

Earth, Life & Social SciencesPrincetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nl

T +31 88 866 42 56

TNO-rapport**TNO 2016 R10318****Vernieuwd Emissiemodel Houtkachels**

Datum	22 maart 2016
Auteur(s)	Ing. B.I. Jansen
Aantal pagina's	28 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	RIVM
Projectnaam	Emissieregistratie 2013-2014
Projectnummer	060.03100

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2016 TNO

Samenvatting

In dit rapport wordt het model beschreven, waarmee jaarlijks de emissies van luchtverontreiniging uit houtkachels in Nederland worden berekend. Dit model is in 2010 gemaakt en wordt nu geactualiseerd. Door toepassing van dit model en het te updaten met de meest recente gegevens kan jaarlijks een verantwoorde en gedocumenteerde schatting van de emissie uit houtkachels worden gemaakt.

Naast een beschrijving van het model besteedt dit rapport aandacht aan de wijziging in het houtverbruik, de stookwaarde en emissiefactoren, waarbij ook de historische waardes aangepast zijn. Het houtverbruik is voorheen berekend met behulp van de dichtheid van 300 kg/m^3 . Onderzoek van het CBS [14] heeft echter uitgewezen dat dit een te lage waarde is en stelt dat dit 500 kg/m^3 moet zijn. Verder is in dit onderzoek van het CBS bepaald dat de stookwaarde van het gebruikte hout $13,6 \text{ MJ/kg}$ moet zijn. Dit in tegenstelling tot de eerder veronderstelde waarde van $15,5 \text{ MJ/kg}$.

Als gevolg van de wijziging in de stookwaarde, zijn de emissiefactoren aangepast. Alle emissiefactoren die gebaseerd waren op het aantal verstookte kilogrammen hout, zijn omgezet naar een emissiefactor gebaseerd op de energie inhoud van het hout. De emissiefactoren die gehanteerd werden in het vorige rapport over het emissiemodel houtkachels [15], zijn gedeeld door de stookwaarde van $15,5 \text{ MJ/kg}$, zodat de nieuwe emissiefactoren worden uitgedrukt als kg/MJ .

Tevens geeft dit rapport aan hoe het model onderhouden kan worden op basis van een jaarlijkse invoer van het Nederlandse aantal woningen. Daarnaast zal het model vijfjaarlijks gekalibreerd moeten worden met gegevens over het aantal kachels in Nederland, en de hoeveelheid hout die verstookt wordt. Deze gegevens zullen op basis van onderzoeken en enquêtes verzameld moeten worden (bv. het CBS Woononderzoek WoON).

De uitkomsten van het nieuwe model zijn vergeleken met verschillende recente studies en het blijkt dat de uitkomsten goed overeenkomen met de waardes uit de studies. Zodoende mag worden aangenomen dat het model een verantwoorde schatting van de emissies geeft gerelateerd aan de meest recente inzichten. Het model berekent dat in 2012 ongeveer 980.000 kachels en haarden staan geïnstalleerd in Nederland waarin 1.260.000 ton hout is verstookt.

Summary

For the Dutch Emission Inventory a model is built that enables calculation of annual wood use and emissions based upon the number of wood stoves, inset stoves and indoor fire places (further mentioned as stoves). Within this report it is explained how the model works and which assumptions are made. Furthermore it is explained how the output is validated.

Since 2003 the emissions of stoves in the Dutch Emission Inventory could not be updated due to a lack of data. In the beginning of 2010 a report [4] by Segers was released, containing data that could be used to update the emission estimates of stoves.

The best way to obtain a consistent method throughout all years was to build a model, which predicts the emissions based on available data for historic years and extrapolating these to the most recent year. In 2013 Segers [14] wrote another report, which included suggestions for changing the density of stacked wood and the heating value.

In most earlier studies on wood consumption in stoves, the amount of wood was estimated based on a density of 300 kg/m^3 stacked wood. Within the new CBS study [14] it's reported that this value should be 500 kg/m^3 . Within this report the heat content is changed to $13,6 \text{ MJ/kg}$ wood instead of the value of $15,5 \text{ MJ/kg}$ that was applied before. As a result of changing the amount of wood and the heating value, it was decided to change the unitary expression of emission factors as well. The former emission factors expressed as kg/kg were recalculated by dividing the emission factors by the former heat content $15,5 \text{ MJ/kg}$ resulting in an emission factor based on the heating content (kg/MJ).

The model uses data of recent studies to calculate the emissions of air pollutants from stoves. Based on a comparison of the model results and recent literature it is concluded that the model yields accurate results from a minimum of input data. In the model the number of stoves is calculated based on the number of premises in the Netherlands, multiplied by correction factors to predict yearly sales. The yearly sales are corrected for removal of (old) stoves based on median life times (using a Weibull distribution). The model predicts a total of about 980.000 wood stoves and fireplaces in 2012 for the Netherlands.

The model calculates the total amount of wood use based on wood consumption per hour of each type of stove and the operating hours per year per stove. For the year 2012 it's calculated that about $1260 \cdot 10^6$ kilogram of wood was burned in the stoves and fireplaces in The Netherlands.

The model should be updated regularly in order to obtain reliable results. Easy accessible data such as the number of premises in the Netherlands have to be updated yearly. Data about the number of woodstoves in the Netherlands, and the wood consumption should be acquired by surveying the actual situation periodically (at least once in 5 years).

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
	Summary	3
1	Inleiding	5
2	Modelbeschrijving	6
2.1	Inleiding	6
2.2	Methode	7
2.3	Beschrijving van de model variabelen	8
3	Emissiefactoren	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Fijn stof	13
3.3	Koolstofdioxide (CO ₂)	14
4	Resultaten	15
4.1	Kachelpark	15
4.2	Jaarlijks houtverbruik	16
4.3	Emissies	17
5	Onderhoud van het Model	22
5.1	Huidige situatie	22
5.2	Woningaantallen	22
5.3	Kachelpark	22
5.4	Houtverbruik	22
6	Conclusies en aanbevelingen	23
7	Literatuurgegevens	24
8	Ondertekening	26
	Bijlage(n)	
	A Emissiefactoren	
	B Emissie uit houtkachels	

1 Inleiding

Kachels en open haarden worden in huishoudens gebruikt voor verwarming van het huis en voor het creëren van sfeer. Bij het verbranden van hout in kachels en haarden komen emissies vrij, waaronder fijn stof. Deze vorm van ruimteverwarming is verantwoordelijke voor ongeveer 6% van de totale emissie van fijn stof in Nederland. In dit rapport worden kachels en open haarden samengevat onder de noemer kachels, indien deze niet specifiek benoemd zijn.

Naast het belang voor de fijn stof problematiek, is ook de bijdrage aan de hernieuwbare energie in Nederland van belang. In 2014 was het houtverbruik bij huishoudens goed voor ongeveer één zesde van het totaal verbruik aan hernieuwbare energie [16].

In 1999 is een monitoringssystematiek opgesteld voor het bepalen van emissies uit houtkachels [3]. Hierin werden enquêteresultaten van de VHR (Vereniging Haard en Rookkanaal) gebruikt om te bepalen hoeveel hout er wordt verstoekt in welk type kachel. Vervolgens zijn hiermee de emissies bepaald. Eerder waren er diverse andere onderzoeken geweest naar type kachels, houtverbruik en rendementen [5] en [6]. Omdat de enquête van de VHR is stopgezet, zijn de emissieschattingen sinds 2003 niet meer bijgewerkt.

In de winter van 2006-2007 is een nieuwe enquête naar het houtverbruik bij consumenten uitgevoerd binnen het WoON onderzoek. Resultaten van deze enquête zijn door het CBS uitgewerkt [4]. Deze enquête was de aanleiding voor het vernieuwen van de methodiek voor de schatting van emissies door sfeerverwarming van consumenten. Dit CBS-onderzoek is nogmaals uitgevoerd in 2012 [14].

Het doel van dit onderzoek is een verbetering van de methodiek voor de schatting van de emissies door houtverbruik in kachels en open haarden bij consumenten. Een belangrijke randvoorwaarde voor toepassing van de methodiek binnen de landelijke Emissieregistratie is dat een consistente emissiereeks vanaf 1990 kan worden berekend. Daarnaast moet de berekeningsmethodiek geschikt zijn om te gebruiken voor emissieberekeningen over de komende jaren.

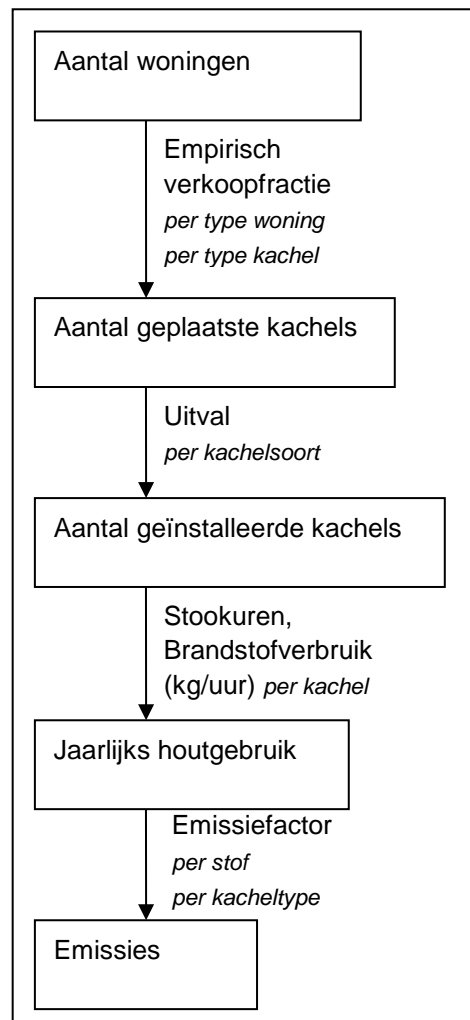
De jaarlijkse emissieberekening is gebaseerd op de berekening van de samenstelling van het kachelpark en het daarbij behorende houtverbruik. In de methodiek worden alleen kachels en open haarden meegenomen die in particuliere huishoudens worden gebruikt en waarin hout wordt verbrand. Houtgebruik door vuurkorven, houtgebruik in horecagelegenheden en in vakantieparken zijn hierin niet meegenomen.

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van het model waarmee de samenstelling van het kachelpark en het houtverbruik wordt bepaald. In hoofdstuk 3 worden de emissiefactoren per type kachel beschreven, voor zover die veranderd zijn. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de berekeningen voor het kachelpark, het houtverbruik en de emissies beschreven. In hoofdstuk 5 worden het benodigde onderhoud van de rekenmethodiek omschreven.

2 Modelbeschrijving

2.1 Inleiding

De emissies uit houtkachels zijn afhankelijk van de hoeveelheid hout die wordt verbrand en van het type kachel waarin dit gebeurt. Om deze parameters te bepalen, is een parkmodel ontworpen, waarmee jaarlijks kan worden geschat welke type kachels er in Nederland gebruikt worden en hoeveel hout hierin wordt verbrand. Bij het maken van het parkmodel voor de houtkachels en haarden in Nederland, is zoveel mogelijk rekening gehouden met resultaten uit enquêtes die in het verleden zijn gebruikt om de emissieschattingen te maken. Uit deze informatie kan het aantal geplaatste en gebruikte kachels in Nederland gehaald worden. Aangezien deze enquêtes niet jaarlijks beschikbaar zijn, is het noodzakelijk op basis van andere parameters de aantallen nieuw geplaatste en afgedankte kachels te berekenen. In Figuur 1 is de basale opbouw van het model weergegeven:



Figuur 1 Structuur van het emissiemodel houtkachels

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het model is opgebouwd. In paragraaf 2.2 wordt een omschrijving gegeven van de stappen die worden doorlopen om tot een kachelpark en houtverbruik te komen. In paragraaf 2.3 wordt omschreven welke variabelen in de berekening worden gebruikt en hoe deze zijn bepaald.

2.2 Methode

In het model is een aantal stappen ingebouwd om uiteindelijk tot een houtverbruik per type kachel te komen. De achtereenvolgens genomen stappen zijn;

- Van woningaantallen naar aantal nieuw geplaatste kachels
- Van aantal nieuw geplaatste kachels naar kachelpark
- Van kachelpark naar brandstofverbruik en emissies

Hieronder worden de stappen beschreven. In paragraaf 2.3 wordt uitgelegd hoe de variabelen bepaald zijn, welke karakteristieken ze hebben en van welke literatuurbronnen of aannames gebruik gemaakt is.

2.2.1 *Van woningaantallen naar kachelverkoop aantallen.*

Omdat de emissies uit kachels jaarlijks moet worden geschat is het noodzakelijk dat de berekening kan worden gestoeld op data die jaarlijks beschikbaar komen.

Omdat kachels in woningen worden geplaatst en er dus een relatie bestaat tussen het aantal woningen en het aantal kachels is als basis van het model het aantal woningen in Nederland genomen. Deze parameter wordt elk jaar uit SYSWOV (= Systeem Woningvoorraad) [2] bepaald, onderverdeeld naar verschillende woningtypen.

De gerapporteerde aantallen woningen worden in het model gebruikt om een schatting te maken van het aantal kachels dat in het afgelopen jaar bij Nederlandse consumenten is (verkocht) geplaatst. Hierbij worden empirische gegevens met betrekking tot het aantal kachels per 1000 woningen gebruikt afhankelijk van type kachel en type woning. Omdat geen jaarlijkse detailinformatie beschikbaar is over het aantal verkochte kachels, geeft deze berekeningsstap de mogelijkheid om jaarlijks een nieuwe schatting te maken van het aantal kachels dat geplaatst wordt. De aantallen geplaatste kachels die uit het model volgen, zijn vergeleken met een rapport van Mugal e.a. [1]. Hier uit blijkt dat de aantallen in het model tot ongeveer een factor twee hoger liggen in vergelijking met de aantallen die in het rapport gemeld worden. In [1] wordt als databron de "industrie" genoemd, het rapport omschrijft het als 'data of schatting afgegeven door producenten of brancheverenigingen door middel van enquêtes of direct contact'. Mogelijk worden niet alle verkopen door de industrie waargenomen zoals bijvoorbeeld de afzet van goedkopere kachels door bouwmarkten. Belangrijk om te vermelden is in dit verband dat in het rekenmodel uiteindelijk niet het aantal verkochte kachels van belang is, maar het aantal kachels dat in Nederland actueel aanwezig is.

2.2.2 *Van aantal nieuw geplaatste kachels naar kachelpark*

Naast de plaatsing van nieuwe kachels zullen ook jaarlijks oude kachels worden vervangen of worden afgedankt. In het model wordt uitgegaan van een gemiddelde levensduur van een kachel gemiddeld tussen de 20 en 35 jaar, afhankelijk van het type kachel. De gemiddelde levensduur is omgezet naar een uitvalparameter, waarmee wordt weergegeven na hoeveel jaren welk percentage van de verkochte kachels niet meer in gebruik is.

Door deze uitvalparameter te combineren met aantal nieuw geplaatste kachels, bepaalt het model hoeveel kachels er nog uit een bepaald jaar in het huidige kachelpark aanwezig is. Deze waarden worden gesommeerd voor alle voorgaande jaren om tot een kachelpark in een bepaald jaar te komen. De uitkomsten van het model zijn gekalibreerd met behulp van de data uit onderzoeken [3], [4] en [6], zodanig dat de modeluitkomsten binnen een redelijke marge van de onderzoeken terecht komt.

2.2.3 *Van kachelpark naar brandstofverbruik en emissies*

In het ontwikkelde model is verondersteld dat alle toestellen en haarden gebruikt worden, ongeacht of alle toestellen die in Nederland aanwezig zijn ook daadwerkelijk gebruikt worden. Per type kachel is een bepaald aantal stookuren en brandstofverbruik per uur verondersteld. Op basis hiervan wordt het brandstofgebruik per type kachel in een gegeven jaar berekend. De op deze manier verkregen hoeveelheid brandstof wordt per kacheltipe vermenigvuldigd specifieke emissiefactoren per stof per type kachel. Verdere uitleg over de berekening van de emissies wordt gegeven in hoofdstuk 3.

De uitkomsten van het brandstofverbruik zijn vergeleken met de uitkomsten van de onderzoeken [3], [4], [5] en [6] alsmede met de eerder opgegeven waardes uit de emissieregistratie. Hierbij zijn de parameters van het model aangepast, indien de waardes niet voldoende overeen kwamen met de uitkomsten van de onderzoeken.

2.3 **Beschrijving van de model variabelen**

De verschillende variabelen die in paragraaf 2.2 genoemd zijn, zullen hieronder verder toegelicht worden.

2.3.1 *Woningaantallen*

De woningaantallen voor de jaren 1990-2008 zijn gebaseerd op de woningvoorraadgegevens van het SYSWOV, voor zo ver deze bekend zijn. Enkele data uit deze periode waren niet bekend en zijn op basis van interpolatie berekend. De SYSWOV woningvoorraad gegevens zijn overgenomen uit de rapporten van ABF Research [2]. De woningvoorraad van voor 1990 is constant verondersteld op een geschatte waarde met als doel het model een startpunt te geven. Binnen de SYSWOV data zijn vier typen woningen te onderscheiden. Er wordt onderscheid gemaakt in huur- en koopwoningen, maar ook in één- of meergezinswoningen (onder de laatste categorie vallen appartementen en flats). Deze indeling is gevolgd in het model, omdat uit onderzoeken blijkt dat de verschillende onderscheiden woningtypen in verschillende mate bijdragen aan het kachelpark, zie hiervoor paragraaf 2.3.2.

2.3.2 *Nieuw geplaatste kachels per woning*

In het model wordt jaarlijks het aantal nieuw geplaatste kachels bepaald met behulp van een 'plaatsings-fractie' die afhankelijk is van het type woning. Deze factoren zijn zodanig geselecteerd dat ze zorgen (samen met de uitval) voor een gemodelleerd kachelpark dat zo goed mogelijk overeenkomt met eerdere onderzoeken naar houtkachels in Nederland (zie [3], [4], [6] en [14]). Uit het rapport van Hulskotte [3], blijkt dat in koopwoningen ongeveer 4 maal meer kachels staan opgesteld dan in huurwoningen. In het CBS rapport over houtverbruik bij huishoudens [4] wordt berekend dat er ongeveer 70 duizend kachels beschikbaar zijn in een totaal van 1,3 miljoen meergezinswoningen.

Hieruit volgt dat in meergezinswoningen 20 maal minder kachels staan dan in de eengezinswoningen. Als deze verhoudingen aangenomen worden, volgt de in Tabel 1 gegeven verdeling van kachels over de verschillende woningtypen.

Tabel 1 Verdeling van de totale hoeveelheid kachels in Nederland over de verschillende type woningen

Woningtype	fractie
Koop Eengezins	0,76
Koop Meergezins	0,04
Huur Eengezins	0,19
Huur Meergezins	0,01

Bovenstaande fracties worden gebruikt om te bepalen hoeveel nieuwe kachels er jaarlijks aan het bestaande kachelpark worden toegevoegd. Hiermee is per woningtype een 'plaatsingsfractie' bepaald, op zodanige wijze dat de relatieve bijdrage per woningtype gelijk is aan de verhouding in Tabel 1. Afhankelijk van het jaar wordt (op basis van de tot op heden gehanteerde methodiek) aangenomen dat in meergezins-huurwoningen 2-3 nieuwe kachels per 10.000 woningen werden geplaatst en in eengezins-koopwoningen 67-113 nieuwe kachels per 10.000 woningen. De waarden voor eengezins-huurwoningen en de meergezins-koopwoningen vallen binnen de hiervoor genoemde uitersten: 23-65 nieuwe kachels per 10.000 woningen.

2.3.3 *Kacheltypen en soorten*

Omdat het ontwerp van de kachel of haard het rendement en het stookgedrag bepalen wordt in het model onderscheid gemaakt in drie verschillende soorten kachels;

- De vrijstaande kachel
- De inzet of inbouw haard
- De open haard

Voor de inbouwkachels en de vrijstaande kachels is een verdere onderverdeling gemaakt;

- Conventioneel
- Verbeterd
- DINplus

De open haard kent geen onderverdeling.

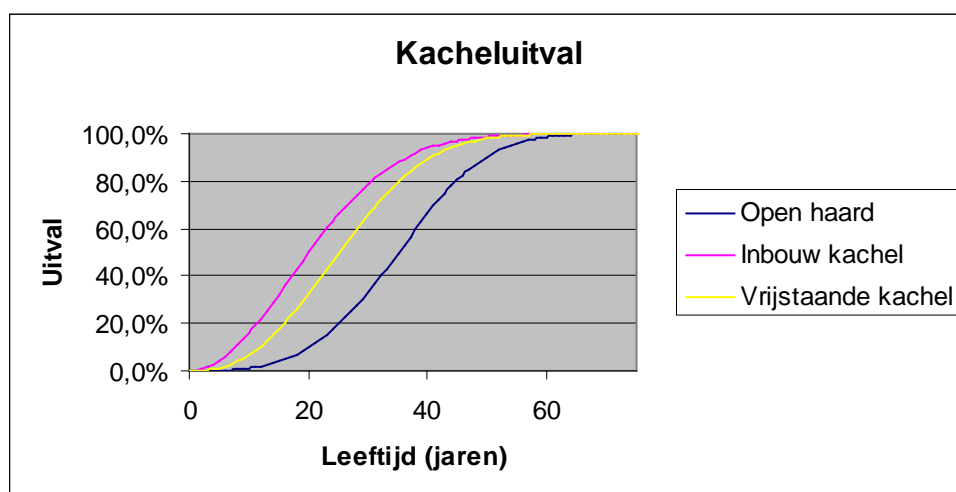
Het type 'conventioneel' is vergelijkbaar met de in de huidige berekeningsmethodiek gebruikte categorie 'ongekeurde kachels' [3]. De in de vorige methodiek genoemde 'gekeurde kachels' worden in het nieuwe emissiemodel als type 'verbeterd' benoemd. De typekeuring voor kachels (die in het vorige model werd gebruikt) is een aantal jaren geleden afgeschaft en zodoende niet meer bruikbaar om een onderscheid in emissiefactoren aan te duiden. Het nieuwste type kachel is ontworpen om zo efficiënt mogelijk hout te verbranden. Deze kachels worden in heel Europa verkocht en voldoen aan de strengste normen. Een van de strengste normstellingen in Europa is de DINplus norm, die in Duitsland gebruikt wordt. Daarom is de benaming DINplus voor het schoonste type kachel gebruikt.

2.3.4 Type verdeling in de nieuw geplaatste kachels

Om een verschil in soorten en typen kachels in het model te brengen, is een differentiatie noodzakelijk van het aantal nieuw geplaatste kachels. Omdat gegevens met betrekking tot de typeverdeling schaars zijn is er in het model voor gekozen de typeverdeling per periode van 5 jaar constant te houden.

2.3.5 Uitval

Het kachelpark wordt niet alleen bepaald door de nieuw geplaatste kachels. Elk jaar zullen ook kachels uit het park verdwijnen bijvoorbeeld door technische mankementen of omdat de woning wisselt van eigenaar. Deze uitval van kachels is in het model ingebracht door middel van Weibull-verdelingen voor de verschillende kacheltypen (zie Figuur 2).



Figuur 2 Weibull verdelingen voor kacheluitval

In Tabel 2 zijn de specifieke parameters voor de verschillende uitvalcurves weergegeven.

Tabel 2 Weibull-parameters ten behoeve van uitvalcurves per kacheltipe

Kacheltipe	Lambda	Kappa	Mediane levensduur
Open haard	3,9	3,4	35 jaar
Conventionele Inbouwkachel	2,4	2	20 jaar
Verbeterde Inbouwkachel	2,4	2	20 jaar
DINplus Inbouwkachel	2,4	2	20 jaar
Conventionele Vrijstaande kachel	2,9	2,5	25 jaar
Verbeterde Vrijstaande kachel	2,9	2,5	25 jaar
DINplus_Vrijstaande_kachel	2,9	2,5	25 jaar

De in Tabel 2 genoemde levensduur is in vergelijking met de gemiddelde levensduur uit [1] ongeveer 5 tot 10 jaar langer. In het model is toch voor deze langere levensduur gekozen omdat daarmee de kachelaantallen in het model overeenkomen met eerdere steekproeven.

2.3.6 Thermisch rendement

Het rendement van de kachel is de fractie van de verbrandingswarmte van hout die effectief wordt afgegeven aan de ruimte waarin de kachel staat opgesteld. In Tabel 3 zijn de rendementen zoals die in het kachelmodel zijn opgenomen weergegeven.

Tabel 3 Thermisch rendement van kacheltypen, %

Kachelnaam	Rendement
Open haard	10
Conventionele Inbouwkachel	45
Verbeterde Inbouwkachel	70
DINplus Inbouwkachel	80
Conventionele Vrijstaande kachel	50
Verbeterde Vrijstaande kachel	75
DINplus_Vrijstaande_kachel	80

Uitgaande van een stookwaarde van 13,6 MJ/kg verstoekt hout, komt er bij een rendement van 10% dus per kg verstoekt hout 1,36 MJ aan warmte energie vrij in de ruimte, de overige warmte (12,24 MJ) verdwijnt via de schoorsteen. Hoewel vele fabrikanten beweren dat het rendement van de DINplus uitvoeringen kan oplopen tot 90 á 95% is in het model uitgegaan van een rendement van 80%. De reden hiervoor is dat het maximale rendement maar zelden gehaald wordt door een gebruiker, omdat deze niet de optimale stook condities kent of ze niet kan/wil toepassen. Door toepassing van dit lagere rendement wordt gecorrigeerd voor een suboptimaal stookgedrag bij de gemiddelde gebruiker.

2.3.7 Brandstofverbruik per uur

In de studies [3], [4] en [5] worden waarden gegeven voor het brandstofverbruik per uur. Deze data zijn gemiddeld per type kachel. In het model is aangenomen dat dit gemiddelde geldig is voor de conventionele kachels en de open haarden. Voor de andere kacheltypes is een correctie uitgevoerd voor het (hogere) rendement. Deze correctie is doorgevoerd, omdat een hoger rendement betekent dat een kachel meer warmte afgeeft bij eenzelfde hoeveelheid hout die verstoekt wordt. Om een vergelijkbaar warmte gevoel te creëren, zal dus minder hout verstoekt hoeven te worden. In Tabel 4 is het houtverbruik per uur per type kachel weergegeven.

Tabel 4 Houtverbruik per kacheltipe, kg/uur

Kachelnaam	Brandstofgebruik
Open haard	5
Conventionele Inbouwkachel	2,67
Verbeterde Inbouwkachel	1,72
DINplus Inbouwkachel	1,5
Conventionele Vrijstaande kachel	2,67
Verbeterde Vrijstaande kachel	2
DINplus_Vrijstaande_kachel	1,88

2.3.8 *Stookuren per jaar*

Het aantal stookuren per jaar zal jaarlijks variëren onder andere afhankelijk van de weersomstandigheden en de heersende trend t.a.v. het stoken op hout die onderhevig is aan cycli. Het is daarom in het model ook mogelijk gemaakt om het aantal stookuren per jaar op te geven. Het jaarlijks aantal stookuren is bepaald op basis van de onderzoeken [3], [4], [5] en [6]. Eventuele ontbrekende jaren zijn geïnterpoleerd. Ook het aantal stookuren per kacheltype is hierbij gedifferentieerd waarbij de verbeterde en DINplus kachels wederom gecorrigeerd worden voor het rendement. Bij deze correctie is aangenomen dat gebruikers van een hoger rendementskachel deze kachel jaarlijks meer uren gebruiken dan gebruikers van conventionele kachels en open haarden. Aangenomen is dat de correcties voor brandstofgebruik per uur en het aantal stookuren elkaar opheffen, hierdoor verschilt het aangenomen houtgebruik per jaar binnen één kacheltype niet.

3 Emissiefactoren

3.1 Inleiding

De emissies door houtverbruik in kachels worden berekend met de volgende formule:

$$Emissie_{stof} = \sum_{kacheltype} Houtverbruik_{kacheltype} \times Emissiefactor_{kacheltype, stof}$$

Dit houdt in dat voor elke gerapporteerde stof een berekening gemaakt wordt per type kachel. Per type kachel wordt het houtverbruik berekend in het model, dit houtverbruik wordt vermenigvuldigd met de emissiefactor voor het type kachel en de specifieke stof. Vervolgens worden de stof specifieke emissies van de verschillende kacheltypes bij elkaar opgeteld om de totale emissies van de stof voor alle kachels in Nederland te bepalen.

Ten opzichte van het vorige emissiemodel houtkachels [15], zijn veel emissiefactoren gelijk gehouden, maar wel omgerekend naar emissiefactoren op basis van de stookwaarde van hout. De emissiefactoren uit [15] die gebaseerd waren op kilogrammen hout, zijn omgerekend naar emissiefactoren gebaseerd op de stookwaarde, door de 'oude' emissiefactoren te delen door 15,5 MJ/kg (de 'oude' stookwaarde). Alle gebruikte emissiefactoren zijn vermeld in bijlage A. De berekende emissies zijn gerapporteerd in paragraaf 4.3.

3.2 Fijn stof

Bij de verbranding van hout ontstaat stof in de vorm van vaste (as)deeltjes. Op deze deeltjes kunnen bij afkoeling van de verbrandingsgassen andere verontreinigingen (zoals o.a. Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen PAK) condenseren. De meting van de stofemissie van kachels kan daarom op twee manieren worden uitgevoerd:

Stof bepaald als "solid particles" of stof bepaald na toepassing van een "dillution tunnel" waarbij een deel van de condenseerbare gassen als stof wordt gemeten. De eerst genoemde methode meet het stof in de niet afgekoelde afgassen en houdt daarom minder rekening met PAK, condenseerbare koolwaterstoffen en andere stoffen die gemakkelijk op roet en asdeeltjes condenseren bij afkoeling in het rookkanaal.

Bij de tweede meetmethode wordt een deelstroom van het rookgas verdund met koude lucht zodat deze afkoelt en meet vervolgens alle deeltjes inclusief de deeltjes die zijn ontstaan door afkoeling van de afgassen. Veel meer PAK, koolwaterstoffen en andere stoffen die aan roetdeeltjes condenseren worden in deze meting meegenomen.

Het verschil in gemeten stofconcentraties volgens deze twee meetmethoden kan oplopen tot een factor 8 [7]. In de praktijk is een factor 2-3 ophoging van de emissiefactoren van fijn stof gebaseerd op "solid particles" de best beschikbare schatting [8].

Aangezien in de huidige methode voor de schatting van de stofemissies uit houtkachels binnen de Nederlandse emissieregistratie de (condenseerbare) koolwaterstoffen niet worden meegenomen is de schattingsmethode voornamelijk gebaseerd op de metingen volgens de "solid particle" methode. Daarbij dient vermeld te worden dat niet alle literatuurbronnen aangeven welke meetmethode gebruikt is bij de bepaling van emissiefactoren.

De emissiefactoren in de onderzochte literatuurbronnen variëren van 0,1 g/kg tot 30 g/kg hout. De laagste waarde is bepaald op basis van de 'solid particle' methode onder de best mogelijke omstandigheden. De hoogste waarde is bepaald op basis van een 'dillution tunnel' meting, waarbij de verbrandingscondities niet werden gespecificeerd.

3.3 Koolstofdioxide (CO₂)

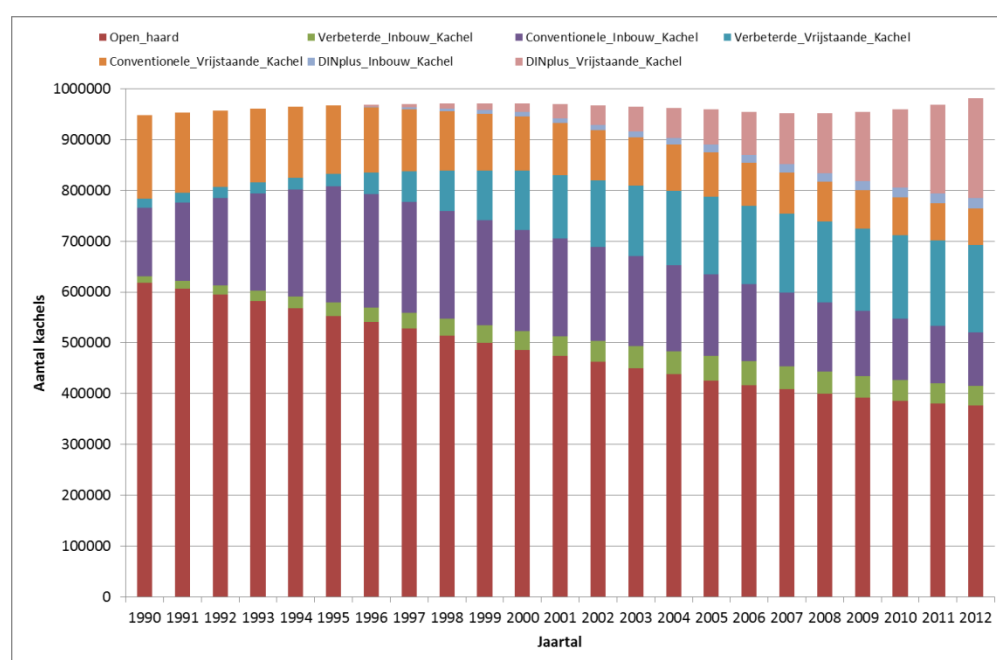
Naar aanleiding van de wijziging van de IPCC 1996 guidelines naar de 2006 guidelines, is de emissiefactor voor CO₂ (niet IPCC rapportage plichtig aangezien het biomassa is) aangepast. De emissiefactor is nu 112 kg CO₂/GJ verbrand hout.

4 Resultaten

Op basis van de in de vorige hoofdstukken genoemde parameters en aannames is het nieuwe emissiemodel opgesteld en uitgebreid getest en zijn de resultaten vergeleken met de uitkomsten zoals die in het verleden werden berekend. In de volgende paragrafen zijn de resultaten beschreven.

4.1 Kachelpark

De opbouw van het kachelpark volgens het vernieuwde model is weergegeven in Figuur 3 voor de jaren 1990 tot en met 2012.



Figuur 3 Ontwikkeling van het aantal kachels per jaar

Figuur 3 laat een afname van het aantal open haarden zien in de loop van de jaren, hetgeen te verklaren is uit de bewustwording van de nadelen van de open haard die heeft geleid tot de vervanging door gas gestookte haarden (en eventueel door een kachel).

Verder laat Figuur 3 zien dat eerst de 'verbeterde kachels' en daarna de 'DINplus kachels' in aantallen zijn toegenomen. De toename van de 'verbeterde kachels' is voornamelijk toe te schrijven aan het kachelkeurmerk, wat verplicht was voor elke nieuwe kachel tussen 1996 en 2005. Verder worden steeds meer kachels voor de hele Europese markt gemaakt, waardoor deze aan de strengste kwaliteitseisen moeten voldoen.

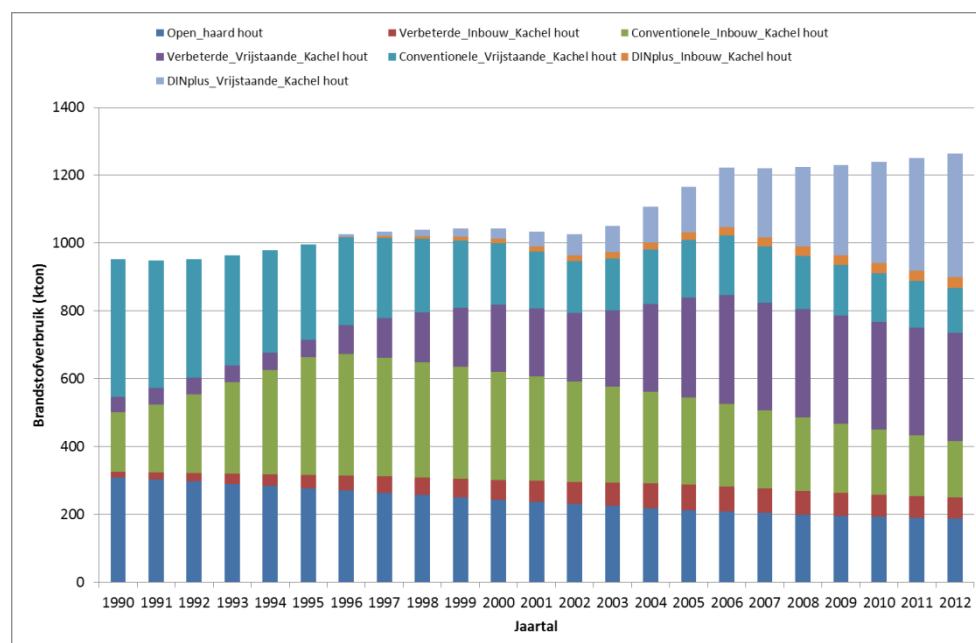
In de eerdere studies ([3], [4], [5], [6] en [14]) werden schattingen gemaakt van het aantal kachels in Nederland tussen de 800.000 en 1.300.000. Een groot deel van deze verschillen heeft te maken met de gehanteerde bepalingsmethode.

In sommige studies tellen alle kachels mee, andere tellen alleen de in gebruik zijnde kachels mee. In deze studie zijn alleen de in gebruik zijnde kachels meegenomen in het model.

Bij de bouw van het nieuwe model is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de eerdere studies, zodat de model output voor de historische jaren goed overeenkomt met het tot op heden gehanteerde model. De vergelijking van de kachelaantallen per jaar in de twee modellen laat zien dat (rekening houdend met de onnauwkeurigheid en de correctie voor gebruikte kachels) de verschillen binnen de geschatte onnauwkeurigheid (80.000 á 100.000 kachels) volgens [4] vallen.

4.2 Jaarlijks houtverbruik

Voor de berekening van het brandstofverbruik is gebruik gemaakt van het aantal stookuren per jaar. Het aantal stookuren per jaar is op basis van periodieke historische onderzoeken vastgesteld en geïnterpoleerd daar waar nodig.



Figuur 4 Ontwikkeling van het houtverbruik per jaar

Verder valt op in Figuur 4 dat het houtgebruik van de open haarden relatief laag is. Dit vindt zijn oorsprong in de aanname dat open haarden vooral als sfeerverwarming worden gebruikt, terwijl vrijstaande kachels (en inbouw kachels in mindere mate) ook worden gestookt voor ruimteverwarming.

Binnen de Nederlandse emissieregistratie is tot op heden een trend gerapporteerd die min of meer afloopt van 800 kiloton in 1990 tot 600 kiloton in 2003 (na 2003 is een constante waarde gerapporteerd). In de literatuur ([3], [4], [5] en [6]) wordt het houtverbruik geschat tussen de 600 en 1000 kiloton. In de studie [4] blijkt dat er ongeveer 800 kiloton per jaar verstoekt wordt, met een berekening van het houtverbruik die geijkt is op de winter van 2006-2007.

De meest recente studie [14] zet echter vraagtekens hierbij, omdat uit onderzoek blijkt dat de aangenomen stookwaarde en de dichtheid van het hout niet correct lijken te zijn. De stookwaarde is dan ook veranderd naar 13,6 MJ/kg. Verder is aangenomen dat de dichtheid van het hout 500 kg/m³ (dit komt overeen met gestapeld hout) is, in tegenstelling tot de eerder aangenomen 300 kg/m³ voor gestort hout.

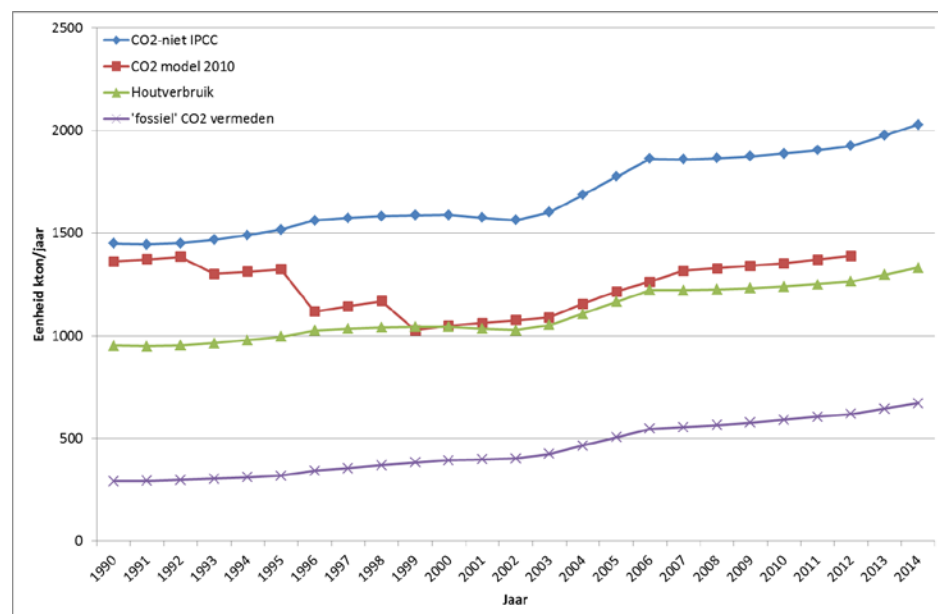
4.3 Emissies

In Bijlage B is een tabel opgenomen met alle emissies uit de steekjaren en 2012 zoals berekend met het model. Bij de beschouwing van de emissies die volgen uit het model, is geen complete vergelijking gemaakt van de emissies die eerder in de emissieregistratie is opgenomen.

De belangrijkste wijzigingen bij de emissies die plaats gevonden hebben, zijn het gevolg van de gewijzigde brandstof inzet. Doordat er meer hout verstoekt wordt (zie 4.2), worden ook de emissies hoger.

4.3.1 CO₂-emissies en CO₂-besparing

In Figuur 5 wordt een overzicht gegeven van de emissies van CO₂ uit het verbranden van hout. De emissie van CO₂ uit kachels is recht evenredig met het houtverbruik. Daar hout een hernieuwbare energiebron is (en de CO₂ emissie uit hout niet meetelt voor de verplichtingen onder het Kyoto protocol) draagt de houtverbranding bij aan de reductie van broeikasgassen in Nederland. Inzet van hout in kachels draagt bij aan de afname van de inzet van fossiele brandstoffen. Derhalve is in de figuur ook de hoeveelheid vermeden fossiele CO₂ door de inzet van hout in kachels weergegeven.



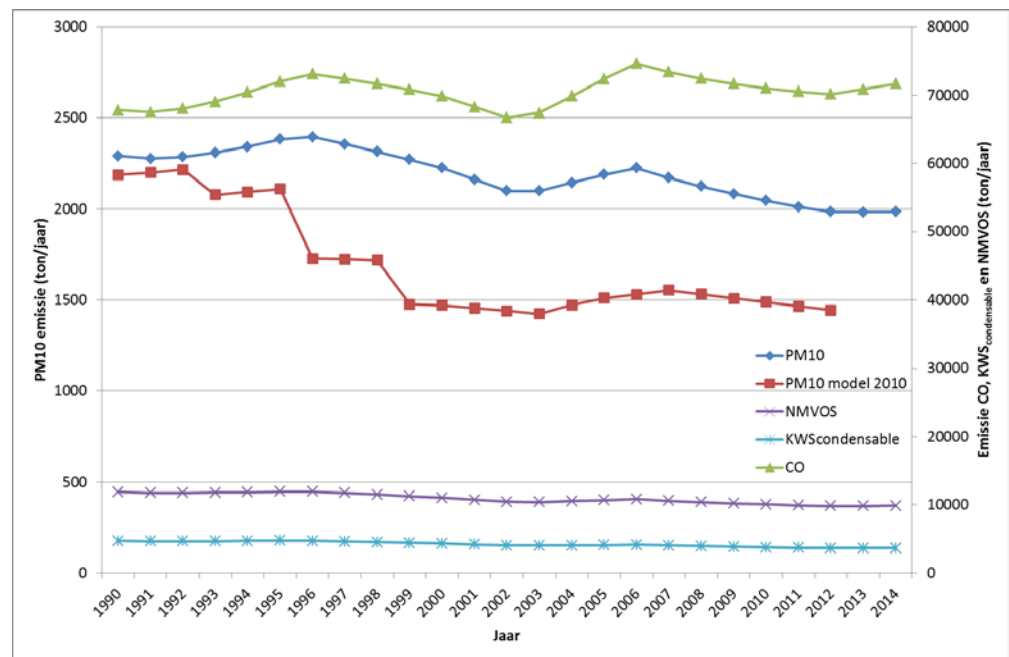
Figuur 5 Emissie van CO₂ en vermeden emissies van CO₂ door besparing gebruik fossiele energie

De hoeveelheid vermeden fossiele CO₂ is berekend door de nuttige warmte opbrengst van de houtkachels om te rekenen naar de hoeveelheid aardgas die daarvoor nodig is en de daarmee gepaard gaande CO₂ emissie [16]. Uit de grafiek blijkt dat de hoeveelheid vermeden CO₂ sneller toeneemt dan de hoeveelheid verstoekt hout. Dit is toe te schrijven aan de toename van kachels met een hoog rendement en de afname van de kachels met lage rendementen. Hierdoor wordt er meer warmte uit het verstoekte hout gewonnen. In [16] wordt meer informatie gegeven over de vermeden fossiele CO₂.

Verder is voor CO₂ de vergelijking met het vorige model weergegeven, waaruit blijkt dat de nieuwe uitkomsten een stuk hoger liggen. Dit is voornamelijk toe te schrijven aan de verhoogde brandstof inzet, welke volgt uit de aangepaste dichtheid. Ook het verhogen van de emissiefactor heeft hier een klein beetje aan bijgedragen.

4.3.2 Emissies van fijn stof, CO, NMVOS en condenseerbare koolwaterstoffen

Ongeveer 6% van de fijn stof emissie in Nederland wordt veroorzaakt door houtkachels. In Figuur 6 wordt de trend weergegeven van de fijn stof (PM₁₀) uitstoot, alsmede de emissies van koolstofmonoxide, NMVOS en de condenseerbare koolwaterstoffen (KWS_{cond}).

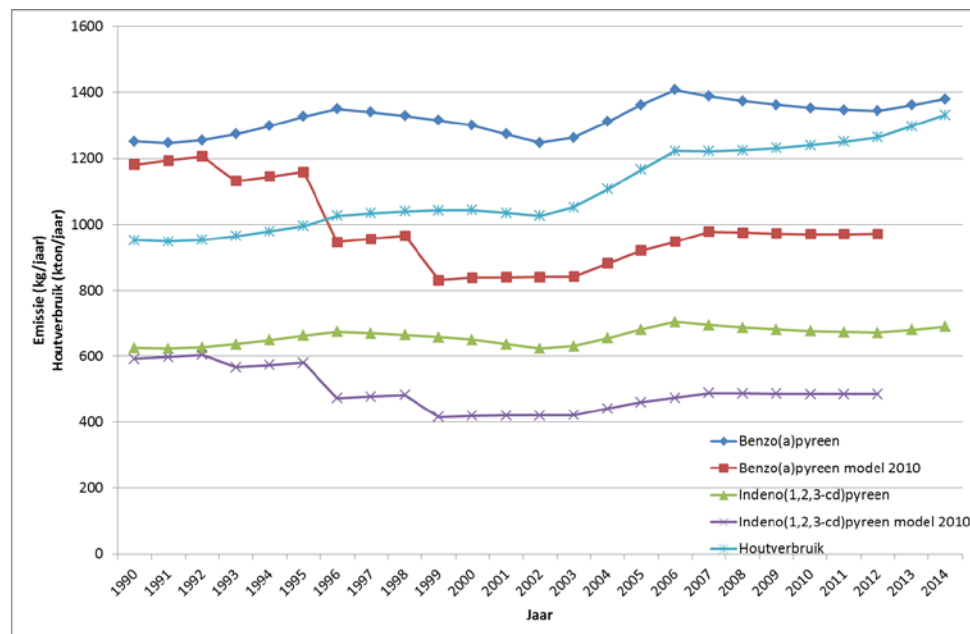


Figuur 6 Emissie van fijn stof, CO, NMVOS en condenseerbare koolwaterstoffen (KWScondensable)

De emissies van fijn stof hebben een licht dalende trend ondanks een stijging in houtgebruik. Dat de toename van houtgebruik niet heeft geleid tot een toename in emissie is te verklaren door de verandering in het kachelpark. Het aandeel "schonere" kachels in het kachelpark is in de loop der jaren steeds groter geworden. Hierdoor wordt de verbranding van hout schoner en dus de uitstoot per kg brandstof minder. Vergelijking van de nieuwe model resultaten met het oude model laat zien dat de emissies van houtkachels van het nieuwe model hoger liggen. Ook hier is de verklaring te vinden in de hoger ingeschatte hoeveelheid hout in het nieuwe model.

4.3.3 Emissies van PAK

In het model worden de emissies van 11 individuele PAK berekend. Om de vergelijking tussen de nieuwe en de oude waarden hanteerbaar te houden, zijn alleen de emissies van Benzo(a)pyreen en Indeno(1,2,3-cd)pyreen weergegeven in Figuur 7. Deze worden representatief geacht voor alle gerapporteerde PAK.

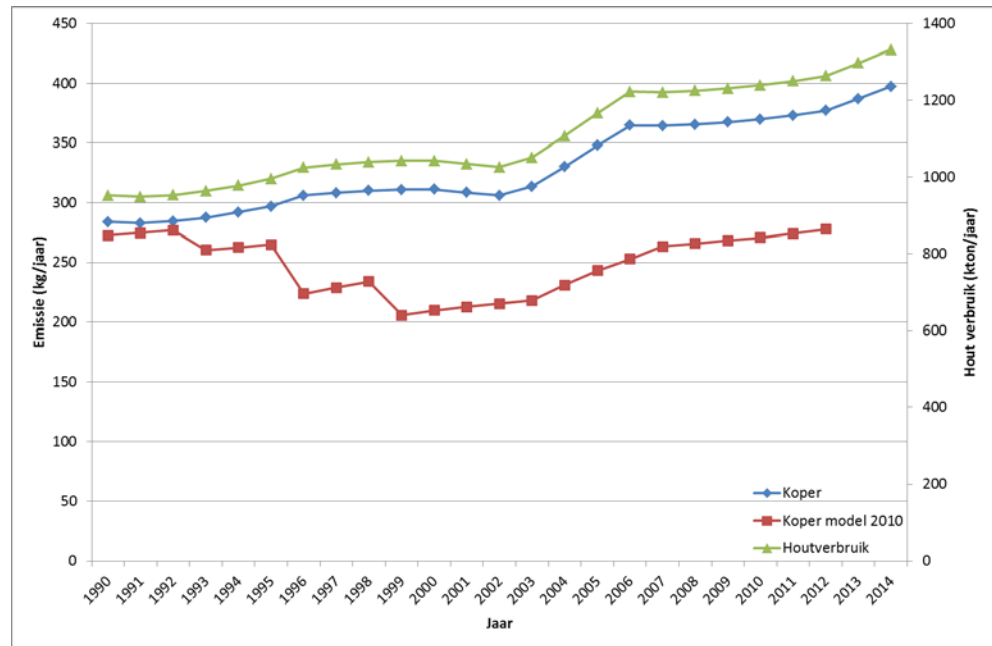


Figuur 7 PAK emissies

De emissies van PAK zijn niet direct gerelateerd aan het houtverbruik, naar mate het kachelpark vernieuwd, wordt de gemiddelde emissie minder. Door het verhogen van de brandstofinzet, is ook bij de PAK emissies een verhoging in de emissies te zien.

4.3.4 Metaalemissies

Er worden verschillende emissies van metalen berekend in het houtkachemodel; zink, lood, cadmium, kwik en koper. Voor de overzichtelijkheid is in de onderstaande grafiek alleen de emissie van koper weergegeven. De verhouding van de verandering is voor alle metalen gelijk.

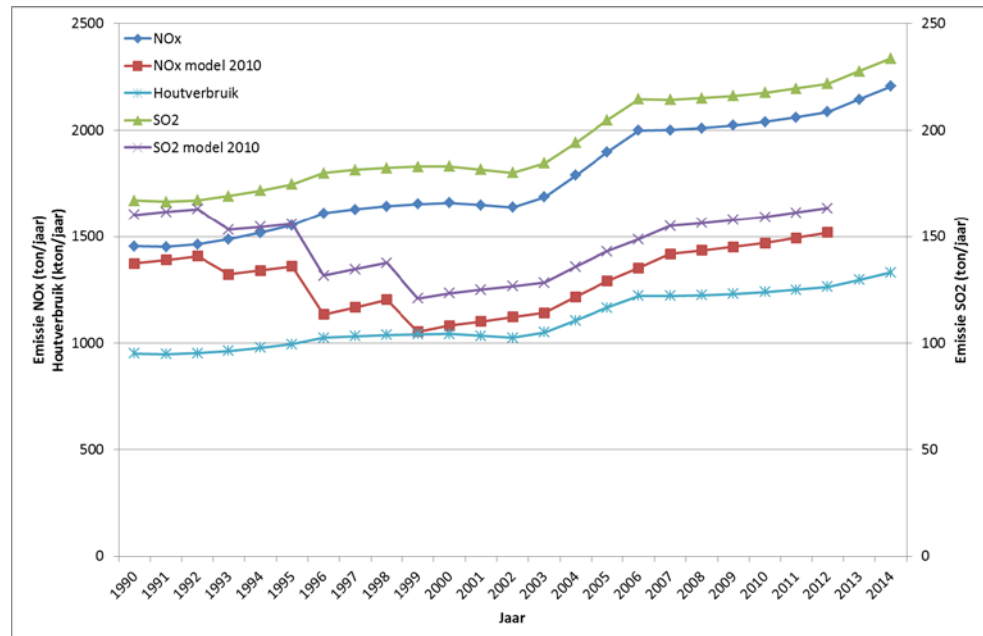


Figuur 8 Emissies van koper

In Figuur 8 is te zien dat het houtverbruik en de emissie van koper recht evenredig verlopen. De emissie van koper en de andere metalen is ook niet afhankelijk van het kachelttype. In het oude model werden lagere emissies geschat, doordat het houtverbruik lager werd ingeschat.

4.3.5 Emissie van NO_x en SO_2

In Figuur 9 is de trend in de emissies van stikstofoxiden (NO_x) en zwaveldioxide (SO_2) weergegeven.



Figuur 9 Emissie van NO_x en SO_2

De uitstoot van de stoffen SO_2 en NO_x zijn gekoppeld aan het brandstofverbruik en volgen de trend in houtverbruik. De verandering ten opzichte van het vorige model is dan ook puur te wijten aan een veranderde brandstof inzet.

5 Onderhoud van het Model

5.1 Huidige situatie

Het nieuw ontwikkelde kachelmodel berekent jaarlijks het aantal kachels in Nederland en het bijbehorend houtverbruik. Op dit moment is het model compleet voor de periode 1990-2014. In de navolgende paragrafen wordt beschreven welke informatie nodig is om nieuwe jaren toe te voegen in het model. Een deel van de informatie komt niet jaarlijks beschikbaar en zal in die gevallen gelijk aan het voorafgaande jaar worden gehouden.

5.2 Woningaantallen

De aantallen woningen ingedeeld volgens het huidige model worden jaarlijks geactualiseerd door cijfers uit SYSWOV [2] over te nemen. Dit is de basale jaarlijkse input voor het model. Op basis van deze data kan een inschatting gemaakt worden van het kachelpark en het bijbehorende houtverbruik.

5.3 Kachelpark

Om de aantallen kachels in het park te verbeteren, zullen twee variabelen in het model aangepast moeten worden:

- Gemiddeld aantal kachels per woning
- Kacheltype verdeling over de woningtypen

Deze modelparameters kunnen alleen gewijzigd worden op basis van nieuwe gegevens over de kachel afzet in een specifiek jaar of als er een nieuwe enquête is uitgevoerd naar het totale aantal kachels in Nederland. Deze informatie is niet jaarlijks beschikbaar en wordt constant gehouden totdat er nieuwe informatie aanwezig is om het model te actualiseren.

5.4 Houtverbruik

Het houtverbruik per kacheltype kan worden geactualiseerd zodra er nieuwe enquêtegegevens over het houtverbruik in huishoudens beschikbaar komen. Met behulp van deze data kan het aantal stookuren per jaar aangepast worden per soort en type houtkachel. Deze informatie is niet jaarlijks beschikbaar en wordt constant gehouden totdat er nieuwe informatie is om het model mee bij te werken. Voorgesteld wordt de enquête naar het aantal gebruikte kachels en het houtverbruik blijvend op te nemen in het periodieke WoON onderzoek. Het RIVM als uitvoerder van de Emissieregistratie zou hier een verzoek toe kunnen indienen bij het CBS als opdrachtgever van het WoON onderzoek.

6 Conclusies en aanbevelingen

De resultaten die uit het model volgen, zijn redelijk tot zeer goed in overeenstemming met de eerdere studies [3], [4], [5], [6] en [14] die uitgevoerd zijn op het gebied van kachelaantallen en houtgebruik in Nederland.

De kachelaantallen in het model zijn de gebruikte kachels in Nederland. De waarden uit het model zijn in overeenstemming met de als referentie gebruikte studies. Wel moet vermeld worden dat voor de studies (en dus ook voor het model) een grote onnauwkeurigheid in kachelaantallen aanwezig is.

Het houtverbruik uit het model is berekend uit het houtverbruik per uur en het aantal stookuren. Beide waarden zijn vergelijkbaar met de waarden uit de eerder genoemde studies. Echter door de wijzigingen in de stookwaarde en de dichtheid van het hout, zijn de totalen hoger dan voorheen geschat. Het houtverbruik in 2012 is vergelijkbaar met de uitkomst van onderzoek [14] en wordt dus verondersteld de waarheid goed te benaderen. Ook in het houtverbruik (per kachel) zit echter een behoorlijke onzekerheid.

Het model kan jaarlijks bijgewerkt worden met de woningaantallen om een eerste schatting te verkrijgen van het kachelpark en de bijbehorende rendementen, hout verbruiken en emissies.

Om echter het model goed te onderhouden, zal het aangepast moeten worden aan de actuele situatie. Zodoende zal middels terugkerende onderzoeken en enquêtes inzicht verkregen moeten worden in de kachelaantallen en het houtverbruik. Deze waarden moeten dan gebruikt worden om de uitkomsten van het model te toetsen. Indien in de enquêtes en onderzoeken rekening gehouden wordt met de verschillende types en soorten kachels, zal de update van het model veel nauwkeuriger kunnen verlopen.

Voorgesteld wordt de enquête naar kachels en houtverbruik blijvend op te nemen in het periodieke WoON onderzoek. Het RIVM als uitvoerder van de Emissieregistratie zou hier op kunnen aandringen bij het CBS als opdrachtgever van het WoON onderzoek.

7 Literatuurgegevens

- [1] S. Mugal e.a., *Preparatory study for eco-design requirements of EuPs (II), Lot 15 Solid fuel small combustion installations*, april 2009, Bio Intelligence service
- [2] ABF Research, website <http://www.abfresearch.nl/publicaties.aspx> of <http://syswov.datawonen.nl/>
- [3] Ir. J.H.J. Hulskotte, Sulilatu W.F., Willemsen A.J., *Monitoringsystematiek open haarden en houtkachels*, mei 1999, TNO Milieu, energie en procesinnovatie, rapport R99/170
- [4] R. Segers, *Houtverbruik bij huishoudens*, mei 2010, Centraal bureau statistiek
- [5] A.F.L. Slob e.a., *Procesbeschrijving open haarden, hout en kolenkachels*, december 1993, CEA Rotterdam
- [6] P.A. Okken e.a., *Houtkachels in Nederland. Bijdrage aan energievoorziening en milieubelasting*, 1992, ECN Petten
- [7] T. Nussbaumer e.a., *Particle emissions from biomass combustion in IEA countries*, januari 2008, Verenum Zwitserland
- [8] Denier van der Gon, H.A.C. , Bergstrom, R., Fountoukis, C., Johansson, C., Panis, S.N., Simpson, D., Visschedijk, A.J.H, *Particulate emissions from residential wood combustion in Europe - revised estimates and evaluation*, Atmospheric Chemistry and Physics, 15, 6503-6519, 2015
- [9] J. Koppejan, *Scenarioanalyse houtkachels 2020, september 2008*, Procede biomass BV Enschede
- [10] A.J.H. Visschedijk, *Coordinated European Particulate Matter Emission Inventory Program (CEPMEIP)* (in P. Diler e.a., proceedings of the PM emission inventories scientific workshop, oktober 2004, Italie), 2004
- [11] *EMEP / EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009*, NFR source category; 1.A.4 b.i, Fuel; Wood, SNAP; 020205
- [12] C. Schmidl e.a., *Chemical characterization of fine particle emissions from wood stove combustion of woods growing in mid-European Alpine regions*, 2007, Universiteit van Wenen en andere instituten
- [13] CBS, 2010. *Hernieuwbare energie in Nederland 2009*, CBS, Den Haag.+
- [14] R. Segers, *Houtverbruik bij huishoudens WoON 2012*, december 2013, Centraal Bureau voor de Statistiek
- [15] B.I. Jansen, Dröge, R., *Emissiemodel Houtkachels*, februari 2011, TNO-rapport TNO-060-UT-2011-00314

- [16] CBS, 2015, *Hernieuwbare energie in Nederland 2014*. Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag

8 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever
RIVM
T.a.v. W. van der Maas
Postbus 1
3720 BA Bilthoven

Naam en functies van de medewerkers
Ing. B.I. Jansen

Periode waarin het onderzoek plaatsvond
April 2014 - December 2015

Naam en paraaf tweede lezer



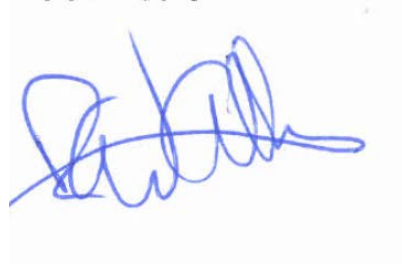
Ir. J.H.J. Hulskotte

Ondertekening



Ir. R. Dröge
Projectleider

Autorisatie vrijgave



Ir. R.A.W. Albers MPA
Research Manager

A Emissiefactoren

Tabel 5 Emissiefactoren per stof en kacheltype

Stof	Eenheid	Open_haard	Conventioneel	Verbeterd	DINplus
Antraceen	mg/GJ	129	232	299	119
Benzo(a)antraceen	mg/GJ	81	145	94	74
Benzo(a)pyreen	mg/GJ	65	116	75	59
Benzo(b)fluorantheen	mg/GJ	65	112	72	54
Benzo(ghi)peryleen	mg/GJ	48	87	56	45
Benzo(k)fluorantheen	mg/GJ	32	58	37	30
Cadmium	mg/GJ	3,2	3,2	3,2	3,2
Black Carbon	mg/GJ	76	73	28	10
CH ₄	kg/GJ	0,30	0,30	0,30	0,30
Chryseen	mg/GJ	81	145	94	74
CO	g/GJ	3226	6452	3871	2903
CO ₂ -niet IPCC	kg/GJ	112	112	112	112
Fenantreen	mg/GJ	855	1539	992	786
Fluorantheen	mg/GJ	290	523	337	267
Grof Stof	g/GJ	484	65	65	65
Indeno(1,2,3-cd)pyreen	mg/GJ	32	58	37	30
Koper	mg/GJ	22	22	22	22
Kwik	mg/GJ	1,9	1,9	1,9	1,9
KWS _{condensable}	g/GJ	484	323	129	80
Lood	mg/GJ	4,7	4,7	4,7	4,7
N ₂ O	kg/GJ	0,004	0,004	0,004	0,004
Naftaleen	mg/GJ	1613	2903	1871	1484
NMVOS	g/GJ	1290	774	387	252
NO _x	g/GJ	77	129	129	129
PAK (10)	mg/GJ	3226	5806	3742	2968
PCDD/F	ng/GJ	1613	174	174	174
PM ₁₀	g/GJ	161	194	97	52
PM _{2,5}	g/GJ	153	183	92	49
SO ₂	g/GJ	13	13	13	13
Zink	mg/GJ	46	46	46	46

B Emissie uit houtkachels

Tabel 6 Totale emissie uit houtkachels voor de steekjaren, kg/jaar

Stof	1990	1995	2000	2005	2010	2012
CO ₂ -niet IPCC	1.450.279.846	1.516.496.397	1.588.961.114	1.776.020.736	1.888.169.382	1.925.122.214
CO	67.791.279	72.014.825	69.853.974	72.389.023	71.002.661	70.153.490
NMVOS	11.863.896	11.941.433	11.042.767	10.707.130	10.053.469	9.812.474
KWS _{condensable}	4.693.767	4.737.324	4.300.298	4.092.742	3.770.789	3.651.974
CH ₄	3.884.678	4.062.044	4.256.146	4.757.198	5.057.597	5.156.577
Grof Stof	2.597.312	2.450.283	2.301.247	2.238.034	2.187.568	2.184.193
PM ₁₀	2.290.860	2.381.970	2.224.211	2.189.099	2.044.164	1.982.992
PM _{2,5}	2.167.883	2.253.719	2.104.178	2.070.343	1.932.596	1.874.506
NO _x	1.453.980	1.553.057	1.660.022	1.896.571	2.039.936	2.085.544
SO ₂	167.083	174.712	183.060	204.611	217.531	221.788
PAK (10)	62.587	66.347	65.036	68.142	67.679	67.212
N ₂ O	51.796	54.161	56.749	63.429	67.435	68.754
Black Carbon	924	948	855	806	724	692
Zink	601	629	659	737	783	798
Koper	284	297	311	348	370	377
Lood	61	64	67	75	79	81
Cadmium	42	44	46	51	54	55
Kwik	25	26	27	31	33	33
PCDD/F	0,0083	0,0078	0,0072	0,0069	0,0067	0,0067