



BESCHRIJVING KEV-ONZEKERHEIDSMODEL

Adriaan van der Welle (TNO)

18 november 2021

PBL

Colofon

Beschrijving KEV-onzekerheidsmodel

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2021

PBL-publicatienummer: 4766

Contact

kev@pbl.nl

Auteur

Adriaan van der Welle (TNO)

Eindredactie en productie

Uitgeverij PBL

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Adriaan van der Welle (2021), Beschrijving KEV-onzekerheidsmodel, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

Samenvatting	4
Leeswijzer	5
1 Korte modelbeschrijving	7
1.1 Inleiding	7
1.2 Wat zit er in?	7
1.3 Werking	9
1.4 Wat komt er uit?	12
1.5 Belangrijkste aannames	13
1.6 Beperkingen en verdere ontwikkeling	14
2 Technische modelsamenvatting	15
2.1 Wat doet het model? En wat zijn de toepassingen?	15
2.2 Functie en opbouw	15
2.3 Hoe werkt dit model?	15
2.4 Toepassing en beperkingen	16
3 Uitgebreide modelbeschrijving	18
3.1 Functie en opbouw	18
3.2 Hoe werkt het model?	19
3.3 Toepassingen(en)	22
3.4 Validatie en kalibratie	22
3.5 Beperkingen	23
3.6 Interactie met andere modellen	23
3.7 Verwijzingen naar rapporten met eerdere toepassingen	23
3.8 Wetenschappelijke literatuur	24
4 Invoerdata en rol in model	25
5 Referenties	28

Samenvatting

Projecties voor de Nederlandse energiehuishouding en de uitstoot van broeikasgassen zijn gebaseerd op verwachte ontwikkelingen in de toekomst en daardoor inherent onzeker. Daarom wordt er bij elke Klimaat en Energieverkenning (KEV) een onzekerheidsanalyse uitgevoerd met het KEV onzekerhedenmodel. Dit model is een Monte-Carlo simulatiemodel dat onzekerheidsbandbreedtes oplevert rond de projectiewaarden voor de Nederlandse energiehuishouding en de uitstoot van broeikasgassen. Het betreft onder meer onzekerheidsbandbreedtes voor het aandeel hernieuwbare energie en de totale broeikasgasemissies die relevant zijn voor de beoordeling van de kans waarmee nationale en Europese doelstellingen voor zichtjaren als 2023 en 2030 kunnen worden gehaald.

Leeswijzer

De structuur van dit rapport is gelijk aan de indeling die gebruikt wordt voor de beschrijving van de andere modellen zoals toegepast in het kader van de KEV.

Hoofdstuk 1 geeft een globale beschrijving van het model en is vooral gericht op beleidsmakers en andere belanghebbenden of belangstellenden. Dit hoofdstuk beschrijft het doel van het model en de werking op hoofdlijnen, zonder gedetailleerde achtergrondinformatie. Deze beschrijving is grotendeels gebaseerd op het Achtergronddocument onzekerheden dat bij de NEV 2017 is gepubliceerd.

Hoofdstuk 2 geeft een zeer beknopte technische beschrijving van het model. Dit hoofdstuk is vooral gericht op inhoudelijke (model) experts die snel een beeld willen krijgen van de opzet en scope van het model, en die vertrouwd zijn met de terminologie.

Hoofdstuk 3 volgt dezelfde structuur als hoofdstukken 1 en 2, maar gaat in detail in op de werking, het gebruik en de beperkingen van het model.

Hoofdstuk 4 bespreekt de belangrijkste data die het model gebruikt, en de rol die de data spelen.

Een leesbare modelbeschrijving kan niet op alle details ingaan waarin lezers mogelijk geïnteresseerd zijn. Voor vragen waarop de beschrijving geen antwoord geeft kunt u contact opnemen via kev@pbl.nl.

Terminologie

EED – Energy Efficiency Directive.

KEV - Klimaat en Energieverkenning (voorheen NEV: Nationale Energieverkenning). Raming van energiegebruik en broeikasgasemissies op basis van vastgesteld en voorgenomen beleid, op basis van actuele inzichten over economische ontwikkelingen, energieprijzen etc.

MONIT – Interne PBL-database met statistiek en ramingen die gebruikt worden binnen de KEV.

Monte-Carlo simulatie – In een Monte-Carlosimulatie worden modeluitkomsten bepaald door voor elk van de invoervariabelen van het model een willekeurige waarde (“trekking”) binnen een opgegeven kansverdeling te kiezen, en op basis hiervan de modeluitkomst te bepalen. Door een groot aantal trekkingen te doen, kan voor de modeluitkomst een frequentieverdeling worden bepaald.

PME - Protocol Monitoring Energiebesparing.

Simulatiemodel – model dat het door gedrag van sectoren, bedrijven, huishoudens en/of markten zo goed mogelijk benadert.

Zichtjaar - Een jaar in de toekomst waar een projectie voor is gemaakt. Vaak gaat het om een jaar dat specifiek wordt geanalyseerd, zoals het jaar 2030.

1 Korte modelbeschrijving

1.1 Inleiding

Het KEV onzekerhedenmodel is een Monte-Carlo simulatiemodel dat onzekerheidsbandbreedtes oplevert rond de projectiewaarden voor de Nederlandse energiehuishouding en de uitstoot van broeikasgassen voor de jaarlijkse KEV publicaties (voorheen NEV). Het betreft onder meer onzekerheidsbandbreedtes voor het aandeel hernieuwbare energie, energiebesparing en broeikasgasemissies die relevant zijn voor de beoordeling van de kans waarmee nationale en Europese doelstellingen voor zichtjaren als 2023 en 2030 kunnen worden gehaald. Bij een Monte-Carlo simulatie wordt in een groot aantal trekkingen in plaats van een vast cijfer een kansverdeling als input genomen en wordt er telkens een willekeurig punt uit de kansverdeling genomen – voor elk van de invoervariabelen van een model – waarmee de betreffende modeluitkomst berekend wordt. De onzekerheidsbandbreedtes reflecteren onzekerheden in verwachtingen rond de ontwikkelingen van onder andere economie (groei, prijzen, markten), gedrag, technologie en beleid.

1.2 Wat zit er in?

Typen onzekerheden

In de KEV worden drie typen onzekerheden onderscheiden, die aansluiten bij CPB en PBL (2013):

- a) Kennis- of modelonzekerheden: onzekerheden die te maken hebben met de berekeningsmethode voor de sectorspecifieke cijfers zoals (statistische) onzekerheden in de inputdata, of de gehanteerde modelparametrisaties (vorm van de mathematische relaties, parameterwaarden);
- b) Algemene of externe onzekerheden: macro-economische onzekerheden rond BBP groei, bevolkingsgroei, brandstof- en CO₂-prijzen, tempo van klimaatverandering;
- c) Specifieke beleidsonzekerheden: onzekerheden rond de effectiviteit van specifiek op de energiehuishouding of uitstoot van broeikasgassen gerichte beleidsmaatregelen. Deze onzekerheden werden tot en met de KEV 2019 met name geïnventariseerd voor de beleidsmaatregelen die voortkomen uit het Energieakkoord en met ingang van de KEV 2020 voor beleidsmaatregelen uit het Klimaatakkoord. De manier waarop algemeen en/of overig beleid doorwerkt op de energiehuishouding wordt niet specifiek in kaart gebracht en de onzekerheid in het effect ervan wordt geacht onderdeel te zijn van de onzekerheden die middels bovengenoemde categorieën worden beschreven.

Verschillende onzekerheidsanalyses voor korte en lange termijn

De invloed van verschillende onzekerheden op de projectiewaarden varieert met de beschouwde periode. Op korte termijn liggen een aantal structurele ‘drivers’ van het energiegebruik min of meer vast, zoals de bevolkingsomvang, de omvang en structuur van de economie, de gebouwvoorraad en het patroon van autogebruik. De mogelijke variatie in deze structurele drivers op de korte termijn is klein. Van de onzekerheid op de korte termijn door beleid zoals dat is opgenomen in respectievelijk de variant voor vastgesteld (V) beleid en de variant voor vastgesteld en voorgenomen (VV) beleid kan ook een redelijke robuuste inschatting worden gemaakt. Relatief groot daarentegen is de onzekerheid bij conjuncturele en incidentele ontwikkelingen zoals fluctuaties in brandstofprijzen met een grote impact op de inzet van elektriciteitscentrales, fluctuaties in economische groei,

industriële productie, consumptie, maar ook fluctuaties in buitentemperaturen, windsnelheden per jaar en ongepland onderhoud bij bedrijven. Tot en met de KEV van 2019 werden bandbreedtes voor 2020 bepaald. Deze konden worden gebaseerd op inschattingen van variaties in de bovengenoemde typen structurele en conjuncturele drivers en beleid. Deze bandbreedte gaf daarmee waarden weer waarbuiten een projectie-uitkomst zeer onwaarschijnlijk werd geacht. Met ingang van de KEV 2020 is dit onzekerhedenmodel niet meer gebruikt voor de korte termijn onzekerheidsanalyse.

Op (middel)lange termijn spelen ook de hiervoor genoemde onzekerheden van de korte termijn. Maar vooral de grotere mogelijke afwijkingen in structurele drivers, gedragspatronen en geopolitiek leiden tot grotere en meer fundamentele onzekerheid in de projecties. De mogelijke dynamiek van de energietransitie in Nederland en de landen om ons heen vergroot de onzekerheid rond de (middel) langetermijnontwikkelingen, waardoor een zeer breed palet aan toekomstbeelden tot de mogelijkheden behoort.

Door complexe samenhangen en de grote variëteit aan mogelijkheden is de onzekerheid op (middel) lange termijn dermate groot dat deze met de in de KEV gebruikte methodiek met één referentiescenario niet omvattend in kaart kan worden gebracht. De in de KEV gepresenteerde bandbreedte voor 2030 geeft daarom slechts een indicatief beeld van de onzekerheid op de langere termijn, zonder te beogen het volledige spectrum van mogelijke ontwikkelingen in beeld te brengen. Het is dan ook veel lastiger om aan deze bandbreedte voor de (middel)lange termijn een zinvolle interpretatie van waarschijnlijkheid te geven. Gezien de fundamentele onzekerheden die er kunnen spelen, dient de bandbreedte als een conditionele uitspraak opgevat te worden (welke onzekerheid verwacht je, wanneer je rekening houdt met de volgende ontwikkelingen/condities).

Voor het verkennen van verschillende integraal consistente mogelijke toekomstbeelden op (middel) lange termijn is een scenario-aanpak beter geschikt, zoals bijvoorbeeld in de WLO is gedaan tot 2050 (CPB/PBL, 2015). In de NEV 2016 is in hoofdstuk 1 ingegaan op de vergelijking tussen de NEV en de WLO.

Wat zit er in de bandbreedte?

In de bandbreedtes van de KEV zijn de onzekerheden in energie- en CO₂-prijzen, in economische, demografische en technologische ontwikkelingen en waar relevant bijvoorbeeld weersomstandigheden meegenomen. Ook worden onzekerheden in de effecten van vastgestelde en voorgenomen beleidsmaatregelen meegenomen. Maar dit is met name van toepassing op de bandbreedtes voor energie en emissies in 2025 en hernieuwbaar in 2023 omdat de focus van het meeste beleid op die korte termijn ligt. Beleidseffecten zijn onzeker omdat het effect van beïnvloeding van (markt)gedrag vaak beperkt voorspelbaar is. Tenslotte wordt waar mogelijk en relevant ook rekening gehouden met verschillende ontwikkelingen in het beleid in het buitenland. Dat kan bijvoorbeeld gaan over veranderingen in buitenlands hernieuwbaar energiebeleid die invloed hebben op de uitwisseling van elektriciteit met onze buurlanden, aangezien de elektriciteitsmarkt een (Noord-West) Europese markt is. Het kan ook gaan over wijzigingen in belastingen op transportbrandstoffen in omliggende landen, die invloed kunnen hebben op de mate waarin het goederenvervoer over de landsgrens brandstof tankt.

1.3 Werking

Inventarisatie onzekerheden per sector

Startpunt voor het bepalen van de onzekerheidsbandbreedtes in de KEV is een inventarisatie van de relevante onzekerheden, gebruik makend van de drie typen onzekerheden die in paragraaf 1.2 zijn genoemd. Ten behoeve van de berekeningen wordt voor de geïdentificeerde onzekerheden afgewogen op welke parameters (bv. energiegebruik of broeikasgasemissies) deze onzekerheden van toepassing zijn en welke waarden de betreffende parameters zouden kunnen aannemen ten opzichte van de 'centrale' KEV projectiewaarden. De inzichten over de mogelijke range van afwijkende waarden worden gebruikt bij het bepalen van de bandbreedtes.

Inschatting van effecten van onzekerheden

Voor deze onzekerheden kan op basis van (model)berekeningen en expertinschattingen worden bepaald tot welke afwijking van de projectiewaarden in één of meerdere zichtjaren (b.v. 2020 en 2030) deze zouden kunnen leiden. Het geschatte effect van elke onzekerheid is bepaald voor meerdere indicatoren:

- Finaal energiegebruik (totaal finaal gebruik, idem conform Eurostat 2018, bruto finaal verbruik, finaal elektrisch gebruik, finaal thermisch gebruik)
- Primair energiegebruik (totaal voor alle sectoren, idem conform Eurostat 2018)
- Fossiel energetisch verbruik
- Finaal aardgasverbruik
- Inzet energiedragers (brandstofinzet, warmtelevering (van extern))
- Inzet hernieuwbaar (totaal hernieuwbaar, hernieuwbare warmte, biobrandstof, hernieuwbare elektriciteit)
- Energiebesparing (respectievelijk volgens PME protocol en EED cumulatief 2021-2030)
- WKK (brandstofinzet, warmte-output, elektriciteitsoutput)
- Emissies (CO₂ en overige broeikasgassen (OBKG)).

Relevante indicatoren verschillen per sector: voor de vraagsectoren zijn de effecten op finaal energiegebruik, energiebesparing en emissies in het algemeen het meest relevant, terwijl voor elektriciteitsproductie de inzet van energiedragers als gas en kolen (kolen tot 2030 want daarna uitgefaseerd), windenergie en zonne-energie cruciaal is. Gegeven de klimaattafelindeling zijn onzekerheden rond de inzet van hernieuwbare elektriciteitsproductie toegerekend aan de sector elektriciteitsproductie en de verschillende vraagsectoren.

Sommige indicatoren worden alleen op nationaal niveau gerapporteerd omdat deze alleen betekenis hebben voor beleidsdoelstellingen voor Nederland als geheel:

- Opwekking hernieuwbare energie (EU doelstelling, EA doelstelling)
- Finaal energiegebruik (EU doelstelling, EA doelstelling)
- Hoeveelheid besparing (EED protocol)
- CO_{2-eq} uitstoot (niet-ETS).

Voor elke sector is een invulsheet gemaakt waarin de onzekerheden en hun geschatte effect op de bovengenoemde indicatoren vermeld worden. Elk effect is weergegeven als een onder- en bovengrenze voor de afwijking van de middenwaarde van de indicator.

Monte-Carlo analyse voor bepaling van het netto samengestelde effect

Vervolgens is door middel van een Monte-Carlo analyse het netto samengestelde effect van deze onzekerheden bepaald vanuit de verschillende onzekerheden in de deelsystemen/sectoren. Bij een Monte-Carlo simulatie wordt in plaats van een vast cijfer een kansverdeling als input genomen en wordt een willekeurig punt uit de kansverdeling genomen – voor elk van de invoervariabelen van een model - waarmee de betreffende modeluitkomst berekend wordt. Het voor de KEV gebruikte onzekerheidsmodel bestaat eruit dat voor iedere onzekerheid een waarde wordt getrokken (binnen de voor die factor bepaalde range van mogelijke afwijkingen ten opzichte van het centrale projectieresultaat). Voor verreweg de meeste indicatoren waarvoor een bandbreedte wordt bepaald, worden de individuele trekkingen per onzekerheid vervolgens eenvoudig opgeteld tot een gezamenlijke afwijking van het projectie-resultaat voor de betreffende indicator per (sub)sector. Trekkingen die leiden tot opwaartse afwijkingen kunnen daarbij dus trekkingen die leiden tot neerwaartse afwijkingen compenseren en vice versa. In enkele gevallen zijn additionele rekenstapen nodig, zoals bij de bepaling van de bandbreedte rond het aandeel hernieuwbare energie, waar zowel in de teller als de noemer sprake is van onzekerheden. Deze procedure wordt vaak herhaald (100.000 keren) en resulteert in een frequentieverdeling van afwijkingen van het projectieresultaat. Bij voldoende trekkingen kan de frequentieverdeling worden gezien als kansverdeling. De frequentieverdeling wordt op die wijze gebruikt om de bandbreedte rond elke indicator per sector en voor het totale energiesysteem over alle sectoren heen af te leiden.

De trekkingen van de onzekerheden worden niet gebruikt om het hele NEV-RS modellensysteem door te rekenen met afwijkende inputwaarden, maar om de berekende of geschatte effecten op bepaalde indicatoren (energiebesparing, CO₂ emissies, etc.) in het KEV onzekerhedenmodel per sector te integreren tot totale bandbreedtes voor het energiesysteem als geheel. Het is daarmee te typeren als een semi-integrale benadering.

Gebruikte correlaties

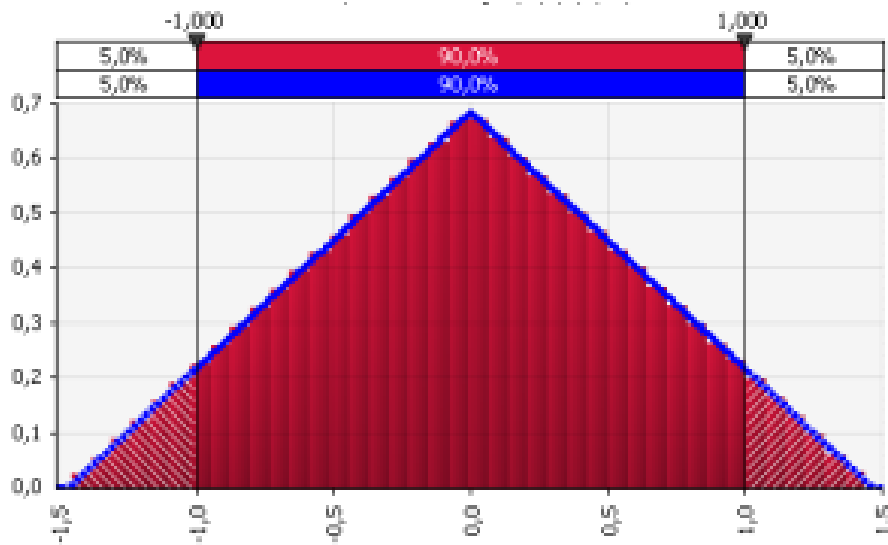
In de onzekerheidsbandbreedtes wordt rekening gehouden met de samenhang of afhankelijkheid tussen onzekerheden. De sterkte van de samenhang tussen onzekerheden wordt weergegeven door de correlatiecoëfficiënt. Als onzekerheden perfect positief of negatief gecorreleerd zijn hangen deze geheel met elkaar samen en is de correlatiecoëfficiënt 1 of -1. Als ze juist geheel onafhankelijk van elkaar zijn is de correlatie 0. Er zijn correlaties tussen dezelfde type onzekerheden in verschillende sectoren en voor sommige sectoren ook tussen onzekerheden binnen een sector. Voorbeelden van het eerste type correlaties ('algemene onzekerheden') zijn economische groei, energieprijzen, inzet van WKK en tempo van klimaatverandering: als een algemene onzekerheid zoals lagere (hogere) economische groei op het finale energiegebruik in één sector zoals de industrie een negatief (positief) effect heeft, dan ligt het voor de hand dat dit ook doorwerkt op het finale energiegebruik in andere sectoren zoals mobiliteit. Voorbeelden van het tweede type correlaties zijn onder meer de positieve correlatie tussen het effect van onzekerheid van dieraantal-en op de uitstoot van N₂O en de uitstoot van CH₄-emissies.

Als deze correlaties zijn gedefinieerd in het model (zie hoofdstuk 4 voor een voorbeeld), ontstaat er samenhang tussen trekkingen uit kansverdelingen voor dezelfde indicatoren in verschillende sectoren (veronderstelling is hier het eerste type correlaties); daardoor worden kansverdelingen breder, zodat de afwijkingen van het projectieresultaat groter worden en daarmee ook de resulterende bandbreedtes voor indicatoren zoals b.v. finaal energiegebruik en CO₂ emissies.

Aannames kansdichtheidsverdeling

Voor de onzekerheden zijn aannames gemaakt over de vorm van de kansdichtheidsverdeling voor de mogelijke afwijkingen ten opzichte van de middenwaarden. Standaard - tenzij expliciet anders aangegeven - wordt daarbij een driehoekskansverdeling aangenomen (zie Figuur 3.1), waarbij de gespecificeerde onder- en bovenwaarden gelden als waarden voor het 5^e en het 95^e percentiel. Bij onzekerheden met een asymmetrische onzekerheid wordt een constructie gemaakt, waarbij de middenwaarde¹ als mediane waarde wordt gekozen en de verdeling bestaat uit twee rechthoekige driehoeken met 50% van de kansmassa aan weerszijden van de middenwaarde. Ook daarbij gelden weer de onder- en bovenwaarden als 5^e en 95^e percentiel. Ten gevolge van de asymmetrie is de hoogte van de linker- en rechterdriehoek verschillend.

Figuur 3.1: Voorbeeld van een driehoekskansverdeling



Bij het vaststellen van het samengestelde effect van de afzonderlijke sectorale onzekerheden zal de totale onzekerheid niet de optelsom van de afzonderlijke bandbreedtes zijn, maar dient eerst de kansverdeling te worden vastgesteld van de som van de trekkingen uit de (driehoeks)kansverdelingen van de afzonderlijke onzekerheden. Van deze samengestelde kansverdeling vormen uiteindelijk weer het 5^e en 95^e percentiel de grens voor de gepresenteerde bandbreedte.

¹ In dit geval is de middenwaarde dus niet de gemiddelde waarde, maar wel de uitkomst met de grootste kans.

1.4 Wat komt er uit?

Bandbreedtes voor het aandeel hernieuwbare energie

Het aandeel hernieuwbare energie is het quotiënt van het bruto-eindverbruik hernieuwbare energie en het totale bruto-eindverbruik. Zowel de teller als de noemer zijn onzeker en voor beide wordt voor elk zichtjaar in het model een bandbreedte bepaald. Tabel 1 laat de resulterende bandbreedtes voor het aandeel hernieuwbare energie (voor beleidsvariant VV) zien, de bandbreedtes zijn hierbij het verschil tussen onder- en bovenwaarden. Ter illustratie is in de laatste kolom de middenwaarde uit MONIT toegevoegd, dit laat zien dat de middenwaarde aan de bovenkant van de bandbreedte zit. Dit is het gevolg van asymmetrische onzekerheden rond de productie van hernieuwbare warmte en hernieuwbare elektriciteit (teller van de berekening), op basis van expertinschattingen en modelberekeningen kan deze productie vooral lager uitvallen en in mindere mate hoger. De variatie in het bruto-eindverbruik is ongeveer symmetrisch (noemer van de berekening). In de bovenwaarde stijgt de teller dus minder sterk dan de noemer, met als gevolg dat het verschil tussen boven- en middenwaarde kleiner is dan het verschil tussen onder- en middenwaarde.

Tabel 1: Bandbreedtes voor het aandeel hernieuwbare energie in 2020, 2023 en 2030 uit KEV 2019

	Onder	Boven	Middenwaarde MONIT
2020	10.4%	12.1%	11.4%
2023	14.4%	17.0%	16.1%
2030	20.7%	26.4%	25.0%

Bandbreedtes voor totale broeikasgasemissies

Tabel 2 toont de absolute afwijkingen van de projecties voor totale broeikasgasemissies in de jaren 2020 en 2030 in de vorm van onder- en bovenwaarden, opnieuw als resultaat van de onzekerheidsanalyse voor de KEV 2019 (PBL, CBS, TNO (2019)). Een onderwaarde van -6,8 Mton CO₂-equivalent betekent dat onderkant van de bandbreedte -6,8 Mton onder de middenwaarde voor 2020 ligt. Om te beoordelen in hoeverre de doelstellingen voor broeikasgasemissiereducties ten opzichte van 1990 gehaald worden, zijn in de KEV onderstaande absolute afwijkingen vertaald naar relatieve afwijkingen ten opzichte van de middenwaarden en weergegeven in percentages broeikasgasemissiereductie ten opzichte van het jaar 1990.

Tabel 2: Relatieve bandbreedten van broeikasgasemissies in 2020 en 2030 t.o.v. middenwaarden

Mton CO ₂ -eq	2020 onder	2020 boven	2030 onder	2030 boven
Totaal klimaattafelindeling	-6.8	8.8	-9.0	14.3
Gebouwde omgeving	-2.9	4.1	-2.5	3.7
<i>Huishoudens</i>	-1.9	2.8	-1.9	2.5
<i>Diensten</i>	-1.1	1.4	-0.7	1.3
Mobiliteit	-2.1	0.9	-3.4	4.6
Industrie	-1.7	1.8	-3.1	4.5
<i>Industrie Non-energetisch</i>	-1.4	1.4	-3.0	3.6
<i>Industrie Energetisch</i>	-1.0	1.1	-0.9	1.5
Landbouw	-1.1	1.5	-2.0	1.2
Elektriciteit	-4.0	5.0	-3.6	6.8

De bandbreedten van de broeikasgasemissies voor de totale klimaattafelindeling zijn het netto-samengestelde effect van de vijf niet-cursieve sectoren voor respectievelijk 2020 en 2030. De waarden voor de sectoren gebouwde omgeving en industrie zijn beide het netto-samengestelde effect van subsectoren die cursief zijn weergegeven. Hierbij is duidelijk te zien dat de resulterende bandbreedte smaller is dan de optelsom van de afzonderlijke bandbreedtes voor de sectoren. In plaats daarvan correspondeert de bandbreedte met het 5^e en 95^e percentiel van de samengestelde kansverdeling. De samengestelde kansverdeling is de som van de trekkingen uit de (driehoeks)kansverdelingen van de afzonderlijke onzekerheden.

1.5 Belangrijkste aannames

De volgende aannames hebben de meeste invloed op de uitkomsten van het model:

- Inputs van sectorexperts op basis van een reeks van modellen (COMPETES, SAVE productie, SERUM, SAWEC, EVA, SAVE-S, RESOLVE-E, LMS, DYNAMO, etc.). Alle toegepaste modellen worden benoemd in het NEV 2017 achtergronddocument (ECN, 2017); de meeste worden beschreven op de website van het PBL. Als de modellen onvoldoende inzicht bieden in de effecten van een onzekerheid dan worden de effecten hiervan bepaald op basis van expertinschattingen.
- Driehoekskansverdeling: in werkelijkheid kunnen de afwijkingen ten opzichte van de middenwaarden anders verdeeld zijn, b.v. normaal verdeeld of met meer of minder onzekerheid omgeven zodat andere percentielen dan 5% en 95% wenselijk kunnen zijn. In principe kan er in het model per onzekerheid voor een ander type kansverdeling worden gekozen.
- Correlaties: in veel gevallen is de aanname dat de correlatie tussen een onzekerheid die in meerdere sectoren werkzaam is circa 0,8 bedraagt. Een voorbeeld hiervan is economische groei. Gunstige economische omstandigheden zullen in het algemeen in alle sectoren een positief effect op de groei hebben, maar die effecten kunnen wel uiteenlopen. De economische groei is dus niet perfect gecorreleerd tussen sectoren. In het geval dat onzekerheden ook andere belangrijke oorzaken hebben, wordt een lagere correlatie van bijvoorbeeld 0.5 aangenomen.

1.6 Beperkingen en verdere ontwikkeling

Het belangrijkste nadeel is dat de resultaten in termen van bijvoorbeeld kansverdelingen of betrouwbaarheidsintervallen een statistische betekenis hebben, wat de interpretatie van de onzekerheden niet altijd even eenvoudig maakt voor niet-experts. Dat geldt ook voor de communicatie van dit type resultaten. Voor een beschrijving van de overige beperkingen bij het huidige toepassingsgebied en gevolgen voor resultaten wordt verwezen naar paragraaf 1.2.

Voor het zichtjaar 2030 geldt dat er geen rekening is gehouden met de mogelijke correlaties tussen verschillende structurele trends zoals economische groei, bevolkingsomvang en energieprijzen. De algemene onzekerheden worden dus alleen afzonderlijk beschouwd en niet in onderlinge samenhang.

Overigens bestaat er een separaat model om de onzekerheden rond luchtmissies te bepalen. Dit model is opgezet volgens dezelfde principes, maar veel beperkter van omvang qua aantal onzekerheden, indicatoren en sectoren.

2 Technische modelsamenvatting

2.1 Wat doet het model? En wat zijn de toepassingen?

Het model berekent op basis van een Monte Carlo simulatie de onzekerheidsbandbreedten rond de KEV-projectiewaarden. Meest relevant zijn de bepaling van bandbreedtes rond CO₂-emissies, opwekking van hernieuwbare energie, finaal energiegebruik en EED besparingen vanwege Europese en nationale doelstellingen. Het model wordt elk jaar voor de KEV gebruikt.

2.2 Functie en opbouw

Tabel 3: Functie en opbouw van het onzekerheidsmodel

Item	Beschrijving
Type model	Monte Carlo simulatie
Doel	Berekening van de onzekerheidsbandbreedten rond de KEV projectiewaarden
Geografische scope	Nederland
Temporele scope	2030, maar voor elk KEV zichtjaar mogelijk
Bouwstenen	Sectoren volgens klimaattafelindeling, onzekerheden met ingeschatte effecten
Top-down of bottom-up?	Bottom-up

2.3 Hoe werkt dit model?

Tabel 4: Hoe werkt het onzekerheidsmodel?

Item	Beschrijving
Invoer	Onder- en bovenwaarden van effecten van onzekerheden op outputvariabelen per sector, correlaties tussen onzekerheden
Basisprincipe	Vraag en aanbod per zichtjaar
Uitvoer	Effecten van onzekerheden worden bepaald op energiegebruik en -productie. Netto (semi-integraal) samengestelde effect van onzekerheden bepaald vanuit de verschillende onzekerheden in de deelsystemen/sectoren. Per (sub)sector vindt eerst een optelling van onzekerheden plaats om te komen tot een gezamenlijke afwijking van het projectieresultaat voor de indicator van de betreffende (sub)sector. Er is dus 1 kansverdeling per (sub)sector voor elk van de indicatoren (finaal energiegebruik, primair energiegebruik, fossiel energetisch verbruik, finaal aardgasverbruik, inzet energiedragers, inzet hernieuwbaar, besparingen, WKK en emissies).

Item	Beschrijving
	Vervolgens wordt het netto samengestelde effect bepaald van meerdere subsectoren (b.v. het samengestelde effect van de sector gebouwde omgeving op een indicator wordt bepaald op basis van de samengestelde kansverdeling voor de subsectoren huishoudens en diensten) en tenslotte voor de gehele Nederlandse energiehuishouding om het netto samengestelde effect voor de Klimaattafelindeling te berekenen.

2.4 Toepassing en beperkingen

Tabel 5: Toepassingen en beperkingen van het onzekerheidsmodel

Item	Beschrijving
Toepassingen	Nationaal: Klimaat- en energieverkenning
Beperkingen	Beperkingen van sectormodellen werken door in dit model, eenzelfde soort kansverdeling voor alle onzekerheden, correlaties niet empirisch onderbouwd, mogelijke correlaties tussen structurele trends worden niet meegenomen. Verder wordt er geen rekening gehouden met veranderingen in monitoringprotocollen en definities, extreme gebeurtenissen en plotselinge doorbraak van technologische gamechangers. Geen anticipatie op nog onbekende onzekerheden ('unknown unknowns').
Gebruik met andere modellen	Nee, geen feedback van dit model naar andere modellen.
Beschikbaarheid model en/of data	Het model is gemaakt in Excel waaraan @Risk formules zijn gekoppeld via de @Risk add-on module van Palisade. Het model en de data zijn niet open source.
Rapporten met eerdere toepassingen	ECN, PBL en CBS (2015, 2016, 2017, 2019), PBL en TNO (2019), PBL, TNO, CBS en RIVM (2020).
Belangrijkste bronnen in de wetenschappelijke literatuur	<p>Burmester, D.E., and Anderson, P.D. (1994), Principles of Good Practice for the Use of Monte Carlo Techniques in Human Health and Ecological Risk Assessments, Risk Analysis, Vol. 14, No. 4.</p> <p>Granger Morgan, M., Henrion, M. (1990), Uncertainty: A guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis, Cambridge University Press.</p> <p>Janssen, P.H.M., Slob, W., Rotmans, J. (1990), Gevoeligheidsanalyse en Onzekerheidsanalyse: een inventarisatie van Ideeën, Methoden en Technieken, RIVM Report nr. 958805001, Bilthoven.</p> <p>Seebregts, A.J., Daniëls, B.W., van der Laag, P.C., Spoelstra, S. (2003), Zeker weten!? - Aanzet tot het bewuster omgaan met onzekerheden in beleidsrelevante studies binnen ECN, ECN-I--03-004, Petten.</p>

Shonkwiler, R.W., and Mendivil, F. (2009), *Explorations in Monte Carlo Methods*, Springer.

Vose, D. (2000), *Risk analysis – A quantitative guide*, second edition, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester.

3 Uitgebreide modelbeschrijving

3.1 Functie en opbouw

3.1.1 Werkingsprincipes

Het model berekent bottom-up op basis van een Monte Carlo simulatie de onzekerheidsbandbreedten rond de KEV projectiewaarden.

De projecties in de KEV komen tot stand door middel van verschillende modelberekeningen, die samen een integraal consistent beeld opleveren van de verwachte ontwikkeling van de energiehuishouding en van de uitstoot van broeikasgassen. Modellen geven een mathematische weerslag van de verbanden tussen verschillende indicatoren die in de energiehuishouding een rol spelen. Naast inzichten over de mathematische relaties (ook wel parametrisaties genoemd) zijn de (waarden van) inputparameters voor de uitkomsten van modellen van groot belang. Zowel met betrekking tot de mathematische verbanden, als met betrekking tot de inputparameters, kan onzekerheid bestaan. Een model is daarbij te allen tijde een versimpeling van de werkelijkheid, waardoor op detailniveau per definitie nuances kunnen ontbreken.

Een ander cruciaal element in de projecties is de verwachting met betrekking tot de dynamiek in het energiesysteem, die er voor kan zorgen dat de mathematische relaties of de waarden van inputparameters veranderen. De snelheid en mate waarin die veranderingen zullen optreden is onzeker. De verwachte dynamiek is in de regel het gevolg van meerdere ontwikkelingen, die ieder voor zich ook anders zouden kunnen verlopen. Dit leidt tot kennis- of modelonzekerheden.

Vanuit modelperspectief kan onderscheid worden gemaakt in ontwikkelingen die de beschreven relaties of parameters *binnen* een model veranderen, zoals technologieverbeteringen of gedragsveranderingen ('kennis- of modelonzekerheden') en ontwikkelingen die als *externe* veranderingen gelden, zoals bijvoorbeeld de omvang van de economische activiteiten, bevolkingsomvang of de prijzen van energiedragers ('algemene of externe onzekerheden'). De bijdrage aan de dynamiek die door beleidsontwikkelingen wordt geïntroduceerd ('beleidsonzekerheden') wordt in de KEV met extra aandacht beschouwd, omdat een van de rollen van de KEV is om het effect van op de energiehuishouding gerichte beleidsinstrumenten in kaart te brengen. Samengevat zijn er dus drie typen onzekerheden: kennis- of modelonzekerheden, algemene of externe onzekerheden en tenslotte beleidsonzekerheden.

3.1.2 Geografische scope, ruimtelijk detail

Het geografische detailniveau is Nederland. Provincies of regio's worden niet onderscheiden.

3.1.3 Temporele scope; Statisch/dynamisch, temporeel detail

In de KEV 2020 is het model alleen ingezet voor het jaar 2030, maar in principe kan het model voor elk KEV zichtjaar worden gedraaid.

3.1.4 Bouwstenen, ingrediënten, structuur

Sectoren volgens klimaattafelindeling:

- Gebouwde omgeving
- Mobiliteit
- Industrie (inclusief industriële activiteiten in de energiesector: raffinaderijen, winningsbedrijven, cokesfabrieken, waterbedrijven, afvalbeheer)
- Landbouw
- Elektriciteit

Inventarisatie van onzekerheidsfactoren vindt plaats per (sub)sector, gevolgd door inschatting van effecten van onzekerheidsfactoren op basis van (model)berekeningen en inschattingen van sector-experts. Voor elke sector is een invulsheet gemaakt waarin de onzekerheden en hun geschatte effecten op de indicatoren (finaal energiegebruik, broeikasgasemissies etc., zie paragraaf 1.3) vermeld worden. Elk effect is weergegeven als een onder- en bovenwaarde voor de afwijking van de middenwaarde van de indicator.

3.2 Hoe werkt het model?

3.2.1 Wat gaat er in en hoe wordt het gebruikt?

Algemene procedure

In het algemeen worden de volgende stappen onderscheiden:

- 1) Nadat de experts voor elk van de sectoren onder- en bovenwaarden van effecten van elke onzekerheid op energiegebruik en -productie hebben aangeleverd, vindt in het model eerst vertaling van de gas- en brandstofinzet (ook in WKKs) naar marginale CO₂-emissies in ETS en niet-ETS sectoren plaats, via de emissiefactor per brandstof en het aandeel ETS per sector. De CO₂-emissiefactor is vaak die van aardgas, maar bij de sectoren transport en industriële activiteiten in de energiesector wordt uitgegaan van inzet van andere brandstoffen met bijbehorende emissiefactoren (bij de laatste sector gedifferentieerd naar subactiviteit).
- 2) Gegeven de driehoekskansverdeling wordt een trekking vertaald naar een waarde die meestal in het bereik (onderwaarde, bovenwaarde) ligt. De gebruikte Trigen functie is de volgende: RiskTrigen (onderwaarde, meest waarschijnlijke waarde, bovenwaarde, onderste percentiel, bovenste percentiel). Deze is standaard ingevuld als: RiskTrigen (-1,0,1,5,95). Dit betekent een driehoekskansverdeling op basis van drie waarden: één bij de meest waarschijnlijk waarde (hier 0) en twee bij het gespecificeerde onderste (hier: 5%) en bovenste (hier: 95%) percentiel. Het 5^e percentiel is daarbij gelijk aan -1 en het 95^e percentiel aan +1, dus waarden onder de gespecificeerde onderwaarde en boven de gespecificeerde bovenwaarde zijn bij deze kansverdeling mogelijk.
- 3) In het geval van een correlatie van een onzekerheid met een andere onzekerheid wordt de kansverdelingsfunctie aangevuld met een zesde parameter: RiskCorrMat. Deze functie is als volgt gedefinieerd: "RiskCorrmat(matrix cell range, position, instance) identifies a distribution function of an input as being "attached" to a correlation matrix to allow multivariate correlation. This function identifies a matrix definition range, the position in the matrix,

and optionally a unique correlation instance.” Er wordt in het KEV onzekerhedenmodel geen gebruik gemaakt van een ‘unique correlation instance’.

- 4) Een negatieve waarde uit de trekking wordt vervolgens met een ‘If-Then’ Excel formule gecombineerd met de onderwaarde terwijl een positieve waarde uit de trekking gecombineerd wordt met de bovenwaarde. Een groot aantal iteraties leidt vervolgens tot een frequentieverdeling rondom het projectieresultaat voor één onzekerheid.
- 5) Vervolgens kan het samengestelde effect van verschillende onzekerheden van een (deel)sector worden vastgesteld, bijvoorbeeld voor beleidsvariant vastgesteld en voorgenomen beleid (VV). Hiervoor moet eerst de kansverdeling worden bepaald van de som van trekkingen uit de (driehoeks) kansverdelingen van de afzonderlijke onzekerheden. Van deze samengestelde kansverdeling worden weer het 5e en 95e percentiel als grens voor de bandbreedte genomen.
- 6) Voor elke verdere aggregatiestap geldt dat eerst een kansverdeling moet worden bepaald en dat de resulterende kansverdeling telkens iets smaller wordt ten opzichte van de som van de onderliggende bandbreedtes.

Berekening van de bandbreedte voor het aandeel hernieuwbare energie

Zoals aangegeven in paragraaf 1.3 zijn in enkele gevallen additionele rekenstappen nodig, zoals bij de bepaling van de bandbreedte rond het aandeel hernieuwbare energie, waar zowel in de teller als de noemer sprake is van onzekerheden. Het aandeel hernieuwbare energie is het quotiënt van het bruto-eindverbruik hernieuwbare energie en het totale bruto-eindverbruik.

De teller is een samengestelde kansverdeling van de optelling van de projectie (oftewel middenwaarde) voor het bruto-eindverbruik hernieuwbare energie uit MONIT en de afwijking van het projectieresultaat in de vorm van de totale inzet van hernieuwbare warmte en elektriciteit in het Nederlandse energiesysteem (volgens Klimaattafelindeling) uit de onzekerheidsanalyse. Op basis hiervan wordt voor beide variabelen gezamenlijk de onder- en bovenwaarde (5^e en 95^e percentiel) van het bruto-eindverbruik hernieuwbare energie bepaald.

De noemer is ook een samengestelde kansverdeling, in dit geval van de optelling van de projectie voor het totale bruto-eindverbruik uit MONIT en de afwijking van het projectieresultaat i.e. het totale bruto-eindverbruik van het Nederlandse energiesysteem (volgens Klimaattafelindeling) uit de onzekerheidsanalyse. Op basis hiervan wordt voor beide variabelen gezamenlijk de onder- en bovenwaarde (0^e en 100^e percentiel) van het bruto-eindverbruik bepaald. Het totale bruto-eindverbruik is hierbij gelijk aan het niet-temperatuur gecorrigeerde bruto energetisch verbruik, aangezien het aandeel hernieuwbare energie moet worden bepaald op basis van niet-temperatuur gecorrigeerde data. Het totale finale energiegebruik wordt beïnvloed door de onvoorspelbaarheid van het weer op korte termijn in sectoren met een weersafhankelijke warmtevraag, d.w.z. gebouwde omgeving (uitgesplitst naar huishoudens en diensten) en landbouw (specifiek de glastuinbouw). Vergeleken met een gemiddeld jaar is onderzocht wat de maximale afwijking is voor een koude winter en een warme zomer. De variatie in heating degree days is ten opzichte van het gemiddelde in de historische periode vanaf 2005 maximaal 20% hoger en 13% lager dan het gebruikte KNMI scenario. Deze waarden zijn vervolgens toegepast op de verbruikssaldi van aardgas en van biomassa. Hierbij is volledige correlatie verondersteld tussen de onvoorspelbaarheid van het weer in de verschillende sectoren. Dit leidt tot een range van mogelijke afwijkingen ten opzichte van het centrale projectieresultaat (‘input voor het onzekerhedenmodel’) en voor deze range is vervolgens in het onzekerhedenmodel een kansverdeling bepaald. De kansverdeling van het effect van de

ontwikkeling van het weer op het bruto-eindverbruik ('afwijking van het projectieresultaat') is daarbij opgeteld bij de projectie voor het finale energiegebruik uit MONIT, dit resulteert in de eerdergenoemde samengestelde kansverdeling van het totale bruto-eindverbruik van het Nederlandse energiesysteem.

Berekening van effecten op de sector elektriciteit

In het model worden additionele rekenregels gebruikt voor de volgende typen onzekerheden:

- a) Onzekerheden rondom inzet van private WKK eenheden in de sectoren diensten, industrie, landbouw en industriële activiteiten in de energiesector en inzet van joint-venture WKK eenheden in de elektriciteitssector; bij een hogere (lagere) inzet van WKK eenheden is er minder (meer) elektriciteit uit centrale eenheden nodig en minder (meer) warmte van gas-ketels. Onder meer met correlaties is geborgd dat deze relaties in het onzekerhedenmodel worden meegenomen.
- b) Onzekerheden rondom de inzet van hernieuwbaar; bij een hogere productie uit hernieuwbare bronnen is er minder productie nodig uit conventionele kolen- en gascentrales en vice versa.
- c) Onzekerheden rondom de vraag naar elektriciteit in sectoren waarbij een hogere (lagere) vraag uit de sectoren tot een hogere (lagere) inzet van conventionele kolen- en gascentrales in Nederland leidt omdat dit veelal de marginale eenheden zijn. Op basis van COMPETES runs is per zichtjaar bepaald hoeveel uren respectievelijk flexibele kolen- en gascentrales de marginale eenheden zijn. De gewogen gemiddelde efficiëntie van respectievelijk kolen- en gascentrales is gebruikt om meer of minder elektriciteitsproductie te vertalen naar de inzet van de energiedragers kolen en gas.

3.2.2 Wat komt er uit?

Naast bandbreedten voor het aandeel hernieuwbare energie en totale broeikasgasemissies zoals besproken in paragraaf 1.4 worden er ook bandbreedten bepaald voor de overige indicatoren. Voor een groot aantal indicatoren wordt in deze paragraaf het netto samengestelde effect van de verschillende onzekerheden in de deelsystemen/sectoren getoond.

De gezamenlijke effecten van de verschillende onzekerheden op de bandbreedtes per indicator voor de NEV 2017 worden getoond als relatieve afwijkingen ten opzichte van de projectiewaarden voor 2020 en 2030 Tabel 6.

Tabel 6: Bandbreedtes voor onzekerheden van het Nederlandse energiesysteem op basis van resultaten van Monte Carlo analyses voor de NEV 2017 voor Vastgesteld en voorgenomen beleid.

Item	Beschrijving	2020	2020	2030	2030
		Onder	Boven	Onder	Boven
Finaal energiegebruik (PJ)	Totaal finaal verbruik	-4%	4%	-8%	10%
	Finaal elektrisch verbruik	-4%	4%	-7%	8%
	Finaal thermisch verbruik	-4%	4%	-8%	11%
Inzet energiedragers (PJ)	Brandstofinzet	-6%	8%	-15%	22%
	Warmtelevering (van extern)	-6%	4%	-10%	20%
Inzet hernieuwbaar (PJ)	Totaal hernieuwbaar	-9%	6%	-19%	12%
	Hernieuwbare warmte	-11%	7%	-33%	11%
	Biobrandstof	-15%	15%	-35%	19%
	Hernieuwbare elektriciteit	-15%	12%	-17%	16%
Besparing (PJ)	Besparing volgens PME	-7%	9%	-26%	23%
	EED cumulatief 2013-2020	-3%	5%	nvt	nvt
WKK (PJ)	Brandstofinzet	-27%	25%	-32%	29%
	Elektriciteitsoutput	-34%	31%	-46%	39%
CO₂ door brandstofinzet (Mton)	Totaal	-6%	7%	-13%	20%
	Niet-ETS	-5%	5%	-7%	14%
	ETS	-9%	11%	-22%	29%
OBKG (Mton)	Totaal	-6%	2%	-7%	4%
	Niet-ETS	-6%	2%	-7%	4%
	ETS	0%	0%	-25%	25%
Totaal emissies (Mton)	Totaal	-5%	5%	-11%	17%
	Niet-ETS	-4%	3%	-6%	10%
	ETS	-9%	11%	-21%	29%

3.3 Toepassingen(en)

Zie paragraaf 3.7 voor verwijzingen naar rapporten met eerdere toepassingen.

3.4 Validatie en kalibratie

Validatie vindt op verschillende manieren plaats:

- Vergelijking van aangeleverde onder- en bovenwaarden van effecten van elke onzekerheid op indicatoren, met de onder- en bovenwaarden van het meest recente voorgaande jaar. Indien er (significante) verschillen zijn in grootte of richting wordt gekeken of de toelichting dit verklaart, zo nee dan wordt gekeken naar het onderliggende sectorale model of wordt de betreffende expert gevraagd naar onderbouwing van de aanpassing.
- Terugkoppeling van resultaten aan experts van sectoren. Dit kan leiden tot bijstelling van effecten of het toevoegen of schrappen van een onzekerheid.

- Vergelijking van de resultaten met de resultaten van het meest recente voorgaande jaar. Zonodig checks van de belangrijkste verklarende variabelen daarvan in het onzekerhedenmodel. Vaak ook discussie met experts van sectoren.

Kalibratie van inputs vindt niet in het onzekerhedenmodel plaats, maar gebeurt in een eerdere stap door de sectorexperts; zij bepalen de bandbreedtes met inachtneming van historische data en projecties voor de toekomst.

3.5 Beperkingen

Naast de beperkingen die in hoofdstuk 1 zijn benoemd, zijn de volgende modelbeperkingen relevant. Er wordt geen rekening gehouden met veranderingen in monitoringprotocollen en definities (bijvoorbeeld de omrekenfactoren voor mondiale opwarmingspotentiëlen van niet-CO₂-broeikasgassen), met extreme gebeurtenissen, zoals oorlogen, grote rampen of pandemieën en met plotselinge doorbraak van technologische gamechangers. Gezien hun aard wordt ook niet geanticipeerd op nu nog onbekende onzekerheden ('unknown unknowns').

Een meer fundamenteel nadeel van de huidige toepassing van de Monte Carlo methode is dat normaliter alleen de onzekerheden in parameters (basisinvoergegevens en interne modelparameters) kunnen worden beschouwd en worden geanalyseerd. Andere bronnen van onzekerheid (volledigheid, modelstructuur) die niet tot parameters kunnen worden herleid, kunnen met deze methode niet of slechts zeer beperkt worden geanalyseerd.

Bij de parameterisatie van het model zijn er beperkingen rond het inschatten van de kansverdelingen voor de parameters en van de eventuele correlaties daartussen. De aannames voor correlaties hebben een belangrijke impact op het eindresultaat; de tamelijk ruwe inschatting van correlaties is daarom een beperking. Er is nagedacht over manieren om empirisch de correlaties in te schatten, op basis van historische gegevens, maar dat bleek moeilijk te operationaliseren. Ook zijn er veel variabelen waarvoor tijdsreeksen verzameld zouden moeten worden om een schatting te kunnen maken van de correlaties en is deze gedetailleerde data waarschijnlijk niet beschikbaar op (sub)sectorniveau.

3.6 Interactie met andere modellen

Er is geen feedback van dit model naar andere modellen. Wel zijn de projectiewaarden uit MONIT nodig om absolute bandbreedten per indicator te kunnen berekenen.

3.7 Verwijzingen naar rapporten met eerdere toepassingen

In het rapport van Seebregts et al. (2003) is de noodzaak voor het uitvoeren van onzekerheidsanalyse in het kader van de Referentieramingen Energie en Emissies al onderkend, zijn de beschikbare methoden geïnventariseerd waaronder het gebruik van Monte Carlo onzekerheidsanalyse. Voor deze onzekerheidsanalyse werd het @risk softwarepakket al toegepast als standaardpakket.

Vervolgens zijn er onzekerheidsbandbreedten uitgerekend voor hernieuwbare energie, besparingen en CO₂ emissies. De onzekerheidsanalyse kreeg in de loop van de jaren steeds meer een integraal karakter.

De eerste integrale doorrekening van onzekerheden heeft plaatsgevonden voor de Nationale Energieverkenning 2015 (ECN, PBL en CBS, 2015). Ook voor de NEV's van daaropvolgende jaren (2016, 2017) zijn er integrale doorrekeningen van onzekerheden uitgevoerd, waarbij telkens verfijningen hebben plaatsgevonden. Nadat in 2018 een partiële update van de NEV 2017 in de korte termijn raming heeft plaatsgevonden (PBL, 2019) is in 2019 de onzekerheidsanalyse voor het eerst voor de KEV uitgevoerd volgens de Klimaattafelindeling en met een reeks aan additionele indicatoren (PBL, TNO en CBS, 2019).

3.8 Wetenschappelijke literatuur

Burmaster, D.E., and Anderson, P.D. (1994), Principles of Good Practice for the Use of Monte Carlo Techniques in Human Health and Ecological Risk Assessments, Risk Analysis, Vol. 14, No. 4.

Granger Morgan, M., Henrion, M. (1990), Uncertainty: A guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis, Cambridge University Press.

Janssen, P.H.M., Slob, W., Rotmans, J. (1990), Gevoeligheidsanalyse en Onzekerheidsanalyse: een inventarisatie van Ideeën, Methoden en Technieken, RIVM Report nr. 958805001, Bilthoven.

Seebregts, A.J., Daniëls, B.W., van der Laag, P.C., Spoelstra, S. (2003), Zeker weten!? - Aanzet tot het bewuster omgaan met onzekerheden in beleidsrelevante studies binnen ECN, ECN-I--03-004, Petten.

Shonkwiler, R.W., and Mendivil, F. (2009), Explorations in Monte Carlo Methods, Springer.

Vose, D. (2000), Risk analysis – A quantitative guide, second edition, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester.

4 Invoerdata en rol in model

Hieronder worden ter illustratie enkele tabellen met invoerdata getoond.

Figuur 4.1 en Figuur 4.2 tonen de onzekerheden voor beleidsvariant VV in de sector huishoudens, onderdeel van de klimaattafel gebouwde omgeving, voor het jaar 2020. (In het onzekerhedenmodel is het één tabel, hier is deze opgesplitst vanwege de breedte). Op de verticale as staan de verschillende onzekerheden, op de horizontale as de indicatoren.

Voor een meer gedetailleerde toelichting wordt verwezen naar hoofdstuk 4 van ECN (2017).

Voor andere sectoren zijn vergelijkbare tabellen met invoerdata opgesteld. Daarnaast wordt voor de berekening van het aandeel hernieuwbare energie gebruik gemaakt van projecties uit MONIT van hernieuwbare energieproductie en bruto eindverbruik.

Figuur 4.3 toont de correlaties voor de onzekerheid economische groei in de VV beleidsvariant voor het jaar 2020. Economische groei is een onzekerheid in de sectoren Mobiliteit (VV, want voorheen: verkeer en vervoer), Industrie – nijverheid (IND_N), Industriële activiteiten in de energiesector (IND_E) en de landbouw (LT, voorheen: land- en tuinbouw).

Zoals eerder opgemerkt is de aangenomen correlatie tussen economische groei in verschillende sectoren 80%. De economische groei is namelijk vaak niet gelijk over sectoren verdeeld, en daarmee niet perfect gecorreleerd tussen sectoren. De ontwikkeling van energie-efficiëntie in de industriële nijverheid is enigszins gerelateerd aan de ontwikkeling van de economische groei in deze sector, maar minder aan de economische groei in andere sectoren. Gegeven dat de ontwikkeling van de energie-efficiëntie in de industriële nijverheid dus ook andere belangrijke oorzaken kent, is hiervoor een factor 0,4-0,5 is aangenomen. De correlaties zijn hetzelfde voor verschillende beleidsvarianten en zichtjaren.

Figuur 4.1: Algemene onzekerheden subsector huishoudens (vastgesteld en voorgenomen beleid) voor zichtjaar 2020

Algemene onzekerheden (vastgesteld + voorgenomen)				Effect Finaal Energiegebruik				Inzet energiedragers				Inzet hernieuwbaar									
no.	onzekere factor	sector	toelichting	finaal elektrisch gebruik		finaal thermisch gebruik		Gasinzet		Warmtelevering (van extern)		hernieuwbare warmte		groen gas		biobrandstof		hernieuwbare elektriciteit			
				onder	boven	onder	boven	onder	boven	onder	boven	onder	boven	onder	boven	onder	boven	onder	boven	onder	boven
				PJ elek	PJ elek	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJh	PJh	PJh	PJh	PJh	PJh	PJh	PJh
1	Woningvoorraadontwikkeling, samenhang	HH	Onder: minus 15% nieuwbouwwoningen; boven	-0.29	0.29	-0.62	0.62	-0.5	0.5	-0.09	0.09	-0.10	0.10							-0.16	0.16
2	sloop	HH	Onder: minus 15% sloop; boven plus 15% sloop	0.42	-0.42	1.31	-1.31	1.3	-1.3	0.04	-0.04									0.00	0.00
3	Klimaatfactor	HH	onder: minder klimaatverandering, weer en			6.99	-9.38	7.0	-9.4	0.41	-0.55										
4	Modelonzekerheid	HH	Gebaseerd op afwijking klimaatgecorrigeerde	-3.29	3.29	-11.02	11.02	-11.1	11.1	-0.54	0.54										
5	Snellere groei bezit van bepaalde	HH	Onzekerheid ingroei apparaten geschrapt																		
6	Ontwikkeling weer	HH	onder: warme winter = minder verbruik boven:																		
7	Invulling BENG eisen	HH	Effect pas na 2020 Onder volledig All-electric ipv																		
8	Snellere of langzamere toename	HH	Snellere of langzamere groei hybride of lucht WP	-0.26	0.26			0.7	-0.7			-0.65	0.65								
9	Houtstook bij huishoudens	HH	Kennis/model onzekerheid					-4.4	4.3			-6.00	5.82								
10	Zon-PV	HH	invoersheet HE																	-2.1	2.1

Algemene onzekerheden (vastgesteld + voorgenomen)				Besparing				WKK						Aandeel ETS	CO2 Emissies			
no.	onzekere factor	sector	toelichting	besparing volgens PME		EED cumulatief 2013-2020		brandstofinzet		warmteoutput		elektriciteitoutput		emissie-factor	co2 ets		co2 nets	
				onder	boven	onder	boven	onder	boven	onder	boven	onder	boven		onder	boven	onder	boven
				PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ elek	PJ elek		Mton CO2	Mton CO2	Mton CO2	Mton CO2
1	Woningvoorraadontwikkeling, samenhang	HH	Onder: minus 15% nieuwbouwwoningen; boven	-0.51	0.51								0	0.0565	0	0	-0.03	0.03
2	sloop	HH	Onder: minus 15% sloop; boven plus 15% sloop										0	0.0565	0	0	0.08	-0.08
3	Klimaatfactor	HH	onder: minder klimaatverandering, weer en										0	0.0565	0	0	0.39	-0.53
4	Modelonzekerheid	HH	Gebaseerd op afwijking klimaatgecorrigeerde										0	0.0565	0	0	-0.63	0.63
5	Snellere groei bezit van bepaalde	HH	Onzekerheid ingroei apparaten geschrapt										0	0.0565	0	0	0.00	0.00
6	Ontwikkeling weer	HH	onder: warme winter = minder verbruik boven:										0	0.0565	0	0	0.00	0.00
7	Invulling BENG eisen	HH	Effect pas na 2020 Onder volledig All-electric ipv										0	0.0565	0	0	0.00	0.00
8	Snellere of langzamere toename	HH	Snellere of langzamere groei hybride of lucht WP										0	0.0565	0	0	0.04	-0.04
9	Houtstook bij huishoudens	HH	Kennis/model onzekerheid										0	0.0565	0	0	-0.25	0.24
10	Zon-PV	HH	invoersheet HE										0	0.0565	0	0	0.00	0.00

Figuur 4.3: Correlaties tussen economische groei in verschillende sectoren

ECO VV	@RISK Correlations	economische	Economische	Economie- la	macro-econoc	Ontwikkeling
	economische groei in '[Model KEV2019 YR2020 final.xlsx]AtRiskVV!\$E\$39	1				
	Economische groei in '[Model KEV2019 YR2020 final.xlsx]AtRiskIND_N!\$E\$41	0.8	1			
	Economie- lage en hoge economische groei in '[Model KEV2019 YR2020 final.xlsx]AtRiskIND_E!\$E\$36	0.8	0.8	1		
	macro-economische groei in '[Model KEV2019 YR2020 final.xlsx]AtRiskLT!\$E\$38	0.8	0.8	0.8	1	
	Ontwikkeling energie-efficiëntie in '[Model KEV2019 YR2020 final.xlsx]AtRiskIND_N!\$E\$44	0.4	0.5	0.4	0.4	1

- Onzekerheden 5-7 hebben in de tabel geen effecten; onzekerheid 5 is geschrapt, het effect op het bruto eindverbruik van onzekerheid 6 staat op een aparte sheet waarop het aandeel hernieuwbare energie wordt berekend, onzekerheid 7 is alleen voor zichtjaar 2030 relevant.
- Onzekerheid 10 is de onzekerheid rond de ingroeisnelheid van zon-PV die is toegerekend aan de sector huishoudens op basis van verdeling van productie over sectoren in RESOLVE-E.
- Binnen de sector huishoudens is geen inzet van WKKs, elektriciteit (grotendeels) en warmte worden betrokken uit de energiesector.
- Effect op CO₂ emissies: de sector huishoudens is een niet-ETS sector, vandaar dat het aandeel ETS nul is. De CO₂ emissies voor de niet-ETS sector zijn de gasinzet maal emissiefactor maal (1 - aandeel ETS).

5 Referenties

CPB en PBL (2013), *Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-baten analyse*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving/Centraal Planbureau.
<https://www.cpb.nl/sites/default/files/publicaties/download/cpb-pbl-boek-10-algemene-leidraad-voor-maatschappelijke-kosten-batenanalyse.pdf>

CPB en PBL (2015), *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving*. Cahier Klimaat en Energie, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving/Centraal Planbureau.
<https://www.cpb.nl/sites/default/files/publicaties/bijlagen/cpb-pbl-boek-19-wlo-2015-klimaat-en-energie.pdf>

ECN (2017), *Achtergronddocument onzekerheden Nationale Energieverkenning 2017*, ECN-E--17-049.
<https://publicaties.ecn.nl/ECN-E--17-049>

ECN, PBL en CBS (2014), *Nationale Energieverkenning 2014*, Projectcoördinatie Michiel Hekkenberg en Martijn Verdonk.
http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2014-nationale-energieverkenning-2014_01364.pdf

ECN, PBL en CBS (2015), *Nationale Energieverkenning 2015*, Projectcoördinatie Koen Schoots en Pieter Hammingh.
http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2015-nationale-energie-verkenning-2015_01712.pdf

ECN, PBL en CBS (2016), *Nationale Energieverkenning 2016*, Projectcoördinatie Koen Schoots, Michiel Hekkenberg en Pieter Hammingh.
http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2016-nationale-energieverkenning-2016_2070.PDF

ECN, PBL en CBS (2017), *Nationale Energieverkenning 2017*, Projectcoördinatie: Koen Schoots, Michiel Hekkenberg en Pieter Hammingh.
http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2017-nationale-energieverkenning-2017_2625.PDF

PBL en TNO (2019), *Kortetermijnraming voor emissies en energie in 2020. Zijn de doelen uit de Urgenda-zaak en het Energieakkoord binnen bereik?*, Projectcoördinatie: Pieter Hammingh.
https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-kortetermijnraming-voor-emissies-en-energie-in-2020_3430.pdf

PBL, ECN, RIVM (2016) *Luchtverontreinigende stoffen in de Nationale Energieverkenning 2015*
Achtergronden van de NEV-raming luchtverontreinigende stoffen.
https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2016-luchtverontreinigende-stoffen-in-de-nationale-energieverkenning-2015_2442.pdf

PBL, CBS, TNO (2019), *Klimaat- en Energieverkenning 2019*, Projectcoördinatie: Koen Schoots en Pieter Hammingh.
<https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-klimaat-en-energieverkenning-2019-3508.pdf>

PBL, TNO, CBS en RIVM (2020), *Klimaat- en Energieverkenning 2020*, Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving. Projectcoördinatie: Pieter Hammingh, Marijke Menkveld, Bert Daniëls, Paul Koutstaal, Klara Schure, Michiel Hekkenberg.

<https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-klimaat-en-energieverkenning2020-3995.pdf>