapportages van 217-2019 aangezien hier wel onderscheid wordt gemaakt tussen slachtoffers licht en zwaargewonden door vergiftiging (en dit niet is gedaan in de recentere rapportages).

⁹⁶ WHO (2020).

Een huishouden gebruikt ongeveer $1,2 * 10^{-5}$ TWh per jaar (zie de inleiding van deze paragraaf). Door luchtverontreiniging zullen er per huishouden met een gasaansluiting dus jaarlijks $2 * 10^{-4}$ gezonde levensjaren verloren gaan.

Vanzelfsprekend hoeft er voor de vermindering van aardgaswoningen geen parameter te worden ingevuld aangezien dit automatisch volgt uit de opbrengst van de hierboven genoemde technologieën.

3.3.4 Overzichtstabel aannames vermindering aardgaswoning

Risico	Uitgangspunt	Referentie
Algemene gegevens	Wij gaan uit van circa 7,3 miljoen huishoudens met een gasaansluiting, 15,9 inwoners met een gasinstallatie en 2,2 personen per huishouden.	Dat verkregen via CBS (2021; 2022).
Koolstofmonoxidevergiftiging	Wij gaan uit van 5 dodelijke slachtoffers en 75 zwaargewonden per jaar. Bij zwaargewonden gaan wij ervan uit dat deze binnen een jaar volledig hersteld.	Ongevallenstatistiek hebben wij verkregen via de jaarrapportages van KIWA (2017-2019). De aanname over het volledig herstellen binnen een jaar (de duur van de aandoening in de YLD formule) is een eigen, grove aanname.
Brand- en explosiegevaar	Wij gaan uit van 0,67 dodelijke slachtoffers en 3,67 zwaargewonden per jaar. Wij gebruiken als disability weight de waarde die de WHO toekent aan 'Burns of $\geq 20\%$ total surface area'. De aanname is dat de aandoening wel behandeld wordt maar dat deze aandoening wel blijvend is (Disability weight = long term, with treatment').	Ongevallenstatistiek hebben wij verkregen via de jaarrapportages van KIWA (2017-2019). De disability weight nemen wij over van WHO (2021).
Luchtverontreiniging door verbranding voor warmte	Wij sluiten aan de luchtverontreiniging door aardgas bij de productie van elektriciteit (zie hoofdstuk 2). Een gemiddeld huishouden gebruikt 1192 m^3 aardgas (circa 11920 kWh).	Dit is een eigen, grove aanname. Het gemiddeld aardgas verbruik hebben wij via PBL (2021).

3.3: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor gaswoningen.

4. Energieopslagsystemen

In dit hoofdstuk kijken we de meer- en minder risico's die verbonden zijn met lokale energieopslagsystemen.

4.1 Buurtbatterij

Een buurtbatterij is een opslagsysteem voor groene energie. Het is een relatief nieuwe toepassing. In Nederland werd in 2012 de eerste buurtbatterij geïnstalleerd. Het is onbekend hoeveel buurtbatterijen er al actief zijn. De brandweer maakt zich zorgen over een wildgroei van buurtbatterijen.⁹⁷

De risico's van een buurtbatterij voor de omgeving zijn:

- Explosiegevaar.
- Brandgevaar en giftige rook (bovendien: moeilijk(er) te blussen).⁹⁸

4.1.1 Risico-inschatting buurtbatterij

Door de (juiste) maatregelen te treffen, zoals bijvoorbeeld in de *circulaire risicobeheersing lithium-ion energiedragers* staan vermeld, kunnen de risico's tot een minimum beperkt worden. Wij beschouwen de toepassing van buurtbatterijen daarom hetzelfde als andere industriële (bouw)werken. Er is nog geen 'harde' kwantitatieve berekening mogelijk.

Vergelijk elektrische en auto's op fossiele brandstoffen

Slechts ter illustratie: een vergelijking met beschikbare data over autobranden laat zien dat elektrische auto's minder snel exploderen/ontbranden. In 2021 waren er 526.540 elektrische auto's (inclusief hybride auto's) en 8.267.052 conventionele auto's (inclusief zo'n 120.000 auto's op LPG).⁹⁹ Van 4.753 autobranden waren er 'slechts' 55 (1,2%) bij elektrische auto's.¹⁰⁰ De kans op brand is dan ongeveer 10^{-4} per jaar per auto. Ter vergelijking: de kans op brand bij een conventionele auto is 5 maal groter.

Een eerste inschatting laat zien dat het risico inderdaad minimaal is. In de rapportage zullen wij uitgaan van een verwaarloosbaar risico.

⁹⁷ Zie hiervoor: EenVandaag (2018). Brandweer bezorgd over wildgroei buurtbatterij. Geraadpleegd op 23 januari 2023 via <https://eenvandaag.avrotros.nl/>.

⁹⁸ Zie hiervoor: Instituut Fysieke Veiligheid (2022). *Kennisbundel Elektrificatie*. Arnhem: IFV.

⁹⁹ Zie hiervoor: CBS (2022). Personenauto's; voertuigkenmerken, regio's, 1 januari, 2000-2022. Geraadpleegd op 23 januari 2023 via <https://opendata.cbs.nl/>.

¹⁰⁰ Zie hiervoor: Trouw (2022). Elektrische auto's blijken relatief veel minder in brand te vliegen. Geraadpleegd op 23 januari 2023 via <https://www.trouw.nl/>.

Casus Drogenbos: verwaarloosbaar risico?

In 2017 is er in Drogenbos (België) een buurtbatterij ontbrand.¹⁰¹ Dit is het enige incident met een buurtbatterij dat wij kennen. De effecten waren op een straal van 5 kilometer te merken en er zijn 40 personen met ademhalingsproblemen opgenomen in het ziekenhuis. Er is niemand overleden.

Grofweg kunnen we daarom stellen dat:

- De kans op een ziekenhuisopname 40 (slachtoffers) / (379,6 (bevolkingsdichtheid per km² in België) * 5 (staal) * 5 (staal) * 3,14 (pi)) oppervlakte effectgebied) = 0,001 per jaar is na ontbranding van een buurtbatterij.
- Er worden jaarlijks ongeveer 6.000 mensen opgenomen door accidentele vergiftiging. Er overlijden ongeveer 200 mensen. De kans op overlijden na ziekenhuisopname is dan ongeveer 0,03.¹⁰²
- Het is onbekend hoeveel buurtbatterijen er in Nederland en België zijn. In Nederland kwamen de eerste buurtbatterijen in 2012. Wanneer we ervan uitgaan dat er de afgelopen 10 jaar gemiddeld zo'n 100 buurtbatterijen actief waren in Nederland en België, zal de kans op ontbranding (maximaal) 0,001 per jaar zijn. Dit is, gezien de maatregelen die getroffen worden en het brandrisico in elektrische auto's, waarschijnlijk erg conservatief.
- Het individueel risico is dan $0,001 * 0,03 * 0,001 = 3 * 10^{-8}$ per jaar.

De gezondheidswinst van buurtbatterijen is dat groene energie tijdelijk kan worden opgeslagen en dat er daarom op een later moment, als de zon niet schijnt, toch gebruik gemaakt kan worden van groene energie (waardoor er dus geen/minder grijze energie nodig is). Er zijn dan twee factoren van belang:

- Het vermogen/de capaciteit van de buurtbatterij.
- Hoe vaak de (volledige) capaciteit wordt benut.

Het vermogen/de capaciteit van de buurtbatterij zal per buurtbatterij verschillen en is dus de parameter die zelf ingevuld moet worden.

Hoe vaak de capaciteit benut zal worden, is nog lastig te bepalen. Pas wanneer er een overschot aan zonne-energie op piekmomenten is, zodat de zonnepanelen niet meer op vol vermogen kunnen werken, kan het bijdragen aan het terugdringen van het opwekken van elektriciteit door fossiele bronnen en daarmee aan het beperken van de (lokale) gezondheidseffecten door luchtverontreiniging.

Volgens het KNMI zijn er tegenwoordig jaarlijks zo'n 50 mooi-weerdagen. Dat is een dag met veel zon (minstens 50 procent van de tijd dat ze kan schijnen), weinig of geen neerslag (in 24 uur hooguit 0,2 millimeter) en een bovennormale temperatuur.¹⁰³ Als

¹⁰¹ Zie hiervoor: EenVandaag (2018). Brandweer bezorgd over wildgroei buurtbatterij. Geraadpleegd op 23 januari 2023 via <https://eenvandaag.avrotros.nl/>.

¹⁰² Een vergelijking tussen de statistiek van het CBS (2022). 'Overledenen; belangrijke doodsoorzaken (korte lijst)' en CBS (2022). 'Ziekenhuisopnamen en -patiënten; diagnose-indeling VTV'. Beide geraadpleegd op 23 januari 2023 via <https://opendata.cbs.nl/>.

¹⁰³ Zie hiervoor: KNMI (z.d.). Mooi-weerdagen. Geraadpleegd op 23 januari 2023 via <https://www.knmi.nl/>.

we ervan uitgaan dat alleen op die dagen de buurtbatterij volledig wordt opgeladen zodat deze later kan worden benut, zal de opbrengst dus zijn:

50 dagen * het vermogen van de buurtbatterij (in MWh) = opbrengst in MWh.

In bijlage 1 en hoofdstuk 2 hebben we laten zien door het gebruik van fossiele brandstoffen bij de productie van elektriciteit 41 gezonde levensjaren per TWh verloren gaan. Dit zijn $4,1 * 10^{-5}$ DALYs per MWh. De energie die wordt opgeslagen in een buurtbatterij hoeft niet te worden opgewekt met fossiele brandstoffen. De gezondheidswinst is dan:

Gewonnen gezonde levensjaren (DALYs) door luchtverontreiniging = $4,1 * 10^{-5}$ DALYs * opbrengst van de buurtbatterij in MWh.

4.1.2 Overzichtstabel aannames buurtbatterij als energieopslagsysteem

Risico	Uitgangspunt	Referentie / uitleg
Explosie- en brandrisico (gevaarlijke stoffen)	Wij gaan uit van een nihil en niet te kwantificeren risico.	Er is nog geen voldoende grote dataset waarmee het risico te kwantificeren is. Een eerste, grove inschatting suggereert zien dat het risico (nagenoeg) verwaarloosbaar is.
Verwachte opbrengst	Wij sluiten aan bij het gemiddeld aantal mooi-weerdagen volgens het KNMI.	Wij hebben geen data die aangeeft hoe vaak de buurtbatterij optimaal gebruikt wordt. Door aan te sluiten bij het aantal mooi-weerdagen hopen we toch een inschatting te maken. Dit is een eigen, grove schatting.

4.1: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor buurtbatterijen.

4.2 Waterstoftankstation

Een andere manier om groene energie op te slaan is door gebruik te maken van waterstof. Wij hebben waterstof in woningen al besproken in hoofdstuk 3.

Op verschillende plekken in Nederland staan, of zijn ze bezig met, waterstoftankstations. Het is nog geen breed toegepast instrument, en dat betekent dat er ook nog weinig auto's zijn die gebruik maken van waterstof als brandstof voor vervoer.

Wij zien grofweg twee risico's:

- Een fysiek veiligheidsrisico (inclusief transport).
- Een gezondheidsrisico door verbranding van waterstof als brandstof.

4.2.1 Fysiek veiligheidsrisico

Waterstoftankstations vallen, net als reguliere tankstations, onder het BEVI. Dit betekent dat er geen kwetsbare gebouwen mogen zijn binnen de PR10⁻⁶ contour (maar wel beperkt kwetsbare gebouwen). De PR10⁻⁶ contour is afhankelijk van de wijze van transport: via 1) een pijpleiding/lokaal geproduceerd, via 2) een tube-trailer of via 3) een tankwagen.¹⁰⁴ Voor de laatste twee uitvoeringen geldt dat er ook rekening moet worden gehouden met de weg-kilometers die de trailers/tankwagens rijden.

De PR-contouren staan hieronder weergegeven:

Uitvoeringstype	Afstand tot PR10 ⁻⁶ (m)	Afstand tot PR10 ⁻⁷ (m)	Afstand tot PR10 ⁻⁸ (m)
Aanvoer gasvormig waterstof via pijpleiding	30	35	35
Aanvoer gasvormig waterstof via tube-trailer	35	55	55
Aanvoer vloeibaar waterstof via tankwagen	30	95	130

4.2: PR-contouren per waterstof-transporttype.

Het is hiermee afhankelijk welke transportvorm er gekozen wordt.

Om het risico te bepalen willen wij dit op dezelfde manier doen als we in hoofdstuk 2 hebben gedaan voor windturbines: we kijken naar het aantal personen dat binnen een bepaalde veiligheidscontour woont en/of de veiligheidscontour passeert. We gebruiken dezelfde parameters als we voor windturbines en biomassacentrales gebruikt hebben:

Kans op overlijden per individu binnen de 10⁻⁶-contour:

- Faalkans: $5 * 10^{-6}$.
- Blootstellingskans omwonende: 0,5.
- Blootstellingskans passant: $1,9 * 10^{-6}$ per passage.
- Overlijdenskans omwonende: 0,07.
- Overlijdenskans passant: 1.

Voor een toelichting op deze parameters verwijzen wij naar hoofdstuk 2.

In deze situatie kijken we ook naar de veiligheidscontour PR10⁻⁷ aangezien deze, in tegenstelling tot bij windturbines, aanzienlijk veel groter is dan de PR10⁻⁶ contour. De faalkans is in deze situatie $5 * 10^{-7}$. De overige parameters blijven hetzelfde.

¹⁰⁴ Stam (2016).

De parameters die zelf moeten worden ingevuld zijn **het aantal omwonenden** en **het aantal passanten** binnen de betreffende contouren.

Verkeersonveiligheid

Naast het 'explosierisico' is er ook het transportrisico voor trailers en/of tankwagens. Een trailer vervoert 300 kg waterstof per keer. Een tankwagen vervoert 1.000 kg waterstof per keer.¹⁰⁵

Wanneer waterstof ter plekke wordt geproduceerd met een electrolyzer is er vanzelfsprekend geen transportrisico.

Een auto tankt per tankbeurt zo'n 5 kg waterstof, waarmee deze ongeveer 500 kilometer kan rijden.¹⁰⁶ Bij een gelijk gebruik (een gemiddelde automobilist rijdt 13.000 kilometer), zal een automobilist 26 keer per jaar, en dus 130 kg in totaal, waterstof moeten tanken.

Per tankbeurt is er dus 0,005 tankwagens of 0,017 trailer nodig, waarmee een auto vervolgens 500 km kan rijden.

In het mengpaneel kijken we alleen naar het gebruik van waterstof in personenauto's (en dus niet in bussen of vrachtwagens) zodat we deze met benzineauto's kunnen vergelijken.

In hoofdstuk 2, paragraaf 2.3, hebben we gekeken naar het transportrisico bij biomassa waarbij (ook) gebruik wordt gemaakt van wegverkeer. Wij hanteren dezelfde parameters, d.w.z.:

- Kans op overlijden: $9,9 \cdot 10^{-9}$ per km * 40 DALYs.
- Kans op ernstig letsel: $3,3 \cdot 10^{-7}$ per km * (0,201 + (24,9% * 0,197 * 40)) DALYs.

Het transportrisico is daarmee afhankelijk van de locatie waar de waterstof wordt geproduceerd en welk vervoersmiddel er ingezet wordt. Er zullen twee parameters moeten worden ingevuld:

- Het **aantal kilometer dat een tankwagen of tubetrailer** moet rijden om bij het tankstation te komen (dus: waar wordt de waterstof vandaan gehaald?). In het mengpaneel wordt dit zelf verdubbeld waardoor ook de terugreis ook is verwerkt in het mengpaneel.
- Het verwachte **aantal tankbeurten per dag** bij het tankstation.¹⁰⁷

¹⁰⁵ Stam (2016).

¹⁰⁶ Zie hiervoor: Milieu Centraal (z.d.). Waterstofauto. Geraadpleegd op 23 januari 2023 via <https://www.milieucentraal.nl/>.

¹⁰⁷ Dit kan ook berekend worden door het aantal te verwachten waterstofauto's in de omgeving te vermenigvuldigen met 26 (gemiddeld aantal tankbeurten per jaar) en te delen door 365.

Wij gaan er dus van uit dat waterstof op een vaste plaats wordt geproduceerd waarvoor bekend is waarvandaan de tankwagen of trailer moet komen. Dit in tegenstelling tot biomassa waarbij wij wel uit zijn gegaan van een variëteit aan locaties en dus zelf een afschatting hebben gegeven.

Formule:

DALYs per jaar tankwagen: $(9,9 \cdot 10^{-9} \cdot 40) + (3,3 \cdot 10^{-7} \text{ per km} \cdot (0,201 + (0,249 \cdot 0,197 \cdot 40))) \cdot \text{aantal (weg)kilometer tot locatie waterstofproductie (zelf invullen)} \cdot 0,005 \cdot \text{verwacht aantal tankbeurten per dag (zelf invullen)} \cdot 365$.

DALYs per jaar trailer: $(9,9 \cdot 10^{-9} \cdot 40) + (3,3 \cdot 10^{-7} \text{ per km} \cdot (0,201 + (0,249 \cdot 0,197 \cdot 40))) \cdot \text{aantal (weg)kilometer tot locatie waterstofproductie (zelf invullen)} \cdot 0,017 \cdot \text{verwacht aantal tankbeurten per dag (zelf invullen)} \cdot 365$.

Het aantal kilometer tot de locatie van de waterstofproductie kan ook 0 zijn als dit lokaal wordt geproduceerd of er gebruik wordt gemaakt van leidingen.

4.2.2 Gezondheidsverlies door productie

Wij gaan uit van groene waterstof dat wordt geproduceerd door hernieuwbare bronnen en dat dit niet wordt onttrokken uit het energienet. Zie paragraaf 3.2 voor de toelichting.

4.2.3 Gezondheidsverlies door luchtverontreiniging door NOx

Wij verwachten dat er, net als bij waterstofwoningen, ook bij waterstofauto's nog uitstoot zal zijn van NOx. Een waterstofauto zal naar verwachting per tankbeurt zo'n 5 kg en jaarlijks zo'n 130 kg waterstof gebruiken. Dit komt neer op ongeveer $5 \text{ kg} \cdot 33,3 \text{ KWh}$ (de energetische inhoud in KWh van 1 kg waterstofgas¹⁰⁸) = 167 KWh per tankbeurt.

Hoofdstuk 2 en bijlage 1 laten zien dat er bij het gebruik van aardgas voor het opwekken van elektriciteit ongeveer 16 gezonde levensjaren per TWh verloren gaan. Wij verwachten dat dit bij de verbranding van waterstof in auto's min of meer hetzelfde zal zijn. Zie paragraaf 3.2 voor de toelichting.

In het mengpaneel gaan wij uit van 16 DALYs per TWh door luchtverontreiniging door het gebruik van waterstof in auto's. Per tankbeurt per waterstofauto (dus 167 KWh) gaan er $2,3 \cdot 10^{-6}$ DALYs verloren door luchtverontreiniging door uitstoot van NOx tijdens het rijden.

¹⁰⁸ Zie hiervoor: H2 Platform (2016). Hoe groot moet de waterstoftank in de auto zijn?. Geraadpleegd op 23 januari 2023 via <https://opwegmetwaterstof.nl/>.

Formule: DALYs per jaar = (**verwacht aantal tankbeurten per dag** (zelf invullen) * 365 * (1,7*10⁻⁷ TWh per jaar * 16 DALYs))

4.2.4 Overzichtstabel aannames waterstof als brandstof voor personenauto's

Risico	Uitgangspunt	Referentie / uitleg
Externe veiligheid waterstoftankstation (omwonenden)	Wij sluiten aan bij de parameters die wij ook voor windturbines en biomassa (externe veiligheid) gebruiken.	Wij berekenen het risico voor waterstoftankstations op eenzelfde wijze als windturbine en biomassa. Dit is een grove inschatting. De blootstellingsfactor is dus 0,5 (helpt van de tijd aanwezig) en de beschermingsfactor is 0,07 (huis biedt een zekere mate van bescherming).
Transportrisico (over de weg)	Wij gebruiken dezelfde parameters als we bij het vervoer van biomassa hebben gedaan (kans op overlijden en letsel). Wij gaan uit van auto's die per keer 5 kg waterstof tanken en van trailers die 300 kg vervoeren en van tankwagens die 1000 kg vervoeren.	Wij gaan uit van trailers/vrachtwagens die hetzelfde risico hebben als bij biomassa (zie paragraaf 2.3). Wij sluiten aan bij de memo van het RIVM (2016).
Gezondheidsverlies door productie	Wij gaan uit van groene waterstof waardoor er geen gezonde levensjaren verloren gaan bij de productie van waterstof. Dit is hetzelfde uitgangspunt als bij waterstof in woningen (zie paragraaf 3.2).	Zie paragraaf 3.2.
Gezondheidsverlies door gebruik waterstof	Wij sluiten aan bij het verlies aan gezonde levensjaren door het verbranden van aardgas voor het opwekken van elektriciteit, net als we bij waterstofwoningen hebben gedaan (zie paragraaf 3.2). Wij gaan uit van auto's die per keer 5 kg waterstof tanken en dat waterstof een energetische inhoud heeft van 33,3 per kWh.	Zie paragraaf 3.2. Voor de benodigde waterstof en energie sluiten wij aan bij het RIVM (2016) en het H2 Platform (2016).

4.3: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor waterstoftankstation.

4.3 Auto's als opslag met de huidige elektriciteitsmix

Naast waterstofauto's kunnen ook elektrische auto's als lokaal 'energieopslagsysteem' dienen.

Wat betreft een elektrisch laadstation zien wij geen veiligheidsrisico's: er is geen explosiegevaar en er zijn geen transportbewegingen voor de brandstofaanvoer.

4.3.1 Risico-inschatting

Bijlage 1 laat zien dat het opwekken van elektriciteit door biomassa en fossiele brandstoffen zorgt voor luchtverontreiniging en verloren gezonde levensjaren.¹⁰⁹ Een elektrische auto zal ongeveer 15 KWh nodig hebben om 100 kilometer te rijden.¹¹⁰ Op jaarbasis, met gemiddeld 13.000 kilometer, zal er dus 1.950 KWh moeten worden geproduceerd.

We gaan uit van een accucapaciteit van 40 KWh per elektrische auto en dat deze tijdens het (snel)laden voor 80% wordt opgeladen.¹¹¹ Per laadbeurt zal er dan 32 KWh moeten worden geproduceerd. Hiermee kan de automobilist 213 kilometer rijden.

De elektriciteit voor deze auto's zal uit het net worden onttrokken waardoor slechts een deel van de energie groen is (en dus geen/minder luchtverontreiniging veroorzaakt). De huidige elektriciteitsproductieverdeling is grofweg (zie hiervoor paragraaf 3.1):

- Fossiele-energie = 66%.
- Biomassa-energie = 9%.
- Overige hernieuwbare-energie = 26%.

In de voorgaande hoofdstukken hebben we laten zien dat het gezondheidsrisico per TWh voor fossiele brandstoffen 41 DALYs is en voor biomassa 21 DALYs is.

Er zullen dan per automobilist per laadbeurt:

- Fossiele-energie = $66\% * 3,2 * 10^{-8} \text{ TWh} * 41 \text{ DALYs} = 8,6 * 10^{-7} \text{ DALYs}$.
- Biomassa-energie = $9\% * 3,2 * 10^{-8} \text{ TWh} * 21 \text{ DALYs} = 5,7 * 10^{-8} \text{ DALYs}$.
- Overige groene energie = $26\% * 3,2 * 10^{-8} \text{ TWh} * 0 \text{ DALYs} = 0 \text{ DALYs}$.

= $9,1 * 10^{-7}$ gezonde levensjaren verloren gaan.

¹⁰⁹ In tegenstelling tot waterstof kijken wij hier dus wel naar de luchtverontreiniging door productie aan- gezien dit geen vervangende brandstof is (en het dus in dit geval niet *onlogisch* zou zijn om energie uit het net te onttrekken). In dit geval zullen elektrische auto's dus ook op 'grijze energie' kunnen rijden. Voor een uitgebreidere toelichting, zie paragraaf 3.1 en 3.2.

¹¹⁰ Het aantal KWh per kilometer verschilt per auto. Wij hebben hierdoor een ruwe schatting gemaakt.

¹¹¹ Ook dit uitgangspunt is gebaseerd op een ruwe schatting.

De totale gezondheidsschade is afhankelijk van het aantal laadbeurten.

Formule:

DALYs = **verwacht aantal laadbeurten per dag** (zelf invullen) * 365 dagen per jaar * $9,1 \cdot 10^{-7}$ DALYs per elektrische auto.

4.3.2 Overzichtstabel aannames elektrische auto's

Risico	Uitgangspunt	Referentie / uitleg
Algemene gegevens	<p>Wij gaan uit van een elektrische auto die 15 KWh per 100 km gebruikt en een accucapaciteit heeft van 40 KWh.</p> <p>Wij gaan uit van snelladers die voor 80% opladen. Een auto kan hiermee 213 km rijden.</p>	Deze uitgangspunten zijn gebaseerd op een eigen, grove schatting.
Luchtverontreiniging	Wij gaan uit van de elektriciteitsverdeling (grijs, biomassa en hernieuwbaar) zoals die in 2021 gold. Alleen grijze energie en biomassa zorgen voor luchtverontreiniging (zie paragraaf 3.1 voor een toelichting).	Zie paragraaf 3.1 voor een toelichting.

4.4: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor elektrische (snel)laadstations.

4.4 Vermindering benzineauto's

Om het risico in perspectief te plaatsen, vergelijken wij het risico van een laadstation en waterstof-tankstation met een tankstation voor benzineauto's. Benzine is verreweg de meest toegepaste brandstof voor personenauto's in Nederland (80% van de personenauto's in Nederland rijdt op benzine).¹¹²

Voor benzineauto's geldt dat deze 1) meer geluid maken dan waterstof- of elektrische auto's, 2) dat deze zorgen voor luchtverontreiniging door de verbrandingsmotor en 3) dat deze in tegenstelling tot elektrische auto's (maar in overeenstemming met waterstofauto's) wel een transportrisico kennen.¹¹³

¹¹² Zie hiervoor CBS (2022). Personenauto's; voertuigkenmerken, regio's, 1 januari, 2000-2022. Geraadpleegd op 23 januari 2023 via <https://opendata.cbs.nl/>.

¹¹³ Zie hiervoor Milieu Centraal (z.d.). Waterstofauto. Geraadpleegd op 23 januari 2023 via <https://www.milieucentraal.nl/>.

In het mengpaneel gaan wij uit van een ‘standaard-benzineauto’ die 1 op 20 rijdt, een tankinhoud van 30 liter heeft en 13.000 kilometer per jaar rijdt.¹¹⁴ Een automobilist zou in dat geval 21,7 keer per jaar moeten tanken, en per keer kan de auto 600 kilometer rijden.

Om het te vergelijken met waterstofauto’s en elektrische auto’s zullen we echter niet naar het aantal tankbeurten moeten kijken maar naar het aantal kilometers dat gereden wordt (aangezien een benzineauto (veel) minder vaak hoeft te tanken).

4.4.1 Geluid

Vooral in binnenstedelijk gebied is er bij elektrische auto’s sprake van een geluidsreductie. Bij snelheden boven 50 kilometer per uur maken elektrische en hybride wagens evenveel lawaai als conventionele wagens. Een volledig wagenpark met elektromotoren kan in een stedelijke omgeving 3 tot 4 decibel minder geluid veroorzaken ten opzichte van de huidige situatie.¹¹⁵

In het mengpaneel gaan wij conservatief uit van een geluidsreductie van 3 dB in stedelijk gebied bij een volledig wagenpark met elektromotoren.

In Nederland woonde in 2022 49% van de bewoners in (zeer) sterk stedelijk gebied.¹¹⁶ Alleen voor deze personen zal een toename van elektrische auto’s leiden tot een geluidsreductie. Dit zijn 8,7 miljoen inwoners.

Ingewikkelder is het bepalen van het aantal personen dat gehinderd wordt door geluid. Gemeenten moeten elke vijf jaar een geluidsbelastingkaart opstellen. In de grote vier gemeenten worden 43% (Amsterdam¹¹⁷ en Den Haag¹¹⁸), 49% (Rotterdam¹¹⁹) en 54% (Utrecht¹²⁰) van de inwoners blootgesteld aan wegverkeersgeluid van meer dan 54 dB. In de rapportage zullen we uitgaan dat circa 50% van de inwoners in (zeer) stedelijk gebied wordt blootgesteld aan geluid van meer dan 54 dB. Dit zijn ongeveer 4,4 miljoen inwoners en circa 25% van alle Nederlanders.

De gemeente Utrecht en Den Haag laten daarnaast zien dat het percentage inwoners dat in de nacht wordt blootgesteld aan verkeerslawaai van meer dan 50 dB minder is: ‘slechts’ 31% en 29% worden blootgesteld aan verkeerslawaai van meer dan 50 dB in de nacht. We gaan ervan uit dat gemiddeld 30% van de personen in binnenstedelijk gebied in de nacht geluidshinder ervaart door wegverkeer (d.w.z. meer dan 50 dB). In

¹¹⁴ De parameters zijn gebaseerd op een eigen, grove schatting.

¹¹⁵ Verheijen & Jabben (2010).

¹¹⁶ Zie hiervoor: CBS (2022). Regionale kerncijfers Nederland. Geraadpleegd op 23 januari 2023 via <https://opendata.cbs.nl/>.

¹¹⁷ Gemeente Amsterdam (2020).

¹¹⁸ dBVision (2017).

¹¹⁹ Gemeente Rotterdam (2019).

¹²⁰ Zie hiervoor: Gemeente Utrecht (n.b). Geluid in kaart. Geraadpleegd op 23 januari 2023 via <https://www.utrecht.nl/>.

totaal zullen er dus 2,6 miljoen mensen in meer of mindere mate geluidshinder ervaren binnen stedelijk gebied. Dit is 15% van alle Nederlanders.

Wegverkeergeluid kan leiden tot een verlies aan gezonde levensjaren door:

- Als ernstig ervaren geluidshinder.
- Een toename van coronaire hartziekten.
- Ernstige slaapverstoring.¹²¹

De WHO laat in een studie zien dat de kans op ernstig ervaren hinder vanaf 55 dB tot 60 dB ongeveer met $0,0082 = 8 * 10^{-3}$ per dB toeneemt.¹²² Wij hebben deze categorie gekozen omdat een groot deel van de gehinderden in deze categorie valt. De *disability weight* die zij hieraan geven is 0,02. Met 4,4 miljoen personen in stedelijk gebied, en een geluidsreductie van 3 dB, zullen er door een volledig geëlektrificeerd wagenpark circa 2.100 DALYs gewonnen worden.

In dezelfde studie laat de WHO zien dat de RR (relative risk) per 10 dB met 1,08 toeneemt bij 'incidence of cardiovascular disease' (vanaf 53 dB). Wij gaan ervan uit dat dit dus 1,008 per dB. In Nederland zijn naar schatting 786.600 personen met 'coronaire hartziekten'.¹²³ Dit is 5% van de bevolking. Wij zien de kans op cardiovascular disease door een toename van geluid dus als $0,05 * 0,008 = 0,00036 = 4 * 10^{-4}$ per dB. De *disability weight* die de WHO hieraan geeft is 0,405.¹²⁴ Met 4,3 miljoen personen in stedelijk gebied, en een geluidsreductie van 3 dB, zullen er door een volledig geëlektrificeerd wagenpark circa 1.900 DALYs gewonnen worden.

Aangezien het hier om de relatieve toename c.q. aandeel in de populatie gaat (RR) en niet om de daadwerkelijke toename per dB houden we geen rekening met de duur van de aandoening (hartziekten) zoals wij bijvoorbeeld bij luchtverontreiniging en verkeersslachtoffers wel hebben gedaan (waarbij we hebben gekeken naar het aantal toegenomen cases/slachtoffers en niet als onderdeel van een populatie). Merk wel op dat een reductie van verloren levensjaren door vermindering van verkeersgeluid door hartziekten geleidelijk zal gaan aangezien de klachten (veelal) chronisch zullen zijn: wij gaan ervan uit dat het effect pas na 7,5 jaar bereikt zal zijn aangezien personen vaak pas na 65 jaar deze klachten krijgen en gemiddeld 80 jaar worden. Maar nogmaals: dit is geen factor waar we in dit mengpaneel rekening mee houden.

Tot slot laat de WHO ook zien dat de kans op ernstige slaaphinder vanaf 50 dB tot 55 dB ongeveer met $0,0036 = 4 * 10^{-3}$ per dB toeneemt.¹²⁵ De *disability weight* die zij hieraan geven is 0,07. Met 2,6 miljoen personen in stedelijk gebied, en een geluidsreductie

¹²¹ WHO (2018).

¹²² WHO (2018). Wij hebben het percentage ernstig gehinderden bij 55 dB en 60 dB met elkaar vergeleken en het verschil gedeeld door 5.

¹²³ Zie hiervoor: VZinfo.nl (z.d.). Coronaire hartziekten | Leeftijd en geslacht. Geraadpleegd op 24 januari 2023 via <https://www.vzinfo.nl/>.

¹²⁴ WHO (2018).

¹²⁵ WHO (2018). Wij hebben het percentage met ernstige slaaphinder bij 50 dB en 55 dB met elkaar vergeleken en het verschil gedeeld door 5.

van 3 dB, zullen er door een volledig geëlektrificeerd wagenpark circa 2.000 DALYs gewonnen worden.

Wij gaan uit van de groepen (ernstige hinder: 55-60 dB en slaapverstoring: 50-55 dB) net boven de advieswaarde waardoor we het minimale effect inschatten (bij een hogere geluidsbelasting zullen relatief meer mensen hinder ervaren). Het is daarmee een conservatieve inschatting in het mengpaneel.

Het uitgangspunt is dat het aantal gehinderden dus (per stapjes van 5 of 10 dB) lineair verloopt.

In totaal zullen er dus $2.100 + 1.900 + 2.000 = 6.000$ DALYs gewonnen kunnen worden bij een volledig geëlektrificeerd wagenpark.¹²⁶ Er zijn in Nederland in 2022 10,7 miljoen wegvoertuigen (exclusief aanhangwagens en opleggers).¹²⁷ Per waterstof- of elektrische auto kunnen er dus $6.000 \text{ DALYs} / 10,7 \text{ miljoen motorvoertuigen} = 0,0003 = 3 * 10^{-4}$ DALYs gewonnen worden. We gaan er hierbij dus vanuit dat alle (elektrische) auto's een gelijk deel in stedelijk gebied rijden.

In de inleiding van deze paragraaf hebben we laten zien dat we uitgaan van een benzineauto die 13.000 kilometer rijdt. Per kilometer met een benzineauto gaan er dus $3 * 10^{-4} / 13.000 = 4,3 * 10^{-8}$ gezonde levensjaren verloren (t.o.v. waterstof- en elektrische auto's).

Per tankbeurt van een waterstofauto (500 kilometer) worden er dus $2,2 * 10^{-5}$ DALYs gewonnen. Per tank-/laadbeurt van een elektrische auto (213 kilometer) worden er dus $9,2 * 10^{-6}$ DALYs gewonnen.

4.4.2 *Luchtverontreiniging door verbrandingsmotor*

Door het toepassen van waterstof of elektriciteit als brandstof voor auto's zal er ook een gezondheidswinst ontstaan: er is minder luchtverontreiniging door uitstoot van fijn stof, zwaveldioxide en stikstofdioxiden.

Voor fijn stof weten we inmiddels dat het grootste deel komt door slijtage van banden en remmen waardoor het verschil minimaal zal zijn. Wij gaan er daarom van uit dat het gezondheidseffect door minder uitstoot van fijn stof (door het toepassen van waterstof of elektriciteit) nihil zal zijn. Daarnaast gaan we uit van moderne auto's zonder SO₂ emissies.

¹²⁶ Het RIVM (Van der Ree, e.a. 2019) gaat uit van een gezondheidswinst van 5.000 tot 7.000 DALYs bij een volledig geëlektrificeerd wagenpark, een reductie van het aantal kilometers en zuiniger rijden. Onze bevindingen lijken daarmee redelijk in lijn met die van het RIVM.

¹²⁷ Zie hiervoor: CBS (2022). Motorvoertuigenpark; type, leeftijdsklasse, 1 januari, 2000-2022. Geraadpleegd op 23 januari 2023 via <https://opendata.cbs.nl/>. Hieronder vallen ook de al elektrische auto's. Dit is echter een (zeer) klein deel. Aangezien ruim 95% van de personenauto's nog steeds wordt aangedreven middels fossiele brandstoffen, kijken we nu naar het volledige wagenpark.

Stikstofdioxiden (NO_x) zorgt daarnaast ook voor gezondheidsschade en deze emissies zullen (meer) uitlaat-gerelateerd zijn. Om de gezondheidswinst te kwantificeren gebruiken wij de vergelijking tussen aardgas en aardolie voor elektriciteitsproductie. Hieronder de paramaters:

Een benzineauto rijdt zo'n 600 kilometer met 30 liter benzine. 30 liter benzine komt overeen met zo'n 267 KWh (we zijn uitgegaan van 8,9 KWh per liter). Een gemiddelde automobilist rijdt 13.000 km. In dat geval zal een automobilist zo'n 5.785 KWh per jaar gebruiken.

In bijlage 1 hebben we laten zien dat er per TWh ongeveer 41 gezonde levensjaren verloren gaan door luchtverontreiniging (veroorzaakt door het opwekken van elektriciteit) door fossiele brandstoffen. Voor aardolie (alleen gekeken naar NO_x) is dit 46 per TWh. Wij gaan ervan uit dat dit bij de verbranding benzine hetzelfde zal zijn. Een personenauto op benzine veroorzaakt daarmee gemiddeld $1,2 * 10^{-5}$ verloren gezonde levensjaren per tankbeurt. Dit is $2,0 * 10^{-8}$ DALY per kilometer.

Per tankbeurt van een waterstofauto (500 kilometer) worden er dus $1,0 * 10^{-5}$ DALYs gewonnen. Per tank-/laadbeurt van een elektrische auto (213 kilometer) worden er dus $4,4 * 10^{-6}$ DALYs gewonnen.

4.4.3 Transportkilometers

In de paragraaf over waterstofstations, paragraaf 4.2, hebben we gekeken naar het transportrisico waarbij (ook) gebruik kan worden gemaakt van wegverkeer. Wij hantieren dezelfde parameters, d.w.z.:

- Kans op overlijden: $9,9 * 10^{-9}$ per km * 40 DALYs.
- Kans op ernstig letsel: $3,3 * 10^{-7}$ per km * (0,201 + (0,249 * 0,197 * 40)) DALYs.

Per kilometer gaan er dus door overlijden en ernstig letsel $1,1 * 10^{-6}$ gezonde levensjaren verloren.

Wat betreft een benzineauto gaan wij uit van een verbruik van 1 op 20 en een tankinhoud van 30 liter. In een tankwagen gaat zo'n 30.000 liter. Per tankbeurt is er dus 0,001 tankwagens nodig om een benzineauto te laten rijden. Hiermee kan de auto 600 kilometer rijden.

Er zijn in Nederland 35 brandstofdepots.¹²⁸ We gaan uit van een gelijke spreiding en dat tankwagens daarom niet meer dan 20 a 30 kilometer hoeven te rijden (we gaan uit van gemiddeld 20 kilometer, en dus 40 heen en terug, per tankwagen).

¹²⁸ Zie hiervoor: NOVE (z.d.). NOVE in cijfers en feiten. Geraadpleegd op 23 januari 2023 via <https://www.nove.nl/>.

Per tankbeurt zullen er dan $1,1 \cdot 10^{-6}$ (gezonde levensjaren) $\cdot 0,001$ tankwagen $\cdot 40$ kilometer = $4,4 \cdot 10^{-8}$ gezonde levensjaren verloren gaan door transportrisico's. Per kilometer is dit $4,4 \cdot 10^{-8} / 600 = 7,4 \cdot 10^{-11}$.

Per tankbeurt van een waterstofauto (500 kilometer) worden er dus $3,7 \cdot 10^{-8}$ DALYs gewonnen. Per tank-/laadbeurt van een elektrische auto (213 kilometer) worden er dus $1,6 \cdot 10^{-8}$ DALYs gewonnen. Het aantal bespaarde benzineautokilometers volgt automatisch uit de beschreven technologieën waardoor er geen parameter hoeft te worden ingevuld.

4.4.4 Overzichtstabel aannames vermindering benzineauto's

Risico	Uitgangspunt	Referentie / uitleg
Algemene gegevens	Wij gaan uit van een auto met een tankinhoud van 30 liter die 1 op 20 rijdt. Een automobilist rijdt gemiddeld 13.000 kilometer per jaar.	Deze uitgangspunten zijn gebaseerd op een eigen, grove schatting. Het gemiddeld aantal kilometers is gebaseerd op data van het CBS (2022).
Geluidsreductie – algemeen	Wij gaan uit dat een volledig elektrisch (of auto's met waterstof) wagenpark 3 dB reductie oplevert in stedelijk gebied. Daarnaast gaan wij ervan uit dat dit lineair verloopt met het aantal elektrisch auto's.	Het eerste uitgangspunt is gedestilleerd uit een studie van het RIVM (2010). Het tweede uitgangspunt is een eigen, grove aanname.
Geluidsreductie – blootgestelden	Wij gaan ervan uit dat alleen in stedelijk gebied een geluidsreductie plaatsvindt. Dit is 49% van de Nederlandse bevolking. Daarnaast gaan wij ervan uit dat de geluidsreductie alleen plaatsvindt bij inwoners die nu meer dan 54 dB op de gevel hebben (en/of 's nachts meer dan 49 dB). In totaal is dit 25% van alle Nederlanders.	De data over inwoners in stedelijk gebied komt van het CBS (2022). De data van het aantal gehinderden (d.w.z. meer dan 54 dB) is een schatting n.a.v. de geluidskaarten van de G4 gemeenten.
Geluidsreductie - aandoeningen	Wegverkeergeluid kan leiden tot een verlies aan gezonde levensjaren door: <ul style="list-style-type: none"> Als ernstig ervaren geluidshinder. 	De data voor deze uitgangspunten komen van WHO (2018).

	<ul style="list-style-type: none"> • Een toename van coronaire hartziekten. • Ernstige slaapverstoring <p>Wij gaan in het mengpaneel ervan uit dat de frequentie lineair verloopt per stappen van 5 dB.</p>	
Luchtverontreiniging	<p>Wij sluiten aan bij uitstoot door aardolie bij het produceren van elektriciteit.</p> <p>Wij gaan uit van een energetische inhoud van 8,9 per KWh per liter benzine.</p>	<p>Wij sluiten aan bij de studie over de gezondheidseffecten van het produceren van elektriciteit en hebben gekeken wat de uitstoot bij de verbranding van aardolie zou zijn. Zie bijlage 1 voor een uitleg.</p>
Transportrisico (over de weg)	<p>Wij gebruiken dezelfde parameters als we bij het vervoer van biomassa hebben gedaan (kans op overlijden en letsel).</p> <p>Wij gaan uit van tankwagens die 30.000 liter vervoeren.</p>	<p>Wij gaan uit van trailers/vrachtwagens die hetzelfde risico hebben als bij biomassa (zie paragraaf 2.3).</p> <p>De inhoud van een tankwagen is gebaseerd op een eigen, grove schatting.</p>

4.5: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor benzineauto's.

5. Mitigatiemechanismen

In dit hoofdstuk kijken we naar mogelijkheden om de eventuele (lokale) achteruitgang van het veiligheidsrisico voor inwoners te mitigeren. Of deze mogelijkheden proportioneel zijn, laten we nu buiten beschouwing. Tenminste geeft het beoogd een mogelijkheid over de (beperkte) omvang van het extra risico in communicatie met de bevolking.

5.1 Verkeerregulering

Er zijn verschillende manieren om de lokale verkeersveiligheid te verbeteren. Wij kijken naar het aanleggen van een rotonde in plaats van een (geregeld) kruispunt, het verlagen van de snelheid of het verplaatsen of opheffen van een (industriële) activiteit.

5.1.1 Het aanleggen van een rotonde

Het aanleggen van een rotonde in plaats van een geregeld kruispunt (d.w.z. een kruispunt met verkeerslichten) zorgt voor een veiligheidswinst aangezien er minder slachtoffers vallen.

De kans op overlijden op een geregeld kruispunt is ongeveer 5 maal hoger dan op een rotonde: de kans op overlijden op een geregeld kruispunt is in België (volgens een studie in 2003) $3,35 * 10^{-8}$ per wagen en de kans op overlijden op een rotonde is $7,44 * 10^{-9}$.¹²⁹ Wij gaan ervan uit dat dit in Nederland niet anders zal zijn.

De kans op ernstig letsel is op een geregeld kruispunt ongeveer 3,5 maal hoger dan op een rotonde: de kans op overlijden op een geregeld kruispunt is volgens dezelfde studie $1,51 * 10^{-7}$ per wagen en de kans op overlijden op een rotonde is $4,09 * 10^{-8}$.¹³⁰

We kijken in deze situatie alleen naar de kans op overlijden en niet kijken naar een vermindering van brandstofverbruik en dus ook een vermindering van luchtverontreiniging. Dit laatste zal naar verwachting slechts een nihil effect hebben ten opzichte van het totale verbruik en luchtverontreiniging door een auto.

Voor de DALYs sluiten we aan bij de parameters die wij ook bij biomassa hebben gebruikt voor verkeersongevallen, d.w.z.:

- 40 DALYs bij overlijden.
- De *Wegingsfactor acuut* is 0,201, het aandeel blijvend letsel is 24,9%, de *wegingsfactor blijvend letsel* is 0,197 en de duur van het blijvend letsel is 40 jaar (zie paragraaf 2.3).

¹²⁹ Delhaye (2003).

¹³⁰ Delhaye (2003).

Wanneer het aantal weggebruikers bekend is, kan worden berekend wat de gezondheidswinst is na het aanleggen van een rotonde:

Gezondheidswinst door minder doden = $(3,35 \cdot 10^{-8}$ (oud risiconiveau) – $7,44 \cdot 10^{-9}$ (nieuw risiconiveau)) * 40 DALYs * **gemiddeld aantal passanten per dag** (zelf invullen) * 365.

Gezondheidswinst door minder letsel = $(1,51 \cdot 10^{-7}$ (oud risiconiveau) – $4,09 \cdot 10^{-8}$ (nieuw risiconiveau)) * $(0,201 + (24,9\% * 0,197 * 40))$ DALYs * **gemiddeld aantal passanten per dag** (zelf invullen) * 365.

Een groot deel van de gezondheidswinst zal lokaal zijn. In paragraaf 6.3 lichten we toe welke effecten verkeers(on)veiligheid heeft op de verschillende schaalniveaus.

5.1.2 Snelheidsverlaging

Een andere maatregel om de verkeersveiligheid te verbeteren is het invoeren van een snelheidsverlaging. Een snelheidsverlaging van 50 km/uur naar 30 km/uur zal zorgen voor een reductie van (dodelijke) slachtoffers.¹³¹

In Nederland vallen er jaarlijks gemiddeld 156 dodelijke slachtoffers op 50 km/uur wegen en 47 dodelijke slachtoffers op 30 km/uur wegen.¹³²

In Nederland worden er jaarlijks 136 miljard vervoerskilometers gemaakt door motorvoertuigen.¹³³ Ingewikkelder is om het aantal vervoerskilometers op 50 km/uur en 30 km/uur wegen te bepalen zodat we een risico-inschatting kunnen maken. Een studie uit 2005 laat zien dat naar verwachting 19% van de vervoerskilometers op een *gebiedsontsluitingsweg binnen de kom* (dat wij hebben vertaald als vertaald als 50 km/uur-weg) en 13% van de vervoerskilometers op een *erftoegangsweg binnen de kom* (dat wij hebben vertaald als vertaald als 30 km/uur-weg) worden gemaakt.¹³⁴

Het risico op overlijden op een 50 km/uur weg is daarmee 156 dodelijke slachtoffers per jaar / $(137 \text{ miljard vervoerskilometers} * 19\%) = 6,0 * 10^{-9}$ per kilometer.

¹³¹ Dijkstra & Van Petegem (2019).

¹³² Zie hiervoor: Rijkswaterstaat (z.d.). Actuele verkeersongevallencijfers. Geraadpleegd op 24 januari 2023 via <https://www.rijkswaterstaat.nl/>. Wij hebben het gemiddelde genomen van de dodelijke ongevallen op 50 km/uur wegen tussen 2015 en 2021.

¹³³ Zie hiervoor: CBS (2022). Verkeersprestaties motorvoertuigen; kilometers, grondgebied 1990-2020. Geraadpleegd op 24 januari via <https://opendata.cbs.nl/>. Wij hebben 2019 als representatief jaar genomen i.v.m. de coronacrisis in 2020 en 2021.

¹³⁴ Janssen (2005). Wij hebben in deze studie het geprognoseerde jaar 2010 gebruikt (zie pagina 83). Dit is de meeste recente data die wij hebben kunnen vinden.

Op eenzelfde wijze kunnen we het risico op overlijden een 30 km/uur weg berekenen:
 $47 / (137 \text{ miljard vervoerskilometers} * 13\%) = 2,8 * 10^{-9}$ per kilometer.¹³⁵

Ook ingewikkeld is het aantal (ernstig) gewonden te bepalen. Om die reden sluiten wij aan bij de parameters die wij ook bij het verlies aan gezonde levensjaren door transport van biomassa hebben gebruikt. Wij hanteren daar de reguliere verdeling 'verkeersgewonden t.o.v. verkeersdoden'. Data van 2015 tot 2020 laat zien dat er gemiddeld 33,2 meer verkeersgewonden met ernstig letsel zijn dan verkeersdoden (21.050 t.o.v. 635).¹³⁶ We schatten de kans op letsel daarom 33,2 maal hoger in dan de kans op overlijden. De kans op ernstig letsel is op een 50 km/uur-weg dus: $6,0 * 10^{-9} * 33,2 = 2,0 * 10^{-7}$ per kilometer. Op een 30 km/uur-weg zal dit dan $9,1 * 10^{-8}$ zijn.

De veiligheidswinst is dan als volgt te berekenen:

Gezondheidswinst door minder dodelijke ongevallen = $(6,0 * 10^{-9}$ (oud risiconiveau) – $2,8 * 10^{-9}$ (nieuw risiconiveau)) * 40 DALYs * **lengte weg** (zelf invullen) * **gemiddeld aantal passanten per dag** (zelf invullen) * 365.

Gezondheidswinst door minder ongevallen met ernstig letsel = $(2,0 * 10^{-7}$ (oud risiconiveau) – $9,1 * 10^{-8}$ (nieuw risiconiveau)) * $(0,201 + (24,9\% * 0,197 * 40))$ DALYs * **lengte weg** (zelf invullen) * **gemiddeld aantal passanten per dag** (zelf invullen) * 365.

5.1.3 *Het verplaatsen of beëindigen van een (industriële) activiteit*

Ook door het verplaatsen van een activiteit kan een veiligheidswinst worden geboekt. Wij richten ons hier specifiek op het risico op overlijden door een verkeersongeluk door vrachtwagens. Mocht een industriële activiteit worden gestopt of dichterbij de bron worden verplaatst (zodat er minder vervoerskilometers nodig zijn) zal dit het risico op overlijden en dus het verlies van gezonde levensjaren verkleinen.

In hoofdstuk 2, paragraaf 3, hebben we laten zien wat het risico voor vrachtwagens is per vervoerskilometer: $9,9 * 10^{-9}$ op overlijden en $3,3 * 10^{-7}$ op ernstig letsel. Wanneer bekend is hoeveel vrachtwagens en/of hoeveel vrachtwagenkilometers er worden uitgespaard, is het eenvoudig te berekenen wat de veiligheidswinst is:

Gezondheidswinst door vermindering overlijden = $9,9 * 10^{-9}$ (risico vrachtwagen per kilometer) * 40 DALYs * **uitgespaarde vrachtwagen-kilometers gemiddeld per dag** (zelf invullen) * 365.

¹³⁵ Dijkstra e.a. (2019) laten zien dat het aantal verkeersdoden met een factor 10 gereduceerd kan worden door de maximumsnelheid van 50 km/uur naar 30 km/uur te verlagen. Dit zien wij echter niet terug in de cijfers.

¹³⁶ Zie hiervoor: Rijkswaterstaat (z.d.). Actuele verkeersongevallencijfers. Geraadpleegd op 12 januari 2023 via <https://www.rijkswaterstaat.nl/>.

Gezondheidswinst door vermindering ernstig letsel = $3,3 \cdot 10^{-7}$ per kilometer (risico vrachtwagen per kilometers) * $(0,201 + (24,9\% * 0,197 * 40))$ DALYs * **uitgespaarde vrachtwagen-kilometers gemiddeld per dag** (zelf invullen) * 365.

Casus Brouwerij De Halve Maan

Een voorbeeld van zo een maatregel kan de Brouwerij De Halve Maan in Brugge zijn die (waarschijnlijk uit economische overwegingen) een *biëripleiding* heeft aangelegd naar de bottelarij 3,2 kilometer verderop. Een vrachtwagen moet dus, heen en terug, 6,4 kilometer rijden. De tankwagens vervoerden samen ongeveer 4 à 5 miljoen liter en daarmee ongeveer in totaal 500 vrachtwagens per jaar, dus 1,5 per dag. In dat geval zal de veiligheids- en gezondheidswinst 0,04 gezonde levensjaren per jaar zijn.

5.1.4 Overzichtstabel aannames verkeersregulering

Risico	Uitgangspunt	Referentie / uitleg
Algemeen	In de rapportage gaan kijken wij alleen naar de kans op overlijden en ernstig letsel. Wij gebruiken hier dezelfde disability weight als bij letsel door wegverkeer-transportongevallen (zie paragraaf 2.3).	In paragraaf 2.3 hebben wij gekeken naar de DALYs door verkeersongevallen algemeen.
Het aanleggen van een rotonde	Wij gaan ervan uit dat het risico op overlijden ongeveer 5 maal kleiner is en het risico op letsel ongeveer 3,5 maal kleiner is op een rotonde i.v.m. een geregeld kruispunt.	Wij sluiten aan bij de bevindingen van Delhaye (2003).
Snelheidsverlaging	Wij hebben het risico per voertuigkilometer berekent aan de hand van het aantal dodelijke ongevallen en een schatting van het aantal vervoerskilometers op 50 km/uur wegen. Het aantal slachtoffers met ernstig letsel is 33,2 maal hoger dan het aantal dodelijke slachtoffers. Wij gebruiken dit als factor.	Wij gebruiken openbare data van RWS (z.d.) om het gemiddeld aantal slachtoffers te berekenen. Het aantal vervoerskilometers op 50 km/uur wegen komt tot stand door een integratie van de data van het CBS over het totaal aantal vervoerskilometers en een studie van SWOV (2005) over het verschil in kilometers per type weg. De factor nemen we over van de paragraaf over biomassa (zie 2.3).
Verplaatsen of opheffen industriële activiteit	Wij sluiten aan bij de parameters die wij ook voor biomassa hebben gebruikt (zie paragraaf 2.3).	Zie paragraaf 2.3.

5.1: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor het mitigatiemechanisme verkeersregulering.

5.2 Geluidsbronnen

Verkeersgeluid leidt tot een verlies aan gezonde levensjaren, zo hebben wij laten zien in hoofdstuk 4, paragraaf 4. Hetzelfde geldt ook voor spoorweggeluid.

5.2.1 Wegverkeersgeluid

Wegverkeersgeluid zorgt voor een verlies aan gezonde levensjaren door:

- Een verhoogde kans op ernstige hinder.
- Een verhoogde kans op hartziekten.
- Een verhoogde kans op ernstige slapeloosheid.¹³⁷

De WHO stelt als advieswaarde maximaal 53 dB_{Lden} aan omgevingsgeluid door wegverkeersgeluid. Zoals ook in hoofdstuk 4, paragraaf 4, is laten zien wordt zeker in stedelijke gebieden deze advieswaarde vaak overschreden. In Nederland hebben 9 miljoen inwoners last van verkeersgeluid boven de 53 dB.¹³⁸

Met behulp van de WHO-studie over advieswaarden van omgevingsgeluid, kunnen wij het aantal verloren gezonde levensjaren berekenen.¹³⁹

Bij ernstige hinder gaan er jaarlijks per persoon (die dat ervaart) 0,02 gezonde levensjaren verloren.¹⁴⁰ De kans op ernstige hinder is bij 55 dB 11,0% en bij 60 dB 15,1%. Wij gaan ervan uit dat de toename per dB $(15,1-11,0)/5 = 0,82\%$ is.

Bij coronaire hartziekten gaan er 0,405 gezonde levensjaren verloren.¹⁴¹ De relatieve toename (toegenomen kans) is per 10 dB 8%. Wij gaan ervan uit dat de toename per dB lineair verloopt en dus $8\%/10 = 0,8\%$ is. In Nederland hebben naar schatting 786.600 inwoners hartziekte.¹⁴² Grofweg zien wij de kans op hartziekten dan als $786.600/17.500.000 = 0,04$. Per dB zal naar verwachting $0,04 \cdot 0,008 = 0,0003 = 3 \cdot 10^{-4}$ personen lat krijgen van hartziekten. Zoals ook uitgelegd in paragraaf 4.4 kijken wij nu niet naar de duur van de aandoening hartziekten (zoals we wel gedaan hebben bij luchtverontreiniging) aangezien het hier gaat om de relatieve toename c.q. aandeel in de populatie en niet naar het aantal slachtoffers (cases) door toedoen van de bron.

Ernstige slaapverstoring leidt per persoon die dat ervaart tot 0,07 verloren gezonde levensjaren.¹⁴³ De kans op ernstige slaapverstoring is bij 50 dB (L_{night}) 4,2% en bij 55 dB (L_{night}) 6,0%. Wij gaan ervan uit dat de toename per dB $(6,0-4,2)/5 = 0,36\%$ is.

¹³⁷ WHO (2018).

¹³⁸ Zie hiervoor: Atlasleefomgeving (z.d.). Wegverkeer. Geraadpleegd op 24 januari 2023 via <https://www.atlasleefomgeving.nl/>.

¹³⁹ WHO (2018).

¹⁴⁰ WHO (2011). Knol e.a. (2005).

¹⁴¹ WHO (2018).

¹⁴² Zie hiervoor: VZinfo.nl (z.d.). Coronaire hartziekten | Leeftijd en geslacht. Geraadpleegd op 24 januari 2023 via <https://www.vzinfo.nl/>.

¹⁴³ WHO (2018).

Het uitgangspunt is dat het aantal gehinderden dus (per stapjes van 5 of 10 dB) lineair verloopt.

De gezondheidswinst per dB-reductie kunnen we dan als volgt berekenen:

Gezondheidswinst per dB = $(0,02 * 0,0082 + 0,405 * 0,0003 + 0,07 * 0,0036) * \text{aantal omwonenden}$ (zelf invullen) * **aantal dB reductie** (afhankelijk van **maatregel**, zelf invullen zie hieronder).

Er zijn verschillende maatregelen te nemen, bijvoorbeeld:¹⁴⁴

- Geluidreducerend wegdek 2 tot 5 dB).
- Stille banden 3 dB.
- Elektrische voertuigen (1 tot 2 dB).
- Lagere snelheid (3 dB).
- Minder verkeer (3 dB per halvering).
- Geluidswal (0 tot 15 dB).
- Geluidsschermb (0 tot 25 dB).

Wij gaan bij de berekeningen uit van gemiddelden, zo zal een geluidsschermb zorgen voor een reductie van 12,5 dB.

De lagere snelheid van 50 km/uur naar 30 km/uur levert naast een geluidsreductie dus ook een veiligheidswinst op (zie paragraaf 5.2.1).

Deze maatregel geldt dus alleen voor omwonenden die een geluidsniveau hebben boven de advieswaarde. Wij gaan uit van de groepen net boven de advieswaarde waardoor we het minimale effect inschatten (bij een hogere geluidsbelasting zullen relatief meer mensen hinder ervaren). Het is daarmee een conservatieve inschatting in het mengpaneel.

5.2.2 *Spoorweggeluid*

Net als wegverkeer zorgt ook spoorwegverkeer voor geluid en dus hinder. In tegenstelling tot wegverkeersgeluid is er alleen een verband gevonden tussen de mate van geluid en ernstige hinder en slapeloosheid (en dus niet tussen de mate van spoorweggeluid en hartziekten).¹⁴⁵

De WHO stelt als advieswaarde maximaal 54 dB_{Lden} aan omgevingsgeluid door spoorverkeer.

Op eenzelfde manier kunnen we de gezondheidsschade berekenen.

¹⁴⁴ Voorbeelden uit dBvision (2018).

¹⁴⁵ WHO (2018).

Bij ernstige hinder gaan er jaarlijks per persoon (die dat ervaart) 0,02 gezonde levensjaren verloren (zie paragraaf 5.3.1). De kans op ernstige hinder is bij 55 dB 6,6% en bij 60 dB 17,4%. Wij gaan ervan uit dat de toename per dB $(17,4-11,3)/5 = 1,22\%$ is.¹⁴⁶

Ernstige slaapverstoring leidt per persoon die dat ervaart tot 0,07 verloren gezonde levensjaren (zie paragraaf 5.3.1). De kans op ernstige slaapverstoring is bij 50 dB_{Lnight} 6,3% en bij 55 dB_{Lnight} 10,4%. Wij gaan ervan uit dat de toename per dB $(10,4-6,3)/5 = 0,82\%$ is.

Gezondheidswinst per dB = $(0,02 * 0,0122 + 0,07 * 0,0082) * \text{aantal omwonenden}$ (zelf invullen) * **aantal dB reductie** (afhankelijk van **maatregel** zelf invullen, zie hieronder)

Er zijn verschillende maatregelen te nemen, bijvoorbeeld:¹⁴⁷

- Raildempers (2 tot 3 dB).
- Geluidswal (0 tot 15 dB).
- Geluidsschermb (0 tot 25 dB).

Wij gaan bij de berekeningen uit van gemiddelden, zo zullen raildempers leiden tot een reductie van 2,5 dB.

Deze maatregel geldt dus alleen voor omwonenden die een geluidsniveau hebben boven de advieswaarde. Wij gaan uit van de groepen net boven de advieswaarde waardoor we het minimale effect inschatten (bij een hogere geluidsbelasting zullen relatief meer mensen hinder ervaren). Het is daarmee een conservatieve inschatting in het mengpaneel.

5.2.3 Overzichtstabel aannames vermindering omgevingsgeluid

Risico	Uitgangspunt	Referentie / uitleg
Algemeen	Wij gaan in het mengpaneel ervan uit dat de frequentie lineair verloopt per stappen van 5 dB. Wij gaan conservatief ervan uit maatregelen alleen effect hebben bij personen die in een omgeving wonen waarbij meer geluidsbelasting is dan de WHO adviseert.	De data voor deze uitgangspunten komen van WHO (2018).
Wegverkeersgeluid	Wegverkeersgeluid zorgt voor een verlies aan gezonde levensjaren door: <ul style="list-style-type: none"> • Een verhoogde kans op ernstige hinder. 	De parameters staan beschreven in paragraaf 4.4.

¹⁴⁶ WHO (2018).

¹⁴⁷ Voorbeelden uit dBvision (2018).

	<ul style="list-style-type: none"> • Een verhoogde kans op hartziekten. • Een verhoogde kans op ernstige slapeloosheid. <p>Wij sluiten aan bij de uitgangspunten die wij in paragraaf 4.4 hebben gepresenteerd met als verschil dat we nu naar het aantal omwonenden/blootgestelden kijken en niet naar het aantal personenauto's.</p>	
Spoorverkeersgeluid	<p>Spoorverkeersgeluid zorgt voor een verlies aan gezonde levensjaren door:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Een verhoogde kans op ernstige hinder. • Een verhoogde kans op ernstige slapeloosheid. <p>Wij berekenen verlies aan gezonde levensjaren per blootgestelde op eenzelfde wijze als voor wegverkeersgeluid.</p>	De parameters staan beschreven in paragraaf 4.4 en 5.3.1.

5.2: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor het mitigatiemechanisme vermindering omgevingsgeluid.

5.3 Isolatie als mitigatie

Een laatste vorm van mitigatie is het isoleren van woningen. Dit zal vooral relevant zijn voor woningen nabij windturbines aangezien daar een toegenomen kans op geluidshinder (kan) zijn. Isolatie van woningen kent in dat geval twee voordelen: de ervaren geluidshinder neemt af en het energieverbruik neemt af.

In het mengpaneel kijken we daarom alleen naar de geluidsreductie van windturbinegeluid.

5.3.1 Risico-inschatting

In hoofdstuk 2 hebben wij onderstaande startpunten toegelicht:

- Er wonen geen personen in de omgeving waarbij er meer dan 47 dB_{Lden} op de gevel komt.
- Vanaf 35 dB wordt er in het mengpaneel geen rekening meer gehouden met mogelijke hinder.

Op basis van deze startpunten hebben wij drie (geluids)risiconiveaus vastgesteld:

- 45 dB_{Lden} - 47 dB_{Lden}, waarbij 6,53% binnenshuis ernstige hinder ervaart.
- 40 dB_{Lden} - 44 dB_{Lden} waarbij 2,49% binnenshuis ernstige hinder ervaart.
- 35 dB_{Lden} - 39 dB_{Lden} waarbij 0,58% binnenshuis ernstige hinder ervaart.

Wanneer iemand binnenshuis ernstige hinder ervaart, zullen er 0,02 gezonde levensjaren (DALYs) per jaar verloren gaan. Wij gaan ervan uit dat (goede) isolatie ervaren geluidshinder volledig voorkomt waardoor deze gezonde levensjaren per jaar (0,02 per ernstig gehinderde) worden gewonnen.

De gezondheidswinst door geluidsreductie binnenshuis is daarmee afhankelijk van hoeveel woningen er worden geïsoleerd. Wij gaan in het mengpaneel uit van drie mogelijkheden:

- Alle huizen met 45 dB_{Lden} (door windturbinegeluid) of meer worden geïsoleerd.
- Alle huizen met 40 dB_{Lden} (door windturbinegeluid) of meer worden geïsoleerd.
- Alle huizen met 35 dB_{Lden} (door windturbinegeluid) of meer worden geïsoleerd.

Het tweede voordeel van isolatie is dat er minder energie zal worden verbruikt voor het verwarmen van woningen. Bij spouwmuurisolatie wordt er jaarlijks 180 m³ (tussenwoning) tot 600 m³ (vrijstaande woning) gas bespaard.¹⁴⁸ Wij zullen in het mengpaneel uitgaan van een gemiddelde besparing van 400 m³ gas per woning. Het merendeel van de huizen die binnen een kilometer van de windturbine(s) staat zal in de praktijk vrijstaand zijn.

400 m³ komt overeen met 3.907 kWh een dus $3,9 \cdot 10^{-6}$ TWh.

In bijlage 1 hebben we laten zien dat er bij de verbranding van aardgas voor het opwekken van energie (elektriciteit) 16 gezonde levensjaren verloren gaan per TWh. Wij verwachten dat dit bij het gebruik van aardgas in woningen voor warmte hetzelfde zal zijn.

Uiteindelijk gaan we dus uit van $16 \cdot 3,9 \cdot 10^{-6} = 6,2 \cdot 10^{-5}$ gewonnen gezonden levensjaren per geïsoleerd huis. Het aantal geïsoleerde huizen volgt automatisch uit het aantal huizen dat bij de ontwikkeling windturbines is ingevuld. Er hoeven dus zelf geen parameters te worden ingevuld. De mitigatiemaatregel moet wel (voor een of meerdere van de drie mogelijkheden) worden **'aangezet'**.

In het mengpaneel wordt het aantal omwonenden rond windturbines ingevuld. Een gemiddeld huishouden kent 2,2 personen (zie paragraaf 3.3). In het mengpaneel houden we hier rekening mee, d.w.z. we delen het aantal omwonenden dat is ingevuld door 2,2 zodat we grofweg het aantal geïsoleerde huishoudens weten.

¹⁴⁸ Zie hiervoor: Milieu centraal (n.b.) Spouwmuurisolatie. Geraadpleegd op 24 januari 2023 via <https://www.milieucentraal.nl/>.

5.3.2 Overzichtstabel aannames isolatie als mitigatie

Risico	Uitgangspunt	Referentie / uitleg
Geluidshinder	Wij kijken in het mengpaneel alleen naar geluidshinder door windturbines. Wij gaan ervan uit dat (goede) isolatie ervaren geluidshinder volledig voorkomt.	Dit is een eigen, grove aanname.
Luchtverontreiniging	Wij gaan in het mengpaneel uit van spouwmuurisolatie. Spouwmuurisolatie bespaart gemiddeld 400 m ³ gas. Wij gaan uit van de luchtverontreiniging zoals gepresenteerd in paragraaf 3.3.	De besparing in m ³ komt van Milieu Centraal (z.d.).

5.3: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor het mitigatiemechanisme vermindering isolatie woningen nabij windturbines.

6. Schaalniveaus in het mengpaneel

In dit hoofdstuk kijken we naar mogelijkheden om te differentiëren naar het schaalniveau waarop een veiligheidsrisico effect heeft.

6.1 Introductie

Met het risicomengpaneel kan worden gekeken naar verschillende geografische schaalniveaus. Dit is noodzakelijk omdat sommige veiligheids- en gezondheidseffecten slechts deels lokaal zichtbaar zullen zijn. De schaalniveaus waar wij naar kijken zijn:

- Lokaal.
- Regionaal.
- Nationaal.
- Mondiaal (Nationaal en buurlanden, specifiek voor luchtverontreiniging dat niet bij de grens ophoudt).

Voor vooral het lokale en regionale niveau betekent dit dat het totaal van voor- en nadelen nogal kan verschillen (afhankelijk van de gekozen techniek voor de energietransitie).

De extra parameter die hier ingevuld moet worden is **het inwoneraantal** van de betreffende gemeente (lokaal) of RES-regio of provincie (regionaal). Bij een nationaal of mondiaal schaalniveau hoeft dit natuurlijk niet.

6.2 Externe veiligheidsrisico's en geluidshinder

Externe veiligheidsrisico's voor omwonenden en geluidshinder zullen overwegend een lokaal effect hebben. Wij gaan ervan uit dat de 'lasten' (lees: verloren gezonde levensjaren) volledig in de eigen gemeente vallen. In dit geval hoeft er dus geen rekening gehouden met verschil in schaalniveaus.

Een uitzondering hierop is geluidshinder door benzineauto's. Wij gaan ervan uit dat de baten (lees: gewonnen gezonde levensjaren) evenredig over de Nederlandse bevolking worden verdeeld. Dit doen wij omdat wij het als onderdeel beschouwen van de opmaat naar een volledig elektrisch/waterstof wagenpark. Dit houdt in dat we de baten delen door het aantal inwoners van Nederland (17,5 miljoen) en het vermenigvuldigen met het aantal inwoners waarnaar gekeken wordt. Voor het schaalniveau lokaal en regionaal geldt dat dit situationeel afhankelijk is. Voor het nationale niveau en mondiale niveau geldt dat dit 'gewoon' 17,5 miljoen inwoners zijn.¹⁴⁹

¹⁴⁹ Wij zijn ons ervan bewust dat een groot deel van Nederland geen '(zeer) stedelijk gebied' is en de gezondheidswinst hier dus beperkt zal zijn. Wij hebben echter geen methodiek beschikbaar om dit verschil mee te nemen in het mengpaneel waardoor we uitgaan van een gelijke winst over de Nederlandse populatie (net als bij luchtverontreiniging overigens).

Een andere uitzondering is het externe veiligheidsrisico voor passanten. Hierbij sluiten we aan bij het ‘verkeers-, transport-, en passantenrisico’ (zie paragraaf 6.4).

6.3 Luchtverontreiniging

Luchtverontreiniging heeft vooral mondiaal en nationaal een groot effect. ‘Slechts’ 40% van de luchtverontreiniging/verloren levensjaren komt door binnenlandse bronnen en 36% komt door buitenlandse bronnen (en 24% door natuurlijke of onbekende bronnen).

Gezondheidswinst door verbetering luchtkwaliteit volgens het RIVM (fragment uit Kelfkens e.a., 2020)¹⁵⁰

De bijdrage van het Klimaatakkoord aan de gezondheidswinst door verbetering van de luchtkwaliteit laat zich het best bepalen uit de doorrekening van twee maatregelenpakketten met het Schone Lucht Akkoord instrumentarium. Uitkomst van die berekeningen is dat een Nederlander in 2016 gemiddeld 9 maanden korter leeft als gevolg van luchtverontreiniging. Daarbij geldt voor 2016 dat binnenlandse bronnen 40% bijdragen aan het aantal van 9 maanden dat een Nederlander korter leeft door blootstelling aan luchtverontreiniging. Buitenlandse bronnen dragen 36% bij en natuurlijke en onbekende bronnen 24%.

De verloren levensjaren door luchtverontreiniging in Nederland wordt dus voor 40% veroorzaakt door Nederlandse bronnen en voor 36% veroorzaakt door buitenlandse bronnen. Dit betekent dus dat van de uitstoot door menselijk handelen ongeveer de helft (53%) door Nederlandse bronnen komt. De andere helft (47%) komt door buitenlandse bronnen. Wij gaan ervan uit dat dit omgekeerd ook zo is en dat dus 47% van de gezondheidswinst naar het buitenland ‘verdwijnt’ en dat het nationaal gezondheidswinstpercentage dus 53% is.

Ook hierbij is dus een belangrijk uitgangspunt dat het verlies aan gezonde levensjaren lineair verloopt en evenredig is verdeeld naar ‘uitstoot-bron’.

Bovendien gaan wij uit van een evenredige verdeling van de gezondheidswinst in Nederland. Kort gezegd betekent dit dat iedere Nederlander 1/17.500.000 deel van de gezondheidswinst of gezondheidsverlies ‘krijgt’. Bij biomassa en waterstof geldt dat luchtverontreiniging zorgt voor een verlies aan gezonde levensjaren. Bij een vermindering van fossiele bronnen zorgt een verminderde uitstoot juist voor een winst aan gezonde levensjaren.

Het aantal gewonnen/verloren gezonde levensjaren berekenen wij voor de verschillende schaalniveaus als volgt:

¹⁵⁰ Kelfkens e.a. (2020), p. 30.

Schaalniveau	Berekening
Lokaal (gemeente)	Gezondheidswinst of -verlies totaal * nationaal gezondheidswinstpercentage (53%) * 1/17.500.000 * aantal inwoners gemeente
Regionaal (RES-regio of provincie)	Gezondheidswinst of -verlies totaal * nationaal gezondheidswinstpercentage (53%) * 1/17.500.000 * aantal inwoners regio
Nationaal	Gezondheidswinst of -verlies totaal * nationaal gezondheidswinstpercentage (53%)
Mondiaal	Gezondheidswinst of -verlies totaal

6.1: Berekening voor het verlies of winst aan gezonde levensjaren door luchtverontreiniging.

6.4 Verkeers- en transportonveiligheid

In diverse situaties hebben we een verkeersrisico, een wegverkeerstransportrisico en/of een passantenrisico¹⁵¹ omschreven. In dit geval zal het risico niet beperkt blijven tot de lokale omwonenden. Een passant (voetganger, fietser, automobilist) kan immers ook uit een andere gemeente komen.

Om tot afschatting te komen voor het lokale, regionale en nationale risico, kijken wij naar de dodelijke verkeersslachtoffers in 2020 en 2021.¹⁵²

Gemiddeld waren er per jaar:

- Fiets – 218 slachtoffers.
- Personenauto – 185 slachtoffers.
- Motor – 48 slachtoffers.
- Bromfiets/snorfiets – 41 slachtoffers.
- Voetganger – 42 slachtoffers.
- Scootmobiel – 33 slachtoffers.
- Bestel-/vrachtauto – 18,5 slachtoffers.
- Overig – 10,5 slachtoffers.

Wij hanteren de volgende aannames voor het aantal slachtoffers:

- Lokaal = 100% van de wandelaars/scootmobiels, 50% van de (brom)fietsers, 25% van de motor/automobilisten (incl. vrachtverkeer),
- Regionaal = 100% van de wandelaars/scootmobiels, 100% van de (brom)fietsers, 50% van de motor/automobilisten (incl. vrachtverkeer),

¹⁵¹ Het passantenrisico is in dit geval natuurlijk anders dan het reguliere verkeers- of transportrisico. Wij sluiten toch ook voor dit type risico aan bij het verkeers- en transportrisico omdat voor ons niet inzichtelijk is welk deel van de passanten niet uit de eigen gemeente/regio komt. Wij denken dat, door aan te sluiten bij het reguliere verkeers- of transportrisico, wij ook voor dit risico een redelijke inschatting hebben kunnen maken.

¹⁵² Zie hiervoor CBS (2022). Minder verkeersdoden in 2021. Geraadpleegd op 25 januari 2023 via <https://www.cbs.nl/>.

- Nationaal = 100% van de wandelaars/scootmobielers, 100% van de (brom)fietsers, 100% van de motor/automobilisten (incl. vrachtverkeer).

Deze uitgangspunten zijn dus gebaseerd op een eigen, grove schatting.

In dat geval zal 46% van de slachtoffers uit de lokale omgeving komen, 79% van de slachtoffers uit de regionale omgeving en 100% van de slachtoffers uit de nationale omgeving.

Schaalniveau	Berekening
Lokaal (gemeente)	Gezondheidswinst of -verlies totaal * percentage lokaal niveau (46%)
Regionaal (RES-regio of provincie)	Gezondheidswinst of -verlies totaal * percentage regionaal niveau 79%
Nationaal	Gezondheidswinst of -verlies totaal * percentage nationaal niveau 100%
Mondiaal	Gezondheidswinst of -verlies totaal

6.2: Berekening voor het verlies of winst aan gezonde levensjaren door verkeers-, transport en passantenrisico.

6.5 Vergelijkingsparameters

Om het risico op waarde te schatten, vergelijken wij het risico met de algemeen geaccepteerde norm voor het individueel risico (10^{-5} per jaar) en het wandelrisico.

Normering individueel veiligheidsrisico per jaar op overlijden

Sinds in 1989 de nota 'Omgaan met risico's' is verschenen, staat in het hele Nederlandse veiligheidsbeleid de normering van de kans op overlijden van een aan het risico blootgestelde individu per jaar centraal, dit wordt het individueel risico genoemd.¹⁵³ De nota stelde een norm voor van een overlijdenskans van eens per honderdduizend jaar (kortweg, een IR van 10^{-5}) per risicocompartiment. Hierbij staat 'risicocompartiment' voor een verzameling van vergelijkbare risico's zoals blootstelling aan toxische stoffen of het instorten van bouwwerken door storm.

Wij spiegelen de gezondheidswinst en -verlies door het te vergelijken met de norm voor het individueel risico. Dit doen wij door het aantal inwoners waarnaar gekeken wordt te vermenigvuldigen met 10^{-5} en te vermenigvuldigen met 40 (DALYs).

Wij spiegelen de gezondheidswinst en -verlies door het te vergelijken met het voetgangersrisico. Wij gaan ervan uit dat iedereen aan dit risico wordt blootgesteld. In 2020 en 2021 vielen er gemiddeld 42 dodelijke slachtoffers per jaar bij voetgangers. Wij gaan ervan uit dat iedereen aan dit risico wordt blootgesteld. Het risico is daarmee:

¹⁵³ Zie hiervoor: Omgaan met risico's, Kamerstukken II 1988/89, 21 137, nr. 5.

$42/17500000 = 2,4 * 10^{-6}$ per jaar. Per dodelijk slachtoffer zullen er 40 DALYs verloren gaan.

In de rapportage zijn wij uitgegaan van een risico op letsel dat 33,2 maal hoger is dan het risico op overlijden bij verkeersrisico's. Wij nemen deze verhouding nu ook over, d.w.z. het risico op letsel is $2,4 * 10^{-6} * 33,2 = 7,9 * 10^{-5}$. Per ongeval met letsel gaan er vervolgens gemiddeld per slachtoffer $0,201 + (24,9\% * 0,197 * 40) = 2,2$ DALYs verloren.

Uiteindelijk is het aantal verloren levensjaren door het voetgangersrisico dus $(2,4 * 10^{-6} * 40 + 7,9 * 10^{-5} * 2,2) * \text{aantal inwoners}$ (afhankelijk van de situatie).

6.5.1 Overzichtstabel aannames schaalniveaus

Risico	Uitgangspunt	Referentie / uitleg
Externe veiligheidsrisico's omwonenden en geluidshinder	Wij gaan ervan uit dat alle verloren of gewonnen levensjaren door externe veiligheidsrisico's omwonenden en geluidshinder (m.u.v. wegverkeersgeluid door benzineauto's) lokaal zijn.	Dit is gebaseerd op een eigen, grove schatting.
Luchtverontreiniging	Ook hierbij is dus een belangrijk uitgangspunt dat het verlies aan gezonde levensjaren lineair verloopt en evenredig is verdeeld naar 'uitstoot-bron'.	De verdeling naar uitstootbron komt van RIVM (2020).
Verkeers-, passanten en transportonveiligheid	Wij baseren ons op de overlijdensstatistiek per type verkeersdeelnemer na verkeersongevallen. Wij hanteren de volgende aannames (zie paragraaf 6.4).	De overlijdensstatistiek per type verkeersdeelnemer na verkeersongevallen komt van CBS (2022). Deze aannames (verdeling per schaalniveau, zie paragraaf 6.4) zijn gebaseerd op een eigen, grove schatting.

6.3: Samenvattende tabel met uitgangspunten voor de verschillende schaalniveaus.

7. Slotbeschouwing

In dit hoofdstuk geven we een slotbeschouwing op de uitgangspunten die in het mengpaneel zijn gebruikt.

Het omgaan met de energietransitie vergt veel van bestuurders. Om aan de in het Klimaatpakket gestelde doelstellingen te kunnen voldoen, zal Nederland in de komende decennia over moeten gaan van het opwekken van energie door fossiele brandstoffen naar duurzame en hernieuwbare energie. Een groot deel van de ontwikkelingen zal op lokaal of regionaal niveau moeten worden gerealiseerd.

Dit betekent dat bestuurders **nu** een beslissing moeten maken over (voorgestelde) energietransitie-projecten. Op dit moment ontbreekt een instrument waarmee veiligheidsrisico's van nieuwe en oude technieken voor energieopwekking vergeleken kunnen worden. Het risicomengpaneel voor de energietransitie geeft die mogelijkheid nu wel. Het instrument geeft bestuurders de mogelijkheid om te besluiten op basis van (onder andere) een integrale veiligheidsafweging waarin inzichtelijk is welke consequenties een energietransitie-project heeft voor de veiligheid van omwonenden.

In het mengpaneel hanteren wij het *meta-uitgangspunt* 'alles wat we kunnen kwantificeren, kwantificeren we'. Dit betekent dat we voor vrijwel alle te kwantificeren veiligheidsrisico's een risico-inschatting hebben gemaakt. Wij hebben ons hierbij gebaseerd op aannames en uitgangspunten die in de voorgaande hoofdstukken staan beschreven.

Het mag hiermee duidelijk zijn dat wij document zien als een *groeidocument*: zodra er nieuwe kennis of betere data beschikbaar komt, zal dit verwerkt moeten worden in het risicomengpaneel.

Deze rapportage bevat de technische beschrijving van de parameters die wij in het mengpaneel hebben gehanteerd (en de berekeningen op basis daarvan). De parameters zijn gebaseerd op uitgangspunten. Grofweg kunnen wij vier type uitgangspunten onderscheiden:

1) **Uitgangspunten over de (kwantificeerbaarheid van) risico's**: een eerste literatuurstudie moest uitkomst bieden in de risico's die wij meenemen in het mengpaneel. Hiervoor hebben we voornamelijk studies van het NIPV¹⁵⁴ en RIVM¹⁵⁵ gebruikt. Een deel van de risico's wordt wel genoemd maar is nog niet kwantificeerbaar. Wij zien het mengpaneel daarom, nogmaals, als een 'groeidocument'. Mocht er een nieuw risico

¹⁵⁴ Zie hiervoor de dossiers over een veilige energietransitie op de website van het NIPV. Geraadpleegd op 25 januari 2023 via <https://nipv.nl/>.

¹⁵⁵ Gooijer & Mennen (2021).

bekend worden (dat gekwantificeerd kan worden!), zal dit moeten worden toegevoegd aan het mengpaneel.

Voorbeeld: bij geothermie wordt lekkage naar grondwater genoemd als een theoretische risico. Dit veiligheids- en gezondheidsrisico hebben wij niet meegenomen in het mengpaneel aangezien wij het niet kunnen kwantificeren.

2) Technisch inhoudelijke uitgangspunten o.b.v. data en literatuur: veel risico's hebben wij kunnen inschatten op basis van datasets en/of wetenschappelijke studies. Deze datasets en studies kunnen (later) geactualiseerd worden. Indien er nieuwe/betere studies of data beschikbaar komt, zal dit moeten worden verwerkt in het mengpaneel.

Voorbeeld: voor luchtverontreiniging hebben wij gebruik gemaakt van een studie uit 1998 (en deze studie zelf 'geactualiseerd'). Dit is volgens ons de meest recente en betrouwbare bron.

3) Uitgangspunten o.b.v. een grove inschatting: Voor een aantal parameters is er geen dataset beschikbaar (bijvoorbeeld de 'blootstellingsduur' aan een risico als los-schietende bladen van een windturbine). Voor deze parameters hebben wij gebruik gemaakt van een grove, eigen inschatting. Mocht deze inschatting vanwege nader inzicht onjuist blijken, dan kan dit (gemakkelijk) worden aangepast in het mengpaneel.

Voorbeeld: voor de blootstelling aan het risico van het afbreken van wieken, de mast etc. van windturbines, zijn wij voor omwonenden uitgegaan van 0,5 jaar (de helft van de tijd is men in de woning aanwezig) en voor passanten 1 minuut per passage.

4) Uitgangspunten o.b.v. een vergelijking met andere risicobronnen: in sommige gevallen ontbrak data om een volledige risico-inschatting te maken. In dat geval hebben wij gezocht naar alternatieven, door bijvoorbeeld in te zoomen op een specifieke casus of gebruik te maken een vergelijking. Ook voor deze uitgangspunten geldt dat, wanneer er (wel) specifieke(re) data over beschikbaar komt, dit verwerkt zal moeten worden in het mengpaneel.

Voorbeeld: voor buurtbatterijen hebben wij gebruik gemaakt van een specifieke casus (aangevuld met enkele 'groeve inschatting-uitgangspunten, zie hierboven) om te laten zien dat het risico nagenoeg verwaarloosbaar is.

Voorbeeld: wij weten niet wat de 'beschermingsfactor' is bij het externe veiligheidsrisico 'afbreken van wieken, de mast, etc. bij windturbines'. Wij sluiten daarom in het mengpaneel aan op de 'bescherming die een huis biedt bij aardbevingsrisico's', onderzocht door TNO.

Aan te bevelen is om in ieder geval voor de uitgangspunten die we kunnen categoriseren als *Type 4: Uitgangspunten o.b.v. een vergelijking met andere bronnen* nader onderzoek uit te voeren.

Literatuurlijst

Bende, E.E. & Dekker, N.I.J. (2019). *Brandincidenten met fotovoltaïsche (PV) systemen in Nederland*. TNO.

Berry JE, Holland MR, Watkiss PR, Boyd R, & Stephenson W. (1998). *Power generation and the environment—a UK perspective, vol 1*. AEA Technology Environment.

Cremers, M. e.a. (2021). *Conceptadvies SDE++ 2022 Verbranding en vergassing van biomassa*. PBL.

dBvision (2017). *Gemeente Den Haag Geluidkartering 2016 (RIS298309 bijlage tabellen)*. Gemeente Den Haag.

dBvision (2018). *WHO environmental Noise Guidelines for the European Region. Impactanalyse voor gemeentewegen, provinciale wegen en lokaal spoor*. dBvision.

Delhaye, E. (2003). Kosten-baten analyse van het vervangen van een geregeld kruispunt door een rotonde. *Tijdschrift voor economie en management*, 47(4), 577-606.

Dijkstra, A. & van Petegem, J.W.H. (2019). *Naar een algemene snelheidslimiet van 30 km/uur binnen de bebouwde kom?*. SWOV.

Faasen, C.J. e.a. (2012). *Handboek Risicozonering Windturbines*. RVO.

Gemeente Amsterdam (2020). *Actieplan geluid 2020-2023*. Gemeente Amsterdam.

Gemeente Rotterdam (2019). *Actieplan geluid 2019-2023*. Gemeente Rotterdam.

Gersen, S., Van Essen, M. & Teerling, O.J. (2020). *Development of high performance (low NOx) domestic hydrogen boilers*. DNV GL.

Gooijer, L. & Mennen, M.G. (2021). *Klimaatakkoord: effecten van nieuwe energiebronnen op gezondheid en veiligheid in Nederland*. RIVM.

Janssen, S.A. e.a. (2008). *Hinder door geluid van windturbines*. TNO.

Janssen, S.T.M.C. (2005). *De Verkeersveiligheidsverkenner gebruikt in de regio*. SWOV.

Kelfkens, G., Ruysenaars, P., & Van der Ree, J. (2020). *Klimaatakkoord: Gevolgen van het uitfaseren van fossiele energie voor veiligheid, gezondheid en stikstofdepositie; een update*. RIVM.

Kakoulaki, G., Kougiyas, I., Taylor, N., Dolci, F., Moya, J., & Jäger-Waldau, A. (2021). Green hydrogen in Europe—A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables. *Energy Conversion and Management*, 228, 113649.

Knol, A.B. & Staatsen, B.A.M. (2005). *Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands 1980 – 2020*. RIVM.

Markandya, A. & Wilkinson, P. (2007). Electricity generation and health. *The Lancet*, 370(9591), 979-990.

Ministerie van I&M & Ministerie van EZ (2015). *Nationaal waterplan 2016-2021*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Moreno, V. C., Papasidero, S., Scarponi, G. E., Guglielmi, D., & Cozzani, V. (2016). Analysis of accidents in biogas production and upgrading. *Renewable Energy*, 96, 1127-1134.

Morgenstern, P.P. (2010). *Bio-energiecentrales*. RIVM.

Onderzoekraad voor Veiligheid (2015). *Koolmonoxide. Onderschat en onbegrepen gevaar*. OVV.

Sovacool e.a. (2016). Balancing safety with sustainability: assessing the risk of accidents for modern low-carbon energy systems. *Journal of cleaner production*, 112, 3952-3965.

Rijkema, H.J.M. (2018). *Registratie van gasinstallatieongevallen achter de meter. Jaaroverzicht 2017*. Kiwa.

Rijkema, H.J.M. (2019). *Registratie van gasinstallatieongevallen achter de meter. Jaaroverzicht 2018*. Kiwa.

Rijkema, H.J.M. (2020). *Registratie van gasinstallatieongevallen achter de meter. Jaaroverzicht 2019*. Kiwa.

Rosmuller, N. (2021). *Vooronderzoek depositie bij branden met zonnepanelen*. IFV.

RVO (2022). *Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie (herziening)*. RVO.

Smit, C.E. (2011). *Streefwaarde en verwaarloosbaar risiconiveau. Gebruik in het Nederlandse milieubeleid*. RIVM.

Stam, G. (2016). *Risico- en effectafstanden waterstof tankstations*. RIVM.

Staatstoezicht op de Mijnen (2017). *Staat van de Sector Geothermie*. SodM.

Steenbergen, R.D.J.M. e.a. (2015). *Veiligheidsbeschouwing aardbevingen Groningen t.b.v. NPR 9998*. TNO.

SWOV (2020). *Vracht- en bestelauto's. SWOV-factsheet*. SWOV.

Van der Ree, J. e.a. (2019). *Klimaatakkoord: effecten op veiligheid, gezondheid en natuur*. RIVM.

Van Kamp, I. & Van den Berg, G.P. (2020). *Health effects related to wind turbine sound: an update*. RIVM.

Van Veen, N.W. e.a. (2022). *Schadelijke stoffen bij branden met zonnepanelen*. RIVM.

Verheijen, E.N.G. & Jabben, J. (2010). *Effect of electric cars on traffic noise and safety*. RIVM.

Verheijen, E. & Jabben, J. (2011). *Sanering windturbinegeluid. Een indicatieve raming van kosten*. RIVM.

Werkgroep BOVEN (2022). *Omgaan meet waterstofrisico's*. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

Weeda, M. & Niessink, R. (2020). *Waterstof als optie voor een klimaatneutrale warmtevoorziening in de bestaande bouw*. TNO.

WHO (2018). *Environmental noise guidelines for the European Region*. WHO.

WHO (2020). *WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000-2019*. WHO.

WHO (2011). *Burden of disease from environmental noise*. WHO.

Bijlage 1. Luchtverontreiniging door elektriciteitsproductie

In deze bijlage leggen wij uit hoe we tot een afschatting zijn gekomen van het aantal verloren gezonde levensjaren door luchtverontreiniging. In de eerste paragraaf beschrijven wij de parameters. Wij passen dit vervolgens in de tweede paragraaf toe op de casus biomassa.

B1.1 Beschrijving parameters

In deze bijlage beschrijven we hoe we de verloren DALYs door fossiele elektriciteitsproductie berekenen. Deze berekening is onvermijdelijk ingewikkeld omdat er opvallend genoeg geen recentere studies dan 1998 naar verricht zijn. Evident zijn de elektriciteitscentrales nu veel milieuvriendelijker dan 25 jaar geleden. We moeten daarom de resultaten van een brede studie uit 1998 vertalen naar nu.

De berekening uit deze bijlage komt bij alle nieuwe elektriciteit producerende technieken terug.

Eerst berekenen we de verwachte uitstoot per verontreinigende stof o.b.v. de 1998 studie. De verwachte uitstoot hebben we bepaald a.d.h.v. de uitstoot (g) per KWh volgens onze primaire bron (Berry e.a., 1998) te vermenigvuldigen met de daadwerkelijke productie in 2019.¹⁵⁶ Vervolgens geven we de daadwerkelijke uitstoot per stof in 2019 (meest recente cijfers). De verwachte uitstoot per stof verschilt een bepaalde factor met de daadwerkelijke uitstoot per stof. Daarmee zal (onder de gebruikelijke aanname van een lineair model voor de relatie tussen uitstoot en verlies aan DALYs) ook het verwachte verlies aan DALYs door de blootstelling aan die stof met een gelijke factor verschillen.

De feitelijke uitstoot door de productie van warmte en elektriciteit hebben we kunnen achterhalen door de dataset van de European Environment Agency.¹⁵⁷

De berekening geeft ons het aantal verloren levensjaren per KWh.

¹⁵⁶ Zie hiervoor: CBS (2022). Elektriciteit en warmte; productie en inzet naar energiedrager. Geraadpleegd op 2 augustus, via <https://opendata.cbs.nl/>. De data is gegeven in TJ. Wij hebben dit berekend naar TWh door het te vermenigvuldigen met $2,778 * 10^{-4}$.

¹⁵⁷ Zie hiervoor: Air pollutant emissions data viewer (Gothenburg Protocol, LRTAP Convention) 1990-2019. Geraadpleegd op 13 januari, via <https://www.eea.europa.eu/>.

SOx	Grondstof	g/KWh	Productie in TWh	Verwachte uitstoot per 1000 ton	Daadwerkelijke uitstoot per 1000 ton	Vershil (factor t.o.v. 1998 studie)
	Olie	0,789	0,096	0,076		
	Biomassa	0,041	11,573	0,474		
	Gas	0,000	107,956	0,000		
	Kolen	1,100	18,468	20,315		
	Totaal			20,865	2,73	7,643
NOx	Olie	0,798	0,096	0,077		
	Biomassa	0,445	11,573	5,150		
	Gas	0,460	107,956	49,660		
	Kolen	2,200	18,468	40,629		
	Totaal			95,516	14,96	6,385
PM	Olie	0,012	0,096	0,001		
	Biomassa	0,076	11,573	0,880		
	Gas	0,000	107,956	0,000		
	Kolen	0,160	18,468	2,955		
	Totaal			3,836	0,27	14,206

B1.1: Verschil in uitstoot t.o.v. 1998.

Daarnaast hebben we gekeken wat het verwachte aantal verloren gezonde levensjaren is per TWh opgewekte elektriciteit. Wij hebben hiervoor de 1998 studie gebruikt en het aantal cases per TWh vermenigvuldigd met de *disability weight* van de WHO (2020).

Voor de duur van de ziekte gaan we uit van:

- Voor luchtwegaandoeningen bij kinderen (en daarvoor zijn er geen andere aandoeningen) gaan wij uit van 10 jaar (uitgaande van een range van 0 tot 20). Wij gaan ervan uit dat kinderen over de luchtwegaandoening heen kunnen groeien.
- Voor alle aandoeningen bij volwassenen gaan wij uit van 30 jaar (uitgaande van een range van 20 tot 80).
- Voor alle aandoeningen bij 65+'ers gaan wij uit van 7,5 jaar (uitgaande van een range van 65 tot 80).
- Voor alle aandoeningen zonder leeftijdscategorie gaan wij uit van 40 jaar zoals gebruikelijk in deze rapportage.
- Voor alle aandoeningen waarbij niet gesproken wordt over 'cases' maar 'episodes' of 'days' gaan wij altijd uit van een aanval van 1 dag en dus $(1/365=)$ 0,003 verloren gezond levensjaar per aanval, vermenigvuldigd met de disability weight.

Vervolgens hebben we het aantal verloren levensjaren o.b.v. de 1998 studie gedeeld door de verschilfactor die wij hierboven hebben berekend per verontreinigende stof.

		Cases per TWh in 1998	Disability type 2020	Disability weight - Factor 2020	Duur in jaren	DALYs op basis 1998 uitstoot per TWh	DALYs op basis huidige Nederlandse uitstoot per Twh
Coal / NOx							
Congestive heart failure	65+	0,7317	Heart failure, moderate	0,072	7,5	0,395	
Restr. Activity days	adult	4327	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,178	
Bronchodilator usage	adult	988,7	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,041	
Cough	adult	1017	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,042	
Lower Resp. symptoms	adult	367,8	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,015	
Bronchodilator usage	child	198,1	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,008	
Cough	child	341,1	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,014	
Lower Resp. symptoms	child	263	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,011	
Resp. hosp. Admission	total	0,6298	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	5,668	
Cerebrovascular hosp. Adm	total	1,533	Stroke, long-term consequences, moderate	0,07	40	4,292	
Chronic YOLL	adult	124,9	nvt	1	1	124,900	
Chronic bronchitis	adult	8,498	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	30	57,362	
Chronic Cough	child	151,1	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,006	
Chronic bronchitis	child	117,6	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	10	264,600	
Totaal						457,532	71,660

Coal / SO2							
Acute yoll	total	2,089	nvt	1	1	2,089	
Resp. hosp. Ad- mission	total	0,7983	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	7,185	
Resp. hosp. Ad- mission	total	0,3471	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	3,124	
Congestive heart failure	65+	0,4029	Heart failure: mod-erate	0,072	7,5	0,218	
Restr. Activity days	adult	2376	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,098	
Bronchodilator usage	adult	543,4	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,022	
Cough	adult	559	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,023	
Lower Resp. symptoms	adult	202,1	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,008	
Bronchodilator usage	child	108,9	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,004	
Cough	child	187,4	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,008	
Lower Resp. symptoms	child	144,5	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,006	
Cerebrovascular hosp. Adm	total	0,8444	Stroke, long- term conse- quences, mod- erate	0,07	40	2,364	
Chronic YOLL	adult	68,62	nvt	1	1	68,620	
Chronic bronchitis	adult	4,46	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	30	30,105	
chronic cough	child	83,26	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,003	
Chronic bronchitis	child	64,73	COPD and other chronic respiratory	0,225	10	145,643	

			problems, moderate				
Totaal						259,520	33,956
Coal /PM							
Congestive heart failure	65+	0,1368	Heart failure: mod-erate	0,072	7,5	0,074	
Restr. Activity days	adult	808,8	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,033	
Bronchodilator usage	adult	184,8	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,008	
Cough	adult	190,2	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,008	
Lower Resp. symptoms	adult	68,75	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,003	
Bronchodilator usage	child	37,02	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,002	
Cough	child	63,75	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,003	
Lower Resp. symptoms	child	49,16	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,002	
Resp. hosp. Admission	total	0,1177	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	1,059	
Cerebrovascular hosp. Adm	total	0,2866	Stroke, long-term consequences, moderate	0,07	40	0,802	
ischaemic heart disease	65+	0,1294	Heart failure: mod-erate	0,072	7,5	0,070	
Chronic YOLL	adult	23,34	nvt	1	1	23,340	
Chronic bronchitis	adult	1,588	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	30	10,719	
chronic cough	child	28,25	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Chronic bronchitis	child	21,97	COPD and other chronic respiratory	0,225	10	49,433	

			problems, moderate				
Totaal						85,556	6,023
Kolen totaal							111,638
Oil / NOx							
Congestive heart failure	65+	0,4695	Heart failure: mod-erate	0,072	7,5	0,254	
Restr. Activity days	adult	2777	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,114	
Bronchodilator usage	adult	634,5	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,026	
Cough	adult	652,8	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,027	
Lower Resp. symptoms	adult	236	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,010	
Bronchodilator usage	child	127,1	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,005	
Cough	child	218,9	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,009	
Lower Resp. symptoms	child	168,8	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,007	
Resp. hosp. Admission	total	0,4041	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	3,637	
Cerebrovascular hosp. Adm	total	0,984	Stroke, long-term consequences, moderate	0,07	40	2,755	
Chronic YOLL	adult	80,12	nvt	1	1	80,120	
Chronic bronchitis	adult	5,453	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	30	36,808	
chronic cough	child	96,99	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,004	
Chronic bronchitis	child	75,44	COPD and other chronic respiratory	0,225	10	169,740	

			problems, moderate				
Totaal						293,515	45,971
Oil / SO2							
Acute yoll	total	1,994	nvt	1	1	1,994	
Resp. hosp. Ad- mission	total	0,7618	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	6,856	
Congestive heart failure	65+	0,4299	Heart failure: mod-erate	0,072	7,5	0,232	
Restr. Activity days	adult	2540	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,104	
Bronchodilator usage	adult	579,7	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,024	
Cough	adult	596,4	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,025	
Lower Resp. symptoms	adult	215,7	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,009	
Bronchodilator usage	child	116,2	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,005	
Cough	child	199,9	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,008	
Lower Resp. symptoms	child	154,2	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,006	
Cerebrovascular hosp. Adm	total	0,9008	Stroke, long- term conse- quences, mod- erate	0,07	40	2,522	
Chronic YOLL	adult	73,21	nvt	1	1	73,210	
Chronic bronchitis	adult	4,758	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	30	32,117	
chronic cough	child	88,79	Asthma, con- trolled	0,015	0,002739726	0,004	
Chronic bronchitis	child	69,06	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	10	155,385	

Totaal						272,501	35,654
Oil / PM							
Congestive heart failure	65+	0,0143	Heart failure: mod-erate	0,072	7,5	0,008	
Restr. Activity days	adult	84,56	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,003	
Bronchodilator usage	adult	19,32	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Cough	adult	19,88	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Lower Resp. symptoms	adult	7,189	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Bronchodilator usage	child	3,871	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Cough	child	6,666	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Lower Resp. symptoms	child	5,14	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Resp. hosp. Admission	total	0,01231	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	0,111	
Cerebrovascular hosp. Adm	total	0,02997	Stroke, long-term consequences, moderate	0,07	40	0,084	
Chronic YOLL	adult	2,44	nvt	1	1	2,440	
Chronic bronchitis	adult	0,1661	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	30	1,121	
chronic cough	child	2,954	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Chronic bronchitis	child	2,298	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	10	5,171	
Totaal						8,940	0,629
Olie totaal							82,255

Gas / NOx							
Congestive heart failure	65+	0,1649	Heart failure: mod-erate	0,072	7,5	0,089	
Restr. Activity days	adult	974,9	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,040	
Bronchodilator usage	adult	222,8	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,009	
Cough	adult	229,2	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,009	
Lower Resp. symptoms	adult	82,87	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,003	
Bronchodilator usage	child	44,63	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,002	
Cough	child	76,84	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,003	
Lower Resp. symptoms	child	59,25	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,002	
Resp. hosp. Admission	total	0,1419	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	1,277	
Cerebrovascular hosp. Adm	total	0,3455	Stroke, long-term consequences, moderate	0,07	40	0,967	
Chronic YOLL	adult	28,13	nvt	1	1	28,130	
Chronic bronchitis	adult	1,915	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	30	12,926	
chronic cough	child	34,06	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Chronic bronchitis	child	26,49	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	10	59,603	
Totaal						103,063	16,142
Gas / SO2							
Acute yoll	total	0,02919	nvt	1	1	0,029	

Resp. hosp. Admission	total	-0,0023	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	-0,021	
Congestive heart failure	65+	-0,0026	Heart failure: moderate	0,072	7,5	-0,001	
Restr. Activity days	adult	-15,48	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	-0,001	
Bronchodilator usage	adult	-3,541	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Cough	adult	-3,643	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Lower Resp. symptoms	adult	-1,317	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Bronchodilator usage	child	-0,7095	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Cough	child	-1,221	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Lower Resp. symptoms	child	-0,9418	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Cerebrovascular hosp. Adm	total	-0,0055	Stroke, long-term consequences, moderate	0,07	40	-0,015	
Chronic YOLL	adult	-0,4472	nvt	1	1	-0,447	
Chronic bronchitis	adult	-0,0291	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	30	-0,196	
chronic cough	child	-0,5424	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Chronic bronchitis	child	-0,4219	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	10	-0,949	
Totaal						-1,602	-0,210
Gas totaal							15,932
Biomassa / Nox / cultivation							

Congestive heart failure	65+	0,07	Heart failure: mod-erate	0,072	7,5	0,038	
Restr. Activity days	adult	433,7	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,018	
Bronchodilator usage	adult	99,1	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,004	
Cough	adult	102	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,004	
Lower Resp. symptoms	adult	36,87	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,002	
Bronchodilator usage	child	19,85	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Cough	child	34,18	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Lower Resp. symptoms	child	26,36	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Resp. hosp. Admission	total	0,06	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	0,540	
Cerebrovascular hosp. Adm	total	0,15	Stroke, long-term consequences, moderate	0,07	40	0,420	
Chronic YOLL	adult	12,51	nvt	1	1	12,510	
Chronic bronchitis	adult	0,85	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	30	5,738	
chronic cough	child	15,15	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Chronic bronchitis	child	11,78	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	10	26,505	
Totaal						45,782	7,170
Biomassa / SO2 / cultivation							
Acute yoll	total	0,02	nvt	1	1	0,020	

Resp. hosp. Admission	total	0,01	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	0,090	
Congestive heart failure	65+	0,00364	Heart failure: mod-erate	0,072	7,5	0,002	
Restr. Activity days	adult	21,48	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Bronchodilator usage	adult	4,91	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Cough	adult	5,05	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Lower Resp. symptoms	adult	1,83	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Bronchodilator usage	child	0,98	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Cough	child	1,69	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Lower Resp. symptoms	child	1,31	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Cerebrovascular hosp. Adm	total	0,01	Stroke, long-term consequences, moderate	0,07	40	0,028	
Chronic YOLL	adult	0,62	nvt	1	1	0,620	
Chronic bronchitis	adult	0,04	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	30	0,270	
chronic cough	child	0,75	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Chronic bronchitis	child	0,59	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	10	1,328	
Totaal						2,359	0,309
Biomassa / PM / cultivation							
Congestive heart failure	65+	0,03	Heart failure: mod-erate	0,072	7,5	0,016	

Restr. Activity days	adult	203,5	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,008	
Bronchodilator usage	adult	46,51	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,002	
Cough	adult	47,86	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,002	
Lower Resp. symptoms	adult	17,3	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Bronchodilator usage	child	9,32	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Cough	child	16,04	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Lower Resp. symptoms	child	12,37	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Resp. hosp. Admission	total	0,03	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	0,270	
Cerebrovascular hosp. Adm	total	0,07	Stroke, long-term consequences, moderate	0,07	40	0,196	
Chronic YOLL	adult	5,87	nvt	1	1	5,870	
Chronic bronchitis	adult	0,4	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	30	2,700	
chronic cough	child	7,11	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Chronic bronchitis	child	5,53	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	10	12,443	
Totaal						21,509	1,514
Biomassa / NOx / production							
Congestive heart failure	65+	0,08	Heart failure: moderate	0,072	7,5	0,043	
Restr. Activity days	adult	501,6	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,021	

Bronchodilator usage	adult	114,6	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,005	
Cough	adult	117,9	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,005	
Lower Resp. symptoms	adult	42,64	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,002	
Bronchodilator usage	child	22,96	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Cough	child	39,54	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,002	
Lower Resp. symptoms	child	30,49	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Resp. hosp. Admission	total	0,07	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	0,630	
Cerebrovascular hosp. Adm	total	0,18	Stroke, long-term consequences, moderate	0,07	40	0,504	
Chronic YOLL	adult	14,48	nvt	1	1	14,480	
Chronic bronchitis	adult	0,99	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	30	6,683	
chronic cough	child	17,52	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Chronic bronchitis	child	13,63	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	10	30,668	
Totaal						53,044	8,308
Biomassa / SO2 / production							
Acute yoll	total	0,08	nvt	1	1	0,080	
Resp. hosp. Admission	total	0,03779	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	0,340	

Congestive heart failure	65+	0,00905	Heart failure: mod-erate	0,072	7,5	0,005	
Restr. Activity days	adult	53,35	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,002	
Bronchodilator usage	adult	12,2	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Cough	adult	12,2	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Lower Resp. symptoms	adult	4,54	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Bronchodilator usage	child	2,445	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Cough	child	4,208	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Lower Resp. symptoms	child	3,25	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Cerebrovascular hosp. Adm	total	0,02	Stroke, long-term consequences, moderate	0,07	40	0,056	
Chronic YOLL	adult	1,54	nvt	1	1	1,540	
Chronic bronchitis	adult	0,1	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	30	0,675	
chronic cough	child	1,87	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,000	
Chronic bronchitis	child	1,45	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	10	3,263	
Totaal						5,962	0,780
Biomassa / PM / production							
Congestive heart failure	65+	0,06	Heart failure: mod-erate	0,072	7,5	0,032	
Restr. Activity days	adult	355,2	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,015	
Bronchodilator usage	adult	81,17	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,003	

Cough	adult	83,51	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,003	
Lower Resp. symptoms	adult	30,2	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Bronchodilator usage	child	16,26	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Cough	child	28	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Lower Resp. symptoms	child	21,59	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Resp. hosp. Admission	total	0,05	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	40	0,450	
Cerebrovascular hosp. Adm	total	0,13	Stroke, long-term consequences, moderate	0,07	40	0,364	
Chronic YOLL	adult	10,25	nvt	1	1	10,250	
Chronic bronchitis	adult	0,7	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	30	4,725	
chronic cough	child	12,41	Asthma, controlled	0,015	0,002739726	0,001	
Chronic bronchitis	child	9,65	COPD and other chronic respiratory problems, moderate	0,225	10	21,713	
Totaal						37,560	2,644
Biomassa totaal							20,725

B1.2: Het aantal verloren gezonde levensjaren per brandstof per verontreinigende stof rekening houdend met een verminderde uitstoot.

B1.2 Illustratiecasus biomassa

Om meer in detail te laten zien hoe wij tot de uitkomsten zijn gekomen, passen we de methode in de illustratiecasus toe op biomassa.

Het berekenen van het aantal verloren gezonde levensjaren doen wij zoals gezegd in drie stappen:

- 1) Wij berekenen het verlies aan levensjaren door de productie van (in dit geval) elektriciteit door biomassa per TWh o.b.v. de data uit 1998.
- 2) Wij vergelijken de verwachte uitstoot o.b.v. de studie met de werkelijke uitstoot.
- 3) Wij delen het verlies aan levensjaren (stap 1) door de factor verschil (stap 2).

Het resultaat is het verlies aan gezonde levensjaren per TWh opgewekt door biomassa.

Stap 1: cases naar DALYs

In de studie wordt onderscheidt gemaakt tussen doden, zieken en 'licht' zieken en wordt onderscheidt gemaakt tussen SO₂ (Zwavel dioxide), NO_x (stikstofdioxiden) en PM (fijn stof). Er kan een matrix gemaakt worden met verloren levensjaren:

	SO ₂	NO _x	PM	Totaal
YLL				
YLD				
DALY				

B1.3: Matrix voor het berekenen van het verlies aan gezonde levensjaren.

Wat betreft doden sluiten wij aan bij de YOLL (years of life lost) die wordt gegeven in de studie: 45,38 per TWh. Dit zien wij als de YLL van de DALY formule (zie ook paragraaf 2.3.2).

De YLD van de DALY formule (zie ook paragraaf 2.3.2) is ingewikkelder te berekenen aangezien in de studie aangezien daar alleen over cases, episodes of days wordt gesproken. Wij hebben er nu dus zelf een *disability weight* aan moeten toevoegen en moeten berekenen wat de verwachte duur van aandoening is. Hiervoor maken wij gebruik van de *disability weights* die de WHO toekent. Wij hebben hiervoor de 'best passende' gekozen, zie hiervoor tabel 2.5.¹⁵⁸

Voor de duur van de ziekte gaan we uit van:

- Voor aandoeningen bij kinderen gaan wij uit van 10 jaar (uitgaande van een range van 0 tot 20). Wij gaan ervan uit dat kinderen over de aandoening heen kunnen groeien.
- Voor aandoeningen bij volwassenen gaan wij uit van 30 jaar (uitgaande van een range van 20 tot 80).
- Voor aandoeningen bij 65+'ers gaan wij uit van 7,5 jaar (uitgaande van een range van 65 tot 80).
- Voor aandoeningen zonder leeftijdscategorie gaan wij uit van 40 jaar zoals gebruikelijk in deze rapportage.

¹⁵⁸ WHO (2020).

- Voor aandoeningen waarbij niet gesproken wordt over ‘cases’ maar ‘episodes’ of ‘days’ gaan wij altijd uit van 1 dag en dus $(1/365=)$ 0,003 jaar.

Aan- doening volgens studie	Leeftijd- scategor ie	Disability Weight van WHO	Disabil- ity weight	*	Cases per TWh	*	Duur	=	YLD
Respira- tory hospital admis- sions	Geen	COPD and other chronic res- piratory problems, moderate	0,225	*	0,26	*	40 jaar	=	2,34
Cerebro- vascular hospital admis- sions	Geen	Stroke, long-term conse- quences, moderate	0,07	*	0,56	*	40 jaar	=	1,57
Conges- tive heart failure	65+	Heart failure: moderate	0,072	*	0,25	*	7,5 jaar	=	0,14
Chronic bronchitis	Volwas- senen	COPD and other chronic res- piratory problems, moderate	0,225	*	45,51	*	30 jaar	=	307,19
Chronic bronchitis	Kinderen	COPD and other chronic res- piratory problems, moderate	0,225	*	45,51	*	10 jaar	=	102,40
Restricted activity days	Days ipv cases	Asthma, controlled	0,015	*	1568,83 (Days)	*	1/365 jaar	=	0,06
Broncho- dilator use cases	Wij be- schouwe n dit als 'days'	Asthma, controlled	0,015	*	430,31	*	1/365 jaar	=	0,02
Cough	Days ipv cases	Asthma, controlled	0,015	*	499,48 (Days)	*	1/365 jaar	=	0,02
lower-res- piratory symptom days in patients with asthma	Days ipv cases	Asthma, controlled	0,015	*	288,75 (Days)	*	1/365 jaar	=	0,01
Chronic cough epi- sodes	Episodes ipv cases	Asthma, controlled	0,015	*	54,81 (Episo- des)	*	1/365 jaar	=	0,00

B1.4: Berekening YLD door luchtvervuiling door biomassa.

Op deze manier kunnen we per stof het aantal verloren gezonde levensjaren berekenen volgens data uit de studie uit 1998.

	SO ₂	NO _x	PM	Totaal
YLL	2,26	26,99	16,12	45,37
YLD	6,06	71,84	42,95	120,85
DALY (stap 1)	8,32	98,83	59,07	166,22

B1.5: Berekening DALY door luchtvervuiling door biomassa volgens studie uit 1998.

Stap 2: factor verschil verwachte uitstoot t.o.v. werkelijke uitstoot

In de studie wordt per brandstofsoort en per verontreinigende stof een uitstoot genoemd in g/KWh. Via het CBS hebben we de productie in TJ in 2019 kunnen achterhalen per brandstof.¹⁵⁹ Om tot TWh (en uiteindelijk kWh) te komen hebben we dit vermenigvuldigd met 0,000278.

Uiteindelijk hebben we op deze manier per verontreinigende stof de verwachte uitstoot kunnen bepalen, zoals gehanteerd in de studie uit 1998.

SO _x	Grondstof	g/KWh (gebaseerd op 1998 studie)		Productie Nederland 2019 volgens CBS (TWh)	=	Verwachte emissie (1000 ton)
	Olie	0,789	*	0,1	=	0,076
	Biomassa	0,041	*	11,6	=	0,474
	Gas	0	*	108,0	=	0
	Kolen	1,1	*	18,5	=	20,31
	Totaal					20,87 Gg
NO _x	Olie	0,798	*	0,1	=	0,077
	Biomassa	0,445	*	11,6	=	5,150
	Gas	0,46	*	108,0	=	49,66
	Kolen	2,2	*	18,5	=	40,63
	Totaal					95,52 Gg
PM	Olie	0,012	*	0,1	=	0,001
	Biomassa	0,076	*	11,6	=	0,880
	Gas	0	*	108,0	=	0
	Kolen	0,16	*	18,5	=	2,95
	Totaal					3,84 Gg

B1.6: Berekening verwachte emissie door biomassa in 2019 volgens de data uit de studie uit 1998.

¹⁵⁹ Zie hiervoor: CBS (2022). Elektriciteit en warmte; productie en inzet naar energiedrager. Geraadpleegd op 2 augustus, via <https://opendata.cbs.nl/>.

De feitelijke uitstoot door de productie van warmte en elektriciteit hebben we kunnen achterhalen door de dataset van de European Environment Agency.¹⁶⁰ De feitelijke uitstoot wijkt aanzienlijk af van de verwachte uitstoot:

	Verwacht	Feitelijk in 2019	Factor verschil (stap 2)
SO ₂ ¹⁶¹	20,87 Gg	2,73 Gg	7,67
NO _x	95,52 Gg	14,96 Gg	6,38
PM	3,84 Gg	0,27 Gg	14,21

B1.7: Het verschil tussen de verwachte uitstoot door energieproductie o.b.v. de data uit 1998 en de feitelijke uitstoot door energieproductie.

Stap 3: Verwacht aantal verloren levensjaren Nederland

De laatste stap is om het aantal verloren levensjaren (zoals bepaald in de studie van Berry e.a., 1998) te relateren aan de Nederlandse situatie in 2019 (het laatste jaar waarbij de emissies bekend zijn). Dit doen wij door het aantal verloren levensjaren per TWh te delen door de factor die we in stap 2 hebben bepaald.

In Nederland zullen er dan 20,73 gezonde levensjaren per TWh verloren gaan door luchtverontreiniging door het gebruik van biomassa.

	SO ₂	NO _x	PM	Totaal
Verloren levensjaren (stap 1)	8,32	98,83	59,07	166,22
Factor verschil (stap 2)	7,64	6,38	14,21	n.v.t.
Verwacht aantal verloren levensjaren Nederland (stap 3)	1,09	15,48	4,16	20,73

B1.8: Het aantal verloren gezonde levensjaren na correctie voor recente omstandigheden.

¹⁶⁰ Zie hiervoor: Air pollutant emissions data viewer (Gothenburg Protocol, LRTAP Convention) 1990-2019. Geraadpleegd op 13 januari, via <https://www.eea.europa.eu/>.

¹⁶¹ SO₂ wordt niet apart genoemd. Wij hebben daarom de data van SO_x overgenomen.