

EFFECTIVITEIT VAN DE HR-KETEL ALS ENERGIEBESPARINGSMAATREGEL

Berekening van de milieuwinst en kosteneffectiviteit

H. Jeeninga
G. J. Ruijg

Verantwoording

Dit rapport is tot stand gekomen in het kader van een opdracht van Stichting Gaskeur. Het project staat bij ECN geregistreerd onder projectnummer 7.7227.

Abstract

In this report, the environmental benefits (CO₂ and NO_x reduction) and the cost effectiveness of replacement of old and inefficient boilers by condensing boilers in existing dwellings are analysed. Replacement of inefficient boilers by condensing will lead to a reduction in CO₂ emissions of 2.3 Mton. The analysis shows that especially in the rental sector, a potential of 0.8 Mton exists for CO₂ reduction, due to the low penetration rate (about 12%) of the condensing boiler. In the owner occupied property, the penetration rate of the condensing boiler amounts to 24%, which give a potential for CO₂ reduction of 1.3 Mton. Furthermore, a comparison of cost effectiveness has been made for the condensing boiler, wall insulation, loft insulation, glass insulation, floor insulation and a solar power water heater. The cost effectiveness of the condensing boiler as well as cavity wall insulation amounts to about -200 Dfl/ton CO₂, meaning that it is a profitable investment from the consumers point of view. However, instalment of cavity wall insulation is currently not a favoured option in existing dwellings, due to problems with the stability and indoor air quality. Instead of cavity wall insulation, more often insulation is applied to the outer side of the wall. However, outside wall insulation about 8 times more expensive than cavity wall insulation. The cost effectiveness of HR++-glas amounts to about 100 Dfl/ton CO₂ for consumers. The other energy saving options considered have a cost effectiveness of over 500 Dfl/ton CO₂.

INHOUD

SAMENVATTING	4
1 INLEIDING	6
2 UITGANGSPUNTEN	7
2.1 Karakterisering woningbestand	7
2.2 Methodiek kosteneffectiviteit	8
2.3 Investerings, emissiefactoren, energietarieven, rentevoet en energiebesparing	8
2.4 Berekeningsmethodiek	9
3 RESULTATEN MODELBEREKENINGEN	10
3.1 Huidige bijdrage	10
3.2 Technisch potentiële emissiereductie	10
3.3 Resterende reductie ten opzichte van het autonome scenario	11
3.4 Vergelijking met overige besparingsmogelijkheden	12
3.5 Robuustheidsanalyse	13
4 IMPLEMENTATIE	15
4.1 Instrumenteerbaarheid en acceptatie	15
4.2 Toepasbaarheid en effectiviteit	16
5 DISCUSSIE EN CONCLUSIE	18
BIJLAGE A. MODELINPUT	19
BIJLAGE B. METHODIEK MILIEUKOSTEN	21
B.1 Eindverbruikerskosten	21
B.2 Nationale kosten	21
B.3 Voorbeeldberekening	22
BIJLAGE C. BEREKENINGSWIJZE	23
AFKORTINGEN	25
REFERENTIES	26

SAMENVATTING

In dit rapport wordt de milieuwinst en de kosteneffectiviteit berekend van de vervanging van inefficiënte CV-ketels door HR-ketels. De studie richt zich op het vervangen van CV-ketels in de bestaande bouw, nieuwbouw blijft in deze studie buiten beschouwing. In de berekeningen wordt een onderscheid gemaakt naar een technisch potentieel en een resterend potentieel ten opzichte van een autonome trend (scenario). Het technische potentieel heeft betrekking op de theoretische aanwezige emissiereductie, ofwel de emissiereductie indien alle inefficiënte ketels in één keer door een HR-ketel worden vervangen. Economische barrières blijven hierbij buiten beschouwing. Vervolgens wordt de resterende (potentiële) emissiereductie berekend ten opzichte van een autonoom scenario. In dit autonome scenario is verondersteld dat een CV-ketel pas vervangen wordt aan het einde van zijn technische levensduur en dat een deel van de te vervangen CV-ketels 'autonoom' door een HR-ketel wordt vervangen. Met betrekking tot de kosteneffectiviteit wordt een onderscheid gemaakt naar kosteneffectiviteit voor de eindverbruiker (micro benadering) en kosteneffectiviteit op nationale schaal (macro economische benadering).

In het totale woningbestand (bestaande bouw) met een individuele CV-installatie is in 1995 19% van de woningen voorzien van een HR-ketel, 45% van een VR-ketel en 36% van een ST-ketel. De penetratie van de HR-ketel in de sociale en particuliere huursector is beduidend lager (circa 12%) dan in de particulier koopsector (24%). De totale potentiële CO₂-reductie die door middel van de HR-ketel behaald kan worden bedraagt circa 2,3 Mton per jaar (technisch potentieel). Door middel van de HR-ketel wordt in 1995 reeds 0,8 Mton CO₂ per jaar gereduceerd. De totale potentiële emissiereductie voor NO_x is berekend op 8,2 kton per jaar, waarvan 2,5 kton in de sociale huursector en 4,9 kton in de particuliere koopwoningen.

In de sociale huursector dient, in het kader van het convenant Duurzaam Bouwen, in de periode tot 2001 een forse energiebesparing plaats te vinden. Door middel van de HR-ketel kan in deze sector circa 0,8 Mton CO₂ per jaar worden bespaard. Indien rekening wordt gehouden met vervanging van oude woningen door nieuwe woningen, dan kan de doelstelling zoals genoemd in het convenant Duurzaam Bouwen voor circa 80% worden gehaald door het vervangen van oude ketels door efficiënte HR-ketels.

Indien wordt aangenomen dat bij vervanging van bestaande ketels in 60% van de gevallen gekozen wordt voor een HR-ketel, dan resteert een emissiereductiepotentieel van 1,3 Mton in 2000, 0,8 Mton in 2005 en 0,7 Mton in 2010 ten opzichte van de autonome ontwikkeling. De penetratie van de HR-ketel in de bestaande bouw neemt in dit autonome scenario toe van 19% in 1995 tot 41% in 2000, 57% in 2005 en 65% in 2010.

De kosteneffectiviteit van de HR-ketel bedraagt circa –200 gulden/ton CO₂ vanuit de eindverbruikersbenadering (dit is inclusief subsidie) en 30 gulden/ton CO₂ nationaal. Door de verwachte kostendaling van de HR-ketel neemt de kosteneffectiviteit in 2010 toe tot –300 gulden/ton CO₂ voor eindverbruikers en –50 gulden/ton CO₂ nationaal.

In de studie is een vergelijking gemaakt tussen de HR-ketel en een aantal overige besparingsopties zoals muur-, dak-, vloer- en glasisolatie en de zonneboiler. Het reductiepotentieel van voor muurisolatie (buitenmuur- + spouwmuurisolatie) in de bestaande bouw bedraagt circa 4 Mton CO₂ per jaar. Echter, dit potentieel kan alleen tegen zeer hoge kosten behaald worden (meer dan 40 miljard gulden). De potentiële emissiereductie door HR++-glas bedraagt circa 2,3 Mton CO₂ per jaar bij een totale investering van circa 13 miljard gulden. Ter vergelijking, het benutten van de potentiële emissiereductie van 2,3 Mton voor de HR-ketel gaat gepaard met een totale (meer)investering van circa 5,0 miljard gulden. Wat betreft kosteneffectiviteit is de spouwmuurisolatie de enige van de overige opties die in beschouwing is genomen die een kostenef-

fectiviteit heeft die vergelijkbaar is met die van de HR-ketel (circa –200 gulden/ton CO₂ in de eindverbruikersbenadering). Echter, toepassing van spouwmuurisolatie kent een aantal problemen, zoals een mogelijke verslechtering van het binnenhuisklimaat en de stabiliteit van de aangebrachte isolatie (uitzakken). In de praktijk wordt dan ook vaker gekozen voor de veel duurder buitenmuurisolatie. De kosteneffectiviteit van HR++-glas bedraagt circa 100 gulden/ton CO₂ voor de eindverbruikers. Buitenmuurisolatie, vloerisolatie, dakisolatie en de zonneboiler hebben allen een kosteneffectiviteit groter dan 500 gulden/ton CO₂.

Mogelijke instrumenten om te komen tot een versnelde penetratie van de HR-ketel zijn ondermeer het (blijven) subsidiëren van de HR-ketel, het ontwikkelen van lease-constructies en het informeren van de particulieren door middel van voorlichtingscampagnes.

1 INLEIDING

De bestaande bouw heeft door een relatief hoge energievraag voor ruimteverwarming en een groot aantal woningen een groot besparingspotentieel. Verbetering van de efficiëntie van ketels in de bestaande bouw is daarom interessant, zeker ook daar berekeningen aangeven dat besparingen in de bestaande bouw een stuk kosteneffectiever kunnen zijn dan bij nieuwbouw (EZ, 1998; ECN/RIVM, 1998).

In de Energiebesparingsnota heeft het Ministerie van Economische Zaken aangegeven middels een Energie Prestatie Keur (EPK) voor woningen energiebesparing in de bestaande woningbouw te willen bewerkstelligen (EZ, 1998). Hoe de EPK concreet vorm gaat krijgen is nog onbekend. De laatste ontwikkelingen wijzen er op dat de EPK zoals genoemd in de Besparingsnota de vorm krijgt van een Energie Prestatie Advies (EPA). Hierbij stelt de overheid een zeker budget beschikbaar dat aangewend kan worden voor het geven van energieadviezen aan bewoners en financiering van de maatregelen (Novem, 1998). Het vervangen van oude ketels door efficiënte HR-ketels kan gezien worden als een manier om invulling te geven aan het EPK-beleid. Van belang is dan wel de kosteneffectiviteit in relatie tot andere besparingsmogelijkheden die in dit verband genomen kunnen worden.

De primaire doelstelling van dit onderzoek is het bepalen van de milieuwinst die kan worden bereikt door vervanging van ketels ouder dan 15 jaar in de bestaande woningbouw door nieuwe, efficiënte HR-ketels. De kosteneffectiviteit van de actie zal worden afgezet tegen een aantal andere besparingsmaatregelen die in EPK verband genomen kunnen worden. Tevens wordt de zonneboiler in de vergelijking meegenomen. Tot slot wordt kort ingegaan op de implementatieproblemen/instrumenteerbaarheid van de actie richting de verschillende doelgroepen.

2 UITGANGSPUNTEN

In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de berekeningen van de milieuwinst en de kosteneffectiviteit kort beschreven. Allereerst wordt een karakterisering van het woningbestand gegeven. Daarna wordt de kostenmethodiek kort toegelicht. Tot slot worden de emissiefactoren en de investeringen gegeven.

2.1 Karakterisering woningbestand

Het woningbestand kan worden beschreven aan de hand van een aantal kenmerken:

- Eigendomsverhouding; onderscheiden worden (1) particuliere koopwoningen, (2) sociale huurwoningen en (3) particulier huurwoningen (beleggingsmaatschappijen, particuliere beleggers).
- Woningtype; onderscheiden worden (1) flat/appartementen, (2) rijtjeswoningen en (3) twee onder één kap en vrijstaande woningen.
- Ruimteverwarmingsinstallatie; onderscheiden worden (1) woningen met lokale verwarming (LV; gaskachels), (2) woningen met een individuele centrale verwarming (ICV), en (3) woningen met stads- of blokverwarming.
- Leeftijdsklasse; hierbij kan een onderscheid worden gemaakt naar oudbouw (voor 1975), recente bouw (1975 – 1995) en nieuwbouw (na 1995).

Een onderscheid naar eigenaar is met name van belang in verband met (verschillen in) investeringsbeslissingen. Een eigenaar bewoner heeft andere belangen dan een verhuurder. De (gemiddelde) warmtevraag wordt bepaald door het type woning en de gemiddelde isolatiegraad¹. Er bestaat een zeker verband tussen de leeftijdsklasse van de woning en de gemiddelde isolatiegraad. Nieuwere woningen zijn, gemiddeld gezien, beter geïsoleerd dan oudere woningen (EnergieNed, 1996). ICV-woningen kunnen zijn voorzien van drie typen ketels: de conventionele ketel (ST-ketel), de verbeterd rendement ketel (VR-ketel) en de hoog rendement ketel (HR-ketel). Aangenomen is dat de HR-ketel alleen kan concurreren met de ST- en VR-ketel. Weliswaar wordt jaarlijks een bepaald aantal woningen voorzien van lokale verwarming gerenoveerd tot ICV-woning. Aangenomen wordt echter dat het effect hiervan wegvalt tegen de sloop van oude woningen die zijn voorzien van een ICV-systeem. Om redenen van data-beschikbaarheid bleek het niet mogelijk om voor bestaande woningen een onderverdeling te maken naar oudbouw en recente bouw. Daar dit onderzoek zich specifiek richt op de bestaande bouw is alleen dat deel van het woningbestand in de analyse betrokken dat voor of in 1995 gebouwd is.

In Tabel 2.1 is het aantal van de verschillende typen ketels per woningtype en eigenaar gegeven. In Tabel 2.2 is het aantal woningen per verwarmingssysteem in 1995 weergegeven. De berekeningen van de milieuwinst zijn berekend met als uitgangspunt de in Tabel 2.1 en Tabel 2.2 gepresenteerde gegevens.

In 1995 bedraagt het aandeel van de HR-ketel in de eigen woningen 24% tegenover respectievelijk 11% en 13% in de particuliere huur- en sociale huursector. Bij de vrijstaande koopwoningen wordt met 36% de hoogste penetratie van de HR-ketel gevonden. De hoogste penetratie van de ST-ketel (55%) wordt gevonden in de portiekwoningen in de particuliere huursector. De aandelen van de ketels in het totale woningbestand, dus zonder onderscheid naar woningtype en eigendomsverhouding, bedragen voor de ST-, VR-, en HR-ketel respectievelijk 36%, 45% en 19%.

¹ Hierbij wordt voorbijgegaan aan de invloed van de leefstijl/het gedrag van de bewoner op het energieverbruik.

Tabel 2.1 Aantallen ($\times 1000$) van de verschillende typen ICV systemen naar woningtype en eigendomsverhouding in 1995 (Damen Consultants, 1998; VROM, 1997 en 1998)

($\times 1000$)	ST	VR	HR	Totaal
Vrijstaand + 2/1 kap				
- Sociale huur	53	42	30	126
- Particulier huur	38	35	18	91
- Particulier koop	391	484	366	1241
Hoek- + rijtjeswoning				
- Sociale huur	395	493	127	1015
- Particulier huur	92	109	20	221
- Particulier koop	419	545	248	1212
Flat/appartement				
- Sociale huur	143	267	48	458
- Particulier huur	60	59	10	129
- Particulier koop	44	58	11	112
Totaal	1636	2092	878	4605

Tabel 2.2 Aantal woningen ($\times 1000$) naar type verwarmingsinstallatie (Damen Consultants, 1998)

	1995 ($\times 1000$)
Totaal ICV	4605
Totaal LV	956
Totaal blok- + stadsverwarming	686
Totaal woningen	6247

2.2 Methodiek kosteneffectiviteit

Bij de berekening van de kosteneffectiviteit van de verschillende besparingsopties is gebruik gemaakt van de methodiek zoals gehanteerd in het 'Optiedocument voor Emissiereductie van Broeikasgassen' (ECN/RIVM, 1998). In deze paragraaf wordt kort ingegaan op de gehanteerde methodiek, voor een meer uitvoerige beschrijving wordt verwezen naar het eerdergenoemde Optiedocument. De kosteneffectiviteit wordt volgens twee methodes gepresenteerd. De eindverbruikerskosten op basis van de 'verbrede eindverbruikersbenadering' van de Methodiek Milieukosten (VROM, 1998a), en de nationale kosten. De te hanteren methodiek is afhankelijk van het doel waar de kostenberekening voor geschiedt: het in kaart brengen van de kosten voor de eindverbruiker of voor de 'BV Nederland'. Voor beide methodes geldt dat eerst de jaarlijkse kosten/opbrengsten van een maatregel worden bepaald, die vervolgens gedeeld worden door de jaarlijkse CO₂-reductie. De verschillen ontstaan bij de te hanteren energieprijzen, de disconteringsvoeten en in hoeverre rekening gehouden wordt met beleidsinstrumenten als heffingen en subsidies. In Paragraaf B.1 en B.2 van Bijlage B wordt ingegaan op beide methodieken. In Paragraaf B.3 is een voorbeeld opgenomen ter illustratie van het verschil tussen beide methodieken.

2.3 Investerings, emissiefactoren, energietarieven, rentevoet en energiebesparing

In Tabel 2.3 zijn de meerinvesteringen, additionele beheer- en onderhoudskosten (B&O-kosten), subsidie en verwachte kostendaling voor de onderscheiden besparingsopties gegeven. In het voorlopige ontwerp van de EPA-keuring is aangegeven dat middels een energiepremie subsidie kan worden verkregen op muur-, dak- en bodemisolatie (RC • 1,3), HR++-glas, HR-warmte-terugwinning de HR-107 (combi)ketel (Novem, 1999). Voor de penetratie van maatregelen voor

woningisolatie zijn wordt verwezen naar Tabel A.2 van de bijlage. In Tabel A.3 zijn de huidige energieprijzen, de gemiddelde energieprijzen voor 2010 en de rentevoet gegeven. Voor de energieprijzen is hierbij een onderscheid gemaakt naar nationale en eindverbruikerstarieven, zie Paragraaf 2.2. De emissiefactoren voor CO₂ en NO_x zijn gegeven in Tabel A.4 van de bijlage, de rendementen van de ICV-toestellen in Tabel A.5 en de gemiddelde warmtevraag per woningtype in Tabel A.6.

Tabel 2.3 *Investerings- en jaarlijkse B&O-kosten per besparingsoptie in 1999 (NEFIT; Damen Consultants, 1998; De Beer, 1994; EZ, 1999)*

	(meer)investering ² [gld/woning]	B&O-kosten [gld/woning/jaar]	Subsidie ³ [gld/woning]	Kostendaling per jaar 1999 – 2010
ST-ketel	2250	100	0	0%
VR-ketel	2600	125	0	1%
HR-ketel	3500	150	253	2%
- HR101	3250	150	253	2%
- HR104	3500	150	253	2%
- HR107	3750	150	253	2%
HR-glas ⁴	4600	-	0	1%
HR++ glas ⁴	4900	-	439	2%
Muurisolatie ⁴	1550	-	235	1%
Dakisolatie ⁴	7800	-	352	1%
Vloerisolatie ⁴	1920	-	188	1%
Zonneboiler ⁴	4500	-	1200	2%

2.4 Berekeningsmethodiek

Door middel van een aantal modelberekeningen wordt een drietal effecten bepaald:

1. De huidige bijdrage van de HR-ketel aan de vermindering van uitstoot van CO₂ en NO_x.
2. De totaal resterende emissiereductie indien alle ST- en VR-ketels door HR-ketels vervangen zouden worden.
3. De potentiële emissiereductie ten opzichte van een autonoom scenario. Hierbij wordt rekening gehouden met het gegeven dat een deel van de te vervangen ketels ‘autonoom’ door een HR-ketel wordt vervangen.

Voor effect 2 en 3 worden tevens de totale investeringen bepaald. De gehanteerde berekeningswijze wordt beschreven in Bijlage C.

² Inclusief installatie en woningaanpassing.

³ Inclusief BTW.

⁴ Zie ook Tabel A.1 van de bijlage.

3 RESULTATEN MODELBEREKENINGEN

In dit hoofdstuk wordt voor de HR-ketel de resultaten van de modelberekeningen gegeven, zie ook Paragraaf 2.4. Tevens wordt een vergelijking gemaakt met overige besparingsopties zoals woningisolatie en de zonneboiler.

3.1 Huidige bijdrage

De huidige bijdrage van de HR-ketel aan de vermindering van de uitstoot van CO₂ is samengevat in Tabel 3.1 (effect 1, zie bijlage C).

Tabel 3.1 *Huidige bijdrage HR-ketel aan vermindering CO₂-uitstoot in (gebaseerd op ketelpenetraties in 1995)*

[kton/jaar]	Flat/Appartement	Hoek- + Rijwoning	Vrijstaand +2/1 kap	Totaal
Sociale huur	20	91	191	301
Particulier huur	5	14	33	52
Particulier koop	5	176	257	438
Totaal	29	282	506	817

De grootste bijdrage aan de CO₂ reductie wordt geleverd door de HR-ketels in particuliere koop eengezinswoningen. Dit komt doordat deze sector de grootste omvang en de hoogste penetratiegraad (24%) heeft. De sector wordt op afstand gevolgd door de sociale huur eengezinswoningen. Deze sector is tweede in grootte. De penetratiegraad (13%) verschilt nauwelijks van de particuliere huur (11%). De totale reductie door HR-ketels bedraagt 0,8 Mton CO₂ per jaar.

3.2 Technisch potentiële emissiereductie

De hoogst mogelijke emissiereductie (technische potentieel) die behaald zou worden wanneer in plaats van de huidige ketels alle ketels HR zouden zijn is samengevat in Tabel 3.2 (effect 2, zie Bijlage C).

Tabel 3.2 *Emissiereductiepotentieel (kton CO₂ per jaar) gebaseerd op ketelaandelen 1995*

[kton/jaar]	Flat/Appartement	Hoek- + Rijwoning	Vrijstaand + 2/1 kap	Totaal
Sociale huur	141	530	77	748
Particulier huur	46	121	58	225
Particulier koop	37	570	652	1258
Totaal	224	1221	786	2230

Het grootste reductiepotentieel is aanwezig in de particuliere koop eengezinswoningen. De penetratiegraad van HR-ketels is in deze groep weliswaar het grootst, maar het is de grootste groep en er is nog een groot potentieel aanwezig (75%). Ook een aanzienlijke besparing is te behalen in de sociale huur hoek- en rijwoningen. Deze sector heeft vele woningen met een hoge gasvraag, en er kunnen nog veel HR-ketels worden geplaatst (87%). De particuliere huursector heeft weliswaar de laagste penetratiegraad van HR-ketels (11%), maar door de geringe omvang is het reductiepotentieel er niet groot. De potentiële emissiereductie van 2,2 Mton is ruim 10% van de totale CO₂-uitstoot ten gevolge van het huishoudelijk gasverbruik. De totale meerinvesteringen die noodzakelijk zijn om alle ST- en VR-toestellen te vervangen door een HR-ketel bedragen circa 5,0 miljard gulden, waarvan 1,9 miljard sociale huur, 0,5 miljard in de particuliere huur en 2,6 miljard in de particuliere koopsector. De totale potentiële emissiereductie voor NO_x

is berekend op 3,5 kton, waarvan 1,2 kton in de sociale huursector en 2,0 kton in de particuliere koopwoningen.

3.3 Resterende reductie ten opzichte van het autonome scenario

Om de potentiële emissiereductie ten opzichte van autonome vervanging van ST- en VR-ketels door HR-ketels te kunnen bepalen is een autonoom scenario samengesteld. In dit autonome scenario is verondersteld dat een CV-ketel pas vervangen wordt aan het einde van zijn technische levensduur en dat bij vervanging van een inefficiënte ketel in 60% van de gevallen 'autonoom' voor een HR-ketel wordt gekozen (ECN, 1999). De ontwikkeling van de penetratiegraden van ST-, VR- en HR-ketels in dit scenario is samengevat in Tabel 3.3. De potentiële emissiereductie ten opzichte van het autonoom scenario in de jaren 2000, 2005 en 2010 is gegeven in Tabel 3.4 (effect 3, zie Bijlage C).

Tabel 3.3 *Penetratie van ST-, VR- en HR-ketels volgens het autonoom scenario [%]*

	1995	2000	2005	2010
<i>Sociale huur</i>				
ST	37	12	0	0
VR	50	52	48	39
HR	13	36	52	61
<i>Particulier huur</i>				
ST	43	14	0	0
VR	46	50	48	39
HR	11	35	52	61
<i>Particulier koop</i>				
ST	33	11	0	0
VR	42	43	39	31
HR	24	46	61	69
<i>Totaal</i>				
ST	36	12	0	0
VR	45	47	43	35
HR	19	41	57	65

Tabel 3.4 *Emissiereductiepotentiëel (kton CO₂ per jaar) ten opzichte van het autonome scenario in de jaren 2000, 2005 en 2010*

	Flat/Appartement	Hoek- + Rijwoning	Vrijstaand + 2/1 kap	Totaal
<i>2000</i>				
Sociale huur	95	315	43	453
Particulier huur	29	71	33	133
Particulier koop	24	341	390	755
Totaal	148	727	466	1341
<i>2005</i>				
Sociale huur	67	185	23	275
Particulier huur	18	42	18	78
Particulier koop	16	202	229	448
Totaal	101	430	271	801
<i>2010</i>				
Sociale huur	57	148	19	224
Particulier huur	16	33	15	64
Particulier koop	14	162	183	359
<i>Totaal</i>	86	344	217	646

Het reductiepotentieel wordt in alle sectoren kleiner omdat de penetratie van HR-ketels in het gekozen autonome scenario groeit van 19% in 1995 via 41% en 57% naar 65% in 2010. Er zijn na 2005 naast HR-ketels nog uitsluitend VR-ketels in gebruik. In 2000, 2005 en 2010 resteren nog CO₂-reductiepotentiëlen van respectievelijk 1,3 Mton, 0,8 Mton en 0,6 Mton ten opzichte van de autonome ontwikkeling⁵. De reeds behaalde emissiereductie door de HR-ketel (effect 1) stijgt van 0,8 Mton in 1995 naar respectievelijk 1,4 Mton, 1,5 Mton en 1,7 Mton in 2000, 2005 en 2010. De totale meerinvestering die nodig zijn om het potentieel aan CO₂-reductie te kunnen behalen bedraagt circa 2,9 miljard gulden in 2000, 1,6 miljard gulden in 2005 en 1,0 miljard gulden in 2010.

De totale potentiële emissiereductie voor NO_x bedraagt 3,5 kton in 1995, 1,4 kton in 2000, 0,34 kton in 2005 en 0,27 kton in 2010.

3.4 Vergelijking met overige besparingsmogelijkheden

In Tabel 3.5 is de kosteneffectiviteit van de verschillende besparingsopties berekend. Hierbij is een onderscheid gemaakt naar nationale kosten en eindverbruikerskosten, zie ook Paragraaf 2.2. Voor 1999 is gerekend met de (meer)investeringen inclusief subsidies, zie ook Tabel 2.3. Voor 2010 is aangenomen dat de subsidieregeling is komen te vervallen.

Tabel 3.5 *Kosteneffectiviteit (gld/ton CO₂) besparingsopties in de bestaande bouw in 1999 en 2010*

f/ton CO ₂	1999	1999	2010	2010
	Eindverbruikers	Nationaal	Eindverbruikers	Nationaal
HR-101	-230	35	-330	-50
HR-104	-220	25	-335	-55
HR-107	-220	20	-340	-60
Vloerisolatie	445	490	360	405
Spouwmuurisolatie	-215	10	-260	-10
Buitenmuurisolatie	705	630	540	525
Dakisolatie ⁶	1200	985	1000	830
HR-glas ⁷	260	305	125	245
HR++-glas ⁷	130	250	-12	155
Zonneboiler	705	915	672	645

De kosteneffectiviteit voor de HR-ketel in de bestaande bouw bedraagt circa –200 gulden/ton CO₂ voor eindverbruikers en 30 gulden/ton CO₂ nationaal. Door de verwachte daling in de meerinvestering neemt de kosteneffectiviteit toe in 2010 tot circa –300 gulden/ton CO₂ voor de eindverbruikers en –55 gulden/ton CO₂ nationaal. Spouwmuurisolatie is wat betreft de overige besparingsopties in de bestaande bouw de enige optie met een negatieve kosteneffectiviteit voor de eindverbruiker. Nationaal gezien is deze optie nagenoeg kostenneutraal. Buitenmuurisolatie, dakisolatie en de zonneboiler hebben zowel in 1999 alsmede in 2010 een kosteneffectiviteit > 500 gulden/ton CO₂. Indien louter de kosteneffectiviteit als beslissingscriterium wordt gehanteerd, dan ligt het niet voor de hand om over te gaan tot stimulering van laatstgenoemde opties.

In de KWR-studie '94 – '96 wordt het effect van een aantal besparingspakketten doorgerekend (Damen Consultants, 1998). In 'pakket twee' draagt de HR-ketel in de sociale en particuliere

⁵ Hierbij is gerekend met een constant rendement van de HR-ketel. Indien wordt aangenomen dat het gemiddelde rendement van de HR-ketel toeneemt doordat het aandeel van de HR-107 ten opzichte van de HR-101 toeneemt, dan neemt de potentiële emissiereductie in 2005 en 2010 beduidend minder snel af. Indien gerekend wordt met een stijgend rendement van de HR-ketel dan bedraagt de potentiële emissiereductie zowel in 2005 als 2010 circa 1,0 Mton CO₂.

⁶ Hellend dak.

⁷ Besparing ten opzichte van enkel glas.

huursector voor respectievelijk 70% en 80% bij aan de totale besparing terwijl de kosten/baten verhouding een factor twee lager ligt dan voor spouwmuurisolatie en een factor vier lager dan voor dakisolatie⁸. Zowel wat betreft het potentieel alsmede de kosteneffectiviteit scoort de HR-ketel in deze studie goed ten opzichte van woningisolatiemaatregelen.

Muur-, dak-, vloer-, en glasisolatie kunnen worden toegepast onafhankelijk van het type verwarmingssysteem. Het totaal aantal woningen in de bestaande bouw bedraagt circa 6,3 miljoen woningen, zie ook Tabel 2.2. Aangenomen wordt dat de zonneboiler bij 3,7 miljoen woningen in de bestaande bouw kan worden geïnstalleerd, zie ook Paragraaf 4.2. De totale potentiële CO₂-emissiereductie en de hiermee gepaard gaande totale investeringen (huidige prijzen) zijn gegeven in Tabel 3.6.

Tabel 3.6 *Potentiële CO₂-reductie en totale investeringen (huidige prijzen) voor overige besparingsopties*

	Potentiële CO ₂ -reductie [Mton CO ₂]	Totale investeringen [Mln. gld]
Vloerisolatie	1,2	10.700
Spouwmuurisolatie ⁹	0,3	609
Buitenmuurisolatie ⁹	3,8	42.300
Dakisolatie ⁶	2,1	33.600
HR++-glas	2,3	12.800
Zonneboiler	1,3	16.700
Totaal	11,0	116.600

De grootste potentiële CO₂-emissiereductie is te behalen door middel van muurisolatie (ruim 4 Mton). Echter, deze emissiereductie gaat gepaard met zeer hoge totale investeringen (ruim 42 miljard gulden). Het op grote schaal toepassen van HR++ glas geeft een potentiële emissiereductie van 2,3 Mton CO₂ bij een totale investering van circa 13 miljard gulden. Ter vergelijking, de potentiële reductie van 2,3 Mton gaat gepaard met een totale (meer)investering van 5,0 miljard gulden.

3.5 Robuustheidsanalyse

Om na te gaan wat het effect is van de aannames/veronderstellingen die in de modelberekeningen zijn gehanteerd, is een robuustheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij is het effect van de variatie van de volgende grootheden bepaald:

- Energieprijzen; het effect van een lagere energieprijis op de kosteneffectiviteit.
- Investering HR-ketel; het effect van een verandering van de meerinvestering van de HR-ketel op de kosteneffectiviteit.
- Vervangingskans; in het autonome scenario wordt in het geval van ketelvervanging met een bepaalde kans gerekend dat de nieuw aangeschafte ketel een HR-ketel is. Wat is het effect van het vergroten dan wel verkleinen van deze kans op het resterende emissiereductiepotentieel.
- Toepasbaarheid; aangenomen is dat in 75% van de gevallen de HR-ketel toegepast kan worden in het woningsegment 'flat/appartementen'. Wat is het effect van een verandering in deze toepasbaarheid op de potentiële emissiereductie.

⁸ Gegevens voor particulier koop en totaal bestaand bouw zijn niet volledig.

⁹ Aangenomen is dat 10% van de nog van muurisolatie te voorziene woningen wordt voorzien van spouwmuurisolatie en 90% van buitenmuurisolatie.

Energieprijzen

Door het verhogen van de aardgasprijs van 68 cent/m³ tot 85 cent/m³ neemt de kosteneffectiviteit van de HR-ketel voor eindverbruikers toe van –220 gulden/ton CO₂ tot –320 gulden/ton CO₂. Een daling van de aardgasprijs tot 60 cent/m³ geeft een kosteneffectiviteit voor eindverbruikers van –180 gulden/ton CO₂. Het variëren van de energieprijzen heeft geen effect op de kosteneffectiviteit op nationale schaal.

Kostendaling meerinvesteringen HR-ketel

Indien wordt aangenomen dat de kostendaling van de (meer)investeringen van de HR-ketel gelijk is aan 0%/jaar in plaats van 2%/jaar, dan daalt de kosteneffectiviteit van de HR-107 in 2010 van –340 gulden/ton CO₂ tot –230 gulden/ton CO₂ in de eindverbruikersbenadering en van –60 gulden/ton CO₂ tot +25 gulden/ton CO₂ nationaal.

Vervangingskans HR-ketel

In het autonome scenario is aangenomen dat een ST- of VR-ketel in 60% van de gevallen wordt vervangen door een HR-ketel en derhalve in 40% van de gevallen door een VR-ketel (ECN, 1999). Indien in 80% van de gevallen wordt gekozen voor een HR-ketel dan neemt de penetratie van de HR-ketel in het autonome scenario toe van 19% in 1995 tot 49% in 2000, 68% in 2005 en 76% in 2010 (oorspronkelijk: 19% in 1995, 41% in 2000, 57% in 2005 en 65% in 2010). De resterende emissiereductie daalt hierbij tot 1,2 Mton CO₂ in 2000, 0,6 Mton CO₂ in 2005 en 0,4 Mton CO₂ in 2010. Indien echter wordt aangenomen dat in 40% van de gevallen wordt gekozen voor een HR-ketel, dan bedraagt de penetratie van de HR-ketel in het autonome scenario 34% in 2000, 45% in 2005 en 52% in 2010. De resterende emissiereductie bedraagt in dit geval 1,5 Mton CO₂ in 2000, 1,0 Mton CO₂ in 2005 en 0,9 Mton CO₂ in 2010.

Toepasbaarheid HR-ketel

Aangenomen is dat de HR-ketel in 75% van de meergezinswoningen (flat/appartementen) in de bestaande bouw kan worden toegepast. Indien dit slechts in 50% van de gevallen blijkt te kunnen dan daalt de potentiële emissiereductie in het autonome scenario naar 1,3 Mton CO₂ in 2000, 0,8 Mton in 2005 en 0,6 Mton in 2010 (oorspronkelijk: 1,3 Mton CO₂ in 2000, 0,8 Mton in 2005 en 0,6 Mton in 2010). Indien echter de HR-ketel in 100% van de meergezinswoningen kan worden geïnstalleerd dan neemt de potentiële emissiereductie toe tot 1,4 Mton CO₂ in 2000, 0,8 Mton in 2005 en 0,6 Mton in 2010.

4 IMPLEMENTATIE

In dit hoofdstuk wordt allereerst kort ingegaan op de instrumenteerbaarheid. Welke (beleids)instrumenten zijn beschikbaar en hoe kunnen deze ingezet worden bij de verschillende doelgroepen. Vervolgens wordt ingegaan op de toepasbaarheid van en effectiviteit van verschillende besparingsopties. Hierbij wordt zowel gekeken naar de HR-ketels als ook overige besparingsopties zoals muur-, dak-, vloer- en glasisolatie en de zonneboiler.

4.1 Instrumenteerbaarheid en acceptatie

Niet alleen de rentabiliteit van een besparingsoptie is van belang, een succesvolle stimulering van een bepaalde technologie kan niet los gezien worden van de instrumenteerbaarheid. De huur- en koopsector vereisen een verschillende aanpak. Terwijl een woningbouwvereniging de vervanging van ketels als een planmatige bedrijfseconomische afweging ziet tussen de investering en de onderhouds- en reparatiekosten en verhuurbaarheid, zal een particuliere woningbezitter de investering beschouwen als een grote uitgave in plaats waarvan hij misschien liever op vakantie gaat. Er dient derhalve een onderscheid gemaakt te worden naar verschillende doelgroepen (actoren), te weten:

- sociale huurwoningen (woningbouwverenigingen),
- particuliere huurwoningen (beleggingsmaatschappijen, particuliere beleggers),
- particuliere koopwoningen.

Sociale huursector

Middels het convenant Duurzaam Bouwen heeft de sociale huursector zich ten doel gesteld om in de periode 1998 – 2001 15% energiebesparing te behalen ten opzichte van het jaar 1995 (Duurzaam bouwen, 1997). Vervanging van oude ketels door efficiënte HR-ketels lijkt een goede optie om een (groot) deel van deze doelstelling te behalen. Het plaatsen van een HR-ketel is een voor de bewoner minder ingrijpende operatie dan het na-isoleren van de woning. Met name bij grootschalige renovatie zal de overlast voor de bewoner fors zijn, en deze zal daarvoor (financieel) gecompenseerd moeten worden. Het plaatsen van dubbel glas wordt over het algemeen door bewoners als positief ervaren doordat het comfortniveau van de woning verhoogd wordt. Het plaatsen van dubbel glas alsmede het plaatsen van een HR-ketel lijken daarmee de meest voor de hand liggende besparingsopties om te voldoen aan de in het convenant gegeven doelstelling. De sociale huursector heeft als kenmerk dat het een vrij homogene groep is die via een overkoepelende belangenorganisatie goed bereikbaar is. Het verstrekken van informatie over de (effectieve) mogelijkheden om te komen tot energiebesparing is, in vergelijking tot de overige doelgroepen, relatief eenvoudig.

Particuliere huurwoningen

De groep van particulier huurwoningen valt uiteen in twee groepen: (1) woningen die in handen zijn van beleggingsmaatschappijen zoals pensioenfondsen, en (2) woningen die in handen zijn van particuliere beleggers. Voor beide groepen geldt dat investeringen in onderhoud en energiebesparing via de huur moeten worden terugverdiend. Immers, de baten van een lagere energierekening komen ten goede aan de huurder en niet aan de verhuurder (in geval van huurprijs exclusief belastingen, energie en overige diensten). De kosten moeten echter door de verhuurder worden gedragen. Met name de aansturing van de particuliere beleggers is problematisch. Generaliserend kan gesteld worden dat deze groep slechts correctief en bij voorkeur minimaal onderhoud pleegt. Verhuurbaarheid speelt vaak een minder grote rol, omdat deze panden vaak te vinden zijn op locaties met grote woningschaarste (studentenkamers). Voor grote investeerders speelt verhuurbaarheid wel een rol, omdat deze de rentabiliteit van de investering beïnvloedt. De woningen worden via een bedrijfseconomische en planmatige aanpak onderhouden. Indien

het rendement op de investeringen terugloopt (naar verwachting te laag zal zijn) dan worden over het algemeen de woningen te koop aangeboden. Ook het bereiken van de grote particuliere verhuurders is niet eenvoudig maar niet onmogelijk, aangezien het gaat om een beperkt aantal grote investeerders. Naast de rechtstreekse benadering is tevens een aanpak via de (grotere) installateur mogelijk.

Een mogelijk instrument waardoor het voor de grote investeerders aantrekkelijk wordt grootschalig over te gaan naar de HR-ketel is de leaseconstructie. Zowel de investering als het onderhoud komen hiermee voor rekening van de leasemaatschappij, bijvoorbeeld een energiebedrijf. Zonder nadere studie is het niet mogelijk aan te geven hoe deze leaseconstructie in detail vorm gegeven zou moeten worden.

Particuliere koopwoningen

De groep van particulier woningbezitters kent geen overkoepelend allesomvattende belangenvereniging/brancheorganisatie. Als vertegenwoordiging van deze groep zou echter de Vereniging Eigen Huis beschouwd kunnen worden (560.000 leden). Voorlichten/informereren van de particuliere huizenbezitter over de energiebesparingmogelijkheden en financiële voordelen bij aanschaf van een HR-ketel zou dan ook ten dele via deze vereniging kunnen lopen. Echter, niet alle particuliere woningbezitters zijn bij deze vereniging aangesloten. Goede informatie via de installateur is tevens een spoor waarmee deze doelgroep bereikt kan worden. Positief aspect bij deze doelgroep is dat zowel de investeringen alsmede de opbrengsten ten goede komen aan dezelfde partij. In het geval dat de investering aantoonbaar rendabel is, zou slechts de hoogte van de initiële investering een hindernis kunnen vormen. Een mogelijkheid om deze barrière te slechten zou wederom de leaseconstructie kunnen zijn. Binnen deze doelgroep is het gangbaar pas tot vervanging van de ketel over te gaan aan het einde van de technische levensduur. De ketel kan dan al lang aan het einde van zijn economische levensduur zijn. Ook hier zou de leaseconstructie uitkomst kunnen bieden. Immers, de eigenaar-bewoner ziet meteen zijn uitgaven omlaag gaan (het effect van de lagere energierekening is groter dan de uitgaven aan het leasen van de HR-ketel) en hoeft hiervoor geen investering te doen. Dat de oude ketel technisch nog niet afgeschreven is, is minder relevant, daar de voordelen meteen optreden.

4.2 Toepasbaarheid en effectiviteit

Zoals in Paragraaf 2.4 is aangevoerd, is het uit kostenoverwegingen niet mogelijk om de HR-ketel in alle typen woningen rendabel te plaatsen. Doordat de HR-ketel gebruik maakt van een gesloten afgassensysteem is in bepaalde typen flat/appartementen een relatief dure aanpassing nodig aan het schoorsteenkanaal waarmee de afgassen worden afgevoerd. Ook overige besparingsopties kunnen niet zondermeer overal, tegen geringe (meer)investeringen, worden toegepast. Isolatie van de schil van bestaande woningen is beduidend minder effectief indien bepaalde koudebruggen, zoals balkons en balustrades bij bijvoorbeeld flats/appartementen niet kunnen worden weggenomen.

Momenteel wordt bij muurisolatie van bestaande woningen in circa 90% van de gevallen gekozen voor buitenmuurisolatie. Spouwmuurisolatie wordt tegenwoordig weinig meer toegepast vanwege de problemen met het uitzakken van de isolatie. Tevens speelt het optreden van vochtproblemen hierbij een rol. In geval van buitenmuurisolatie blijft de spouwmuur nog steeds ventileren en spelen vochtproblemen een minder grote rol (Den Nijs, 1999). In een aantal gevallen zal bij glasisolatie tevens de kozijnen moeten worden vervangen, omdat deze niet zijn berekend op glas met een dergelijke dikte (Stichting Bouwresearch, 1999; Damen Consultants, 1998). Ook de zonneboiler zal niet in alle gevallen toegepast kunnen worden. Het rendement van de zonneboiler wordt met name bepaald door de oriëntatie ten opzichte van de zon. In bepaalde gevallen zullen tevens aanpassingen aan de dakconstructie moeten worden gedaan. Ingeschat wordt dat de zonneboiler in circa 60% van de woningen in de bestaande bouw toegepast kan worden (Damen Consultants, 1998; Novem).

Het optimaal isoleren van de schil van de woning (inclusief kierdichting) kan een aantal problemen met zich meebrengen zoals een verslechtering van het binnenklimaat en vochtproblemen. Om dit te voorkomen dient voldoende geventileerd te worden, hetgeen de energiebesparing in negatieve zin beïnvloedt. Echter, het optimaal isoleren van de woningschil van een bestaande woning is niet zo eenvoudig als het aanbrengen van isolatie tijdens de bouw van een nieuwe woning. Een voordeel van isolatiemaatregelen ten opzichte van de HR-ketel is de langere levensduur.

Voor de HR-ketel geldt dat een hoog ketelrendement alleen gehaald wordt indien de ketel goed is ingeregeld (de retourwatertemperatuur dient correct te worden ingesteld (waterzijdig inregelen)). Indien de ketel wordt geplaatst door een erkend (vakbekwaam) installateur mag verwacht worden dat de ketel optimaal functioneert.

5 DISCUSSIE EN CONCLUSIE

De KWR-studie leert dat met name in de sociale huursector de penetratie van de HR-ketel achterblijft (Damen Consultants, 1998). Echter, middels een convenant heeft deze sector zich verplicht tot het omlaagbrengen van het energieverbruik met 15% in het jaar 2001 (Duurzaam Bouwen, 1997). Door het vervangen van oude ketels door efficiënte HR-ketels kan deze doelstelling voor circa 80% worden gehaald¹⁰. Grootschalige vervanging van oude ketels door HR-ketels levert in de sociale huursector een emissiereductie van 0,7 Mton CO₂ op. Ook in het woningsegment particuliere koopwoningen is een aanzienlijke energiebesparing mogelijk. Een ketel wordt echter vaak pas aan het einde van de technische levensduur vervangen, terwijl het economisch gezien al eerder aantrekkelijk is om de ketel te vervangen. Hier zou mogelijk een versnelde penetratie van de HR-ketel bewerkstelligd kunnen worden door het aanbieden van een lease constructie. Hierdoor gaan de totale maandlasten van de eigenaar-bewoner meteen omlaag, terwijl er niet eerst geïnvesteerd hoeft te worden. De potentiële emissiereductie bedraagt circa 1,3 Mton CO₂. De sector van particulier verhuurders lijkt een moeilijk te bereiken doelgroep. De potentiële emissiereductie bedraagt hier circa 0,2 Mton CO₂. De totale potentiële emissiereductie komt hiermee uit op 2,2 Mton CO₂.

In het Optiedocument voor Emissiereductie van Broeikasgassen worden voor de sector huishoudens een aantal maatregelen genoemd (ECN/RIVM, 1998). Het effect van deze maatregelen in 2010 bedraagt 0,6 Mton CO₂-reductie voor huishoudelijke apparaten (een afname van het elektriciteitsverbruik met 5,7 PJ_e), en de aanscherping van de EPN levert circa 0,6 Mton op. In de bestaande bouw wordt echter een fors hogere CO₂-reductie behaald van 3,6 Mton. Volgens de modelberekeningen is het mogelijk om door stimulering van de penetratie van de HR-ketel in de bestaand bouw een totale emissiereductie van 2,2 Mton te bewerkstelligen. Hiermee kan door inzet van één enkele besparingsoptie voor een groot deel in de te behalen emissiereductie worden voorzien.

Vergeleken met overige besparingsopties, zoals woningisolatie, brengt de installatie van de HR-ketel weinig praktijkproblemen met zich mee. Mits geïnstalleerd door een erkend/vakbekwaam installateur, is het waarschijnlijk dat de in de modelberekeningen bepaalde besparing ook daadwerkelijk wordt gehaald. Wat betreft kosteneffectiviteit is de HR-ketel een aantrekkelijke optie door de relatief hoge warmtevraag in de bestaande bouw. Installatie van de HR-ketel heeft tevens geen ongewenste effecten op het binnenklimaat. Voor de zonneboiler geldt een aparte doelstelling m.b.t. tot duurzame energie. Echter, indien uitsluitend gekeken wordt naar reductie van CO₂-emissies dan is de HR-ketel uit oogpunt van kosteneffectiviteit een betere keuze.

De kosteneffectiviteit van de HR-ketel bedraagt circa -200 gulden/ton CO₂ in de eindverbruikersbenadering. Vanuit nationaal oogpunt bedraagt de kosteneffectiviteit circa 30 gulden per ton CO₂. Van de overige beschouwde besparingsopties kent alleen spouwmuurisolatie een vergelijkbaar goede kosteneffectiviteit. Echter, deze besparingsoptie kent een aantal toepassingsproblemen. In de praktijk wordt daarom vaak de veel duurdere buitenmuurisolatie toegepast. Toepassing van HR++-glas heeft een kosteneffectiviteit van 130 gulden/ton CO₂ voor eindverbruikers en 250 gulden/ton CO₂ nationaal. De overige in deze studie beschouwde besparingsopties, inclusief de zonneboiler, kennen alle een kosteneffectiviteit die groter is dan 500 gulden/ton CO₂.

Mogelijke instrumenten om te komen tot een versnelde penetratie van de HR-ketel zijn ondermeer het (blijven) subsidiëren van de HR-ketel, het ontwikkelen van lease-constructies en het informeren van de particulieren door middel van voorlichtingscampagnes.

¹⁰ Indien daarnaast rekening wordt gehouden met sloop- en nieuwbouw van sociale huurwoningen, dan kan verwacht worden dat de doelstelling volledig wordt gehaald.

BIJLAGE A. MODELINPUT

Tabel A.1 *Investering isolatiemaatregelen per woning exclusief subsidies*
(Damen Consultants, 1998; De Beer, 1994)

	Investering [gld/m ²]	Subsidie ¹¹ [gld/m ²]	[Aantal m ²]	Besparing [m ³ /woning]
Vloerisolatie	48	4	40	120
Spouwmuurisolatie	31	4	50	450
Buitenmuurisolatie	239	7	51	610
Dakisolatie – hellend	161	6	49	270
Dakisolatie – plat	193	6	-	-
Glasisolatie HR-glas ¹²	423	-	11	412
Glasisolatie HR++-glas ¹²	447	34	11	502

Tabel A.2 *Penetratie van isolatiemaatregelen in 1996 (Weegink, 1998)*

	Penetratie [%/woning]
Glasisolatie	58
Muurisolatie	37
Dakisolatie	31
Vloerisolatie	11

Tabel A.3 *Energietarieven en rentevoet voor eindverbruikers en nationaal*
(ECN/RIVM, 1998; NUON, 1999)

	Eindverbruikers	Nationaal
Rentervoet	8,0%	5,0%
Aardgasprijs 1999	21 gld/GJ (= 68 ct/m ³)	7 gld/GJ (= 22 ct/m ³)
Aardgasprijs 2010	24 gld/GJ (= 76 ct/m ³)	7 gld/GJ (= 22 ct/m ³)
Elektriciteitsprijs 1999	80 gld/GJ (= 29 ct/kWh)	25 gld/GJ (= 9 ct/kWh)
Elektriciteitsprijs 2010	83 gld/GJ (= 30 ct/kWh)	25 gld/GJ (= 9 ct/kWh)

Tabel A.4 *Emissiefactoren voor CO₂ per energiedrager en NO_x per type ICV-ketel*
(ECN/RIVM, 1998; Brouwer, 1993)

	CO ₂ -emissiefactor
Aardgas	0,0561 Mton/PJ _{aardgas}
Elektriciteit	0,100 Mton/PJ _{elektriciteit}
	NO _x -emissiefactor
ST-ketel	45 gram/GJ
VR-ketel	25 gram/GJ
HR-ketel	25 gram/GJ

¹¹ Exclusief BTW.

¹² Besparing ten opzichte van enkel glas.

Tabel A.5 *Gemiddelde rendementen voor ICV-installaties (NEFIT)*

	[%]
ST-ketel	80
VR-ketel	90
HR-ketel	100
- HR-101	101
- HR-104	104
- HR-107	107

Note: Voor de uitkomsten van de modelberekeningen is niet zo zeer het rendement in absolute zin van belang, maar het verschil in rendement tussen de onderscheiden typen ketels.

Tabel A.6 *Gemiddeld aardgasvraag per woningtype (m^3 per jaar) in de bestaande bouw (Damen Consultants, 1998)*

	Aardgasvraag [m^3 /jaar]
Flat/appartement	1475
Rijwoning/hoekwoning	2390
Vrijstaande woning	3000
Gemiddeld	2185

BIJLAGE B. METHODIEK MILIEUKOSTEN

B.1 Eindverbruikerskosten

Het doel van de methodiek van de eindverbruikerskosten is het zo goed mogelijk bepalen van de kosten van maatregelen voor eindverbruikers als bedrijven en gezinnen. De via deze methode berekende kosten vormen een indicatie voor de mate waarin eindverbruikers op basis van financiële overwegingen geneigd zullen zijn bepaalde maatregelen te treffen, dan wel hoeveel extra beleid (in de vorm van stimulering, regelgeving) er nodig is om de eindverbruikers te bewegen bepaalde maatregelen te treffen.

In de eindverbruikersbenadering wordt voor het bepalen van het effect van besparingsmaatregelen gerekend met de energieprijzen, zoals de eindverbruiker ze ervaart. Deze prijzen zijn dus inclusief transportmarges, eventuele heffingen en/of accijnzen, marges en BTW (voor zover deze niet kan worden verrekend). Er wordt in deze berekening geen rekening gehouden met het feit of betaalde heffingen worden teruggesluisd naar de doelgroep/actor door middel van een belastingverlaging.

Ten aanzien van de investeringen geldt, dat de jaarlijkse kosten worden bepaald met behulp van annuïteiten op basis van geschatte gemiddelde disconteringsvoeten, zoals die in de betreffende sectoren worden gebruikt. Vanwege toepassing op macroniveau is gekozen voor één percentage voor de gehele sector. Van bedrijf tot bedrijf kunnen de disconteringsvoeten echter verschillen. In deze studie is voor de te hanteren percentages aangesloten bij de Methodiek MilieuKosten. Dit betekent dat gerekend wordt met 8% voor huishoudens.

Bij de eindverbruikersbenadering kan de kosteneffectiviteit worden gepresenteerd voor en na inzet van extra beleid. Bij een presentatie na inzet van alle beleidsinstrumenten worden subsidies en fiscale regelingen in mindering gebracht op de investeringen, waarmee de kosteneffectiviteit voor de eindverbruiker aantrekkelijker wordt.

B.2 Nationale kosten

De nationale kostenbenadering heeft tot doel de kosten en baten te bepalen van de maatregelen voor Nederland als geheel. Deze benadering wordt vooral gehanteerd om opties onderling vergelijkbaar te maken, onafhankelijk van degene die hem uiteindelijk uit moet voeren. De kosten in deze benadering worden dus ook niet beïnvloed door beleidsinstrumenten als subsidies en/of heffingen.

De energieprijzen in deze benadering zijn min of meer nationale schaduw prijzen. Hierbij vallen kosten voor de ene sector weg tegen baten voor de andere sector. Zo zijn belastingen uitgaven van de eindverbruiker maar inkomsten van de overheid. Op nationaal niveau vallen deze tegen elkaar weg. Daarnaast liggen op korte termijn de investeringen in gas- en elektriciteitsnetten vast, zodat op nationaal niveau geen besparing plaats vindt op dit gedeelte van de energietransport- en distributiekosten. Dit betekent dat voor aardgas niet wordt gerekend met de tarieven voor een bepaalde sector, maar voor alle verbruikers met de D-schijf (exclusief REB, BSB, etc.). Voor elektriciteit wordt uitgegaan van de gemiddelde productiekosten, voor olieproducten de afrafprijs (exclusief BSB) en voor kolen de prijs exclusief BSB.

Ook voor het disconteringspercentage wordt uitgegaan van een maatschappelijke disconteringsvoet, die gebaseerd is op de reële rente. Hiervoor wordt een waarde van 5% gehanteerd, gebaseerd op de reële rente (CPB, 1997).

B.3 Voorbeeldberekening

Ter illustratie van de gehanteerde kostenmethodiek worden in deze paragraaf een fictief voorbeelden besproken ter illustratie van het verschil tussen de nationale kostenbenadering en de eindverbruikersbenadering.

Onderscheid nationale kosten/eindverbruikerskosten

Een eindverbruiker heeft een jaarlijks gasverbruik van 1000 GJ. Door een investering van f 12.500 in energiezuinige apparatuur daalt het verbruik met 10% tot 900 GJ. De investerings-subsidie vanuit de overheid voor deze maatregel bedraagt 20%. De kosteneffectiviteit wordt dan als volgt berekend.

Tabel B.1 *Aanvullende gegevens kostenberekening*

Gasprijs eindverbruiker	20	[f/GJ]
- ww. heffing	6	[f/GJ]
- ww. transport/distributie marge	4	[f/GJ]
Gasprijs bij nationale kosten	10	[f/GJ]
CO ₂ -emissiefactor aardgas	0,0561	[Ton/GJ]
Levensduur investering	15	[Jaar]
Disconteringsvoet nationaal	5	[%]
Disconteringsvoet eindverbruiker	15	[%]

Op basis van bovenstaande gegevens worden de kosteneffectiviteiten als volgt berekend:

Tabel B.2 *Kosteneffectiviteit volgens eindverbruikersbenadering*

Energiebesparing	$1000 - 900 =$	100	[GJ/jaar]
CO ₂ -reductie	$100 \times 0,0561 =$	5,6	[CO ₂ ton/jaar]
Waarde uitgespaarde energie	$100 \times 20 =$	2000	[f /jaar]
Investering		12.500	[f]
Annuïteit, excl. subsidie (15%, 15 jaar, f 12500)		2138	[f/jaar]
Annuïteit, incl. subsidie (15%, 15 jaar, f 10000)		1710	[f/jaar]
Kosteneffectiviteit, excl. subsidie:	$(2138-2000)/5,6 =$	25	[f/ton CO ₂]
Kosteneffectiviteit, incl. subsidie:	$(1710-2000)/5,6 =$	-52	[f/ton CO ₂]

Inclusief subsidie bedraagt de kosteneffectiviteit -52 f/ton (d.w.z. opbrengsten per ton), zonder subsidie bedragen de kosten 25 f/ton. Bij de nationale benadering wordt gerekend met een andere gasprijs, alsmede met andere disconteringsfactoren voor de investering. Dit levert onderstaand beeld op.

Tabel B.3 *Kosteneffectiviteit volgens nationale kostenbenadering*

Energiebesparing	$1000 - 900 =$	100	[GJ/jaar]
CO ₂ -reductie	$100 \times 0,0561 =$	5,6	[Ton CO ₂ /jaar]
Waarde uitgespaarde energie	$100 \times 10 =$	1000	[f/jaar]
Investering		12.500	[f]
Annuïteit (5%, 15 jaar, f 12.500)		1204	[f/jaar]
Kosteneffectiviteit:	$(1204-1000)/5,6 =$	36	[f/ton CO ₂]

De kosteneffectiviteit vanuit nationaal oogpunt bedraagt dus 36 f/ton. Voor de eindverbruiker hangen de kosten per ton af van het feit of subsidie al dan niet wordt meegenomen.

BIJLAGE C. BEREKENINGSWIJZE

De berekeningswijze, zie ook Paragraaf 2.4, van de verschillende effecten zal door middel van een aantal vereenvoudigde voorbeelden worden toegelicht. In deze voorbeelden worden de volgende grootheden gebruikt:

- η_x = systeemrendement x -ketel ($x = \text{ST, VR, HR}$)
- p_x = kans op aankoop van ketel x ($x = \text{ST, VR, HR}$)
- y_x = penetratie van de ketel x in een bepaald segment s van het woningbestand, n.b. $y_{\text{ST}} + y_{\text{VR}} + y_{\text{HR}} = 100\%$
- G_s = gemiddelde totale gasvraag per woning binnen woningsegment s
- E_y = emissiefactor (bijv. kg CO₂ per m³ aardgas)
- Q_s = aantal ICV-systemen in segment s

Huidige bijdrage (effect 1)

De huidige bijdrage R_1 wordt nu berekend volgens:

$$R_1 = Q_s \times E_y \times G_s \times \left(\frac{y_{\text{ST}} \eta_{\text{ST}} + y_{\text{VR}} \eta_{\text{VR}} + y_{\text{HR}} \eta_{\text{HR}}}{\left(\frac{y_{\text{ST}}}{y_{\text{ST}} + y_{\text{VR}}} \eta_{\text{ST}} \right) + \left(\frac{y_{\text{VR}}}{y_{\text{ST}} + y_{\text{VR}}} \eta_{\text{VR}} \right)} - 1 \right)$$

met $y_{\text{ST}} + y_{\text{VR}} + y_{\text{HR}} = 100\%$

Totaal resterende emissiereductie (effect 2)

De totale resterende emissiereductie R_2 wordt berekend volgens:

$$R_2 = Q_s \times E_y \times G_s \times \left(1 - \frac{y_{\text{ST}} \eta_{\text{ST}} + y_{\text{VR}} \eta_{\text{VR}} + y_{\text{HR}} \eta_{\text{HR}}}{y'_{\text{HR}} \eta_{\text{HR}}} \right)$$

waarbij $y'_{\text{HR}} = 100\%$ ¹³

Reductie ten opzichte van autonoom scenario (effect 3)

In het autonome scenario worden drie tijdvakken onderscheiden, de periode 1995 – 2000, 2000 – 2005 en 2005 – 2010. Aangenomen wordt dat het resterende aantal ST-ketels de komende 10 jaar zal worden vervangen, d.w.z. in de periode 1995 – 2005. Hiervan wordt 2/3 in de eerste periode vervangen en de resterende 1/3 in de periode 2000 – 2005. Aangenomen wordt dat de VR-ketel geldt als referentietechniek, ofwel, bij vervanging van de ketel kan gekozen worden tussen een HR- en een VR-ketel. De kans dat gekozen wordt voor een HR-ketel wordt gegeven door p_{HR} , de kans dat gekozen wordt voor een VR-ketel wordt gegeven door p_{VR} .

De totale vervangingsmarkt in de periode 1995 – 2000 wordt bepaald door (1) het verdwijnen van 2/3 van het aantal ST-ketels en (2) de vervanging van oude VR-ketels. Uitgaande van een levensduur van 15 jaar betekent dit dat bij benadering 1/3 van de VR-ketels vervangen wordt. Aangenomen wordt dat vervanging van een deel van de HR-ketel in deze periode verwaarloosbaar is, omdat dit type ketel pas na 1985 een significant marktaandeel op begon te bouwen.

¹³ In de modelberekeningen is rekening gehouden, dat een deel van de flats/appartementen niet voorzien kan worden van een HR-ketel. Voor dit woningsegment wordt in de noemer van de vergelijking gerekend met $y'_{\text{VR}} \eta_{\text{VR}} + y'_{\text{HR}} \eta_{\text{HR}}$ waarbij $y'_{\text{VR}} + y'_{\text{HR}} = 100\%$.

De totale vervangingsmarkt V_{2000} in de periode 1995 – 2000 wordt derhalve gegeven door:

$$V_{2000} = \frac{2}{3} y_{ST} + \frac{1}{3} y_{VR}$$

De penetratie van de ST-ketel, $y_{ST,2000}$, VR-ketel, $y_{VR,2000}$, en de HR-ketel, $y_{HR,2000}$ in 2000 wordt nu gegeven door:

$$y_{ST,2000} = \frac{1}{3} y_{ST,1995}$$

$$y_{VR,2000} = p_{VR} V_{2000} + (1 - \frac{1}{3}) y_{VR,1995}$$

en

$$y_{HR,2000} = p_{HR} V_{2000} + y_{HR,1995}$$

met $p_{VR} + p_{HR} = 1$

De mogelijke emissiereductie R_3 over de periode 1995 – 2000 ten opzichte van het autonome scenario wordt nu gegeven door:

$$R_{3,2000} = Q_s \times E_y \times G_s \times \left(1 - \frac{y_{ST,2000} \eta_{ST} + y_{VR,2000} \eta_{HR} + y_{HR,2000} \eta_{HR}}{y'_{HR} \eta_{HR}} \right)$$

waarbij $y'_{HR} = 100\%$

De berekening voor de mogelijke emissiereductie over de periode 2000 – 2005 en 2005 – 2010 zijn, met uitzondering van de het aandeel van te vervangen ketels, analoog aan de methodiek gevolgd voor de periode 1995 – 2000. In de periode 2000 – 2005 wordt het resterende deel van de nog aanwezig ST-ketels vervangen. Aangenomen wordt dat in de periode 2000 – 2005 wederom 1/3 van het aanwezige aantal VR-ketels wordt vervangen. Tevens wordt een begin gemaakt met het vervangen van oude HR-ketels (ketels geplaatst voor 1990). Aangenomen wordt dat een HR-ketel automatisch vervangen wordt door een HR-ketel. Het resterende deel van de vervangingsmarkt wordt wederom verdeeld via de al eerder beschreven kansverdeling p_{VR} en p_{HR} . Aangenomen wordt dat een HR-ketel altijd weer door een HR-ketel vervangen wordt.

Het blijkt niet altijd eenvoudig om een HR-ketel te plaatsen in alle typen woningen. Doordat de HR-ketel gebruik maakt van een gesloten afgassensysteem is in bepaalde typen flat/appartementen een ingrijpende aanpassing nodig aan het schoorsteenkanaal waarmee de afgassen worden afgevoerd. In de modelberekeningen is daarom aangenomen dat 75% van de flat/appartementen voorzien kan worden van een HR-ketel. Het resterende deel wordt voorzien van een VR-ketel.

AFKORTINGEN

B&O	Beheer en onderhoud
BSB	Brandstoffenbelasting
BV	Blokverwarming
CO ₂	Kooldioxide
EPA	Energie prestatie advies
EPK	Energie prestatie keur
HR-ketel	Hoog rendement ketel
ICV	Individuele centrale verwarming
Kton	Kiloton = 10 ⁶ kg
KWR	Kwalitatieve woningregistratie
LV	Lokale verwarming = gaskachels
MMK	Methodiek milieukosten
Mton	Megaton = 10 ⁹ kg
NO _x	Stikstofoxide
REB	Regulerende energiebelasting
Rc	Warmteweerstands coëfficiënt
ST-ketel	Standaard ketel, conventioneel rendement (<80% ow)
SV	Stadsverwarming
VR-ketel	Verbeterd rendement ketel

REFERENTIES

- Beer, J.G. de, M.T. van Wees, E. Worrel, K. Blok: *ICARUS-3. The Potential of Energy Efficiency Improvement in the Netherlands up to 2000 and 2015*. Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, nr 94013, 1994.
- Brouwer, J.G.H., J.H.J. Hulskotte: *Procesbeschrijving 'Gastoestellen in huishoudens'*. Aardgas Kleinverbruik. TNO, Werkgroep Emissies van Servicebedrijven en Produktgebruik (WESP), 1993.
- Convenant: *Duurzaam Bouwen*. 's Gravenhage, 17 december 1997.
- CPB: *Economie en Fysieke Omgeving. Beleidsopgaven en oplossingsrichting 1995-2000*. SDU, Den Haag, 1997.
- Damen Consultants: *KWR '94-'96 Analyse Energie en Water*. Rotterdam, 1998.
- ECN, RIVM: *Optiedocument voor Emissiereductie van Broeikasgassen*. Petten, oktober 1998.
- ECN: *Energie Verslag Nederland 1998*. ECN, Petten, 1999.
- EnergieNed: *Basisonderzoek energieverbruik kleinverbruikers*. BAK 1996. Arnhem, 1996.
- Gebr. Den Nijs, Alkmaar: Specialist in gevelisolatie. Telefonisch onderhoud d.d. 20/5/1999.
- Ministerie van Economische Zaken: *Energiebesparingsnota*. Den Haag, 1998.
- Ministerie van Economische Zaken: *Stimuleringsregeling Energiebesparing Energiebedrijf ISO HR Onderdeel Isolatiemaatregelen en HR verwarmingstoestellen*. Looptijd 01-01-1999 tot 01-01-2000. <http://Info.minez.nl/subs/01249.htm>, last update 17/5/1999.
- NEFIT: *Nefit EcomLine HR. Alle records gebroken*. Deventer.
- Novem: *Energie Prestatie Advies (EPA)*. <http://www.novem.nl/epa>, last update: ?.
- Novem: *Warmte uit Zonlicht. Programma Thermische Zonne-Energie 1997-2001*.
- NUON: http://www.nuon.nl/inter/Producten_en_Diensten/Producten_en_Diensten.html, last update February 2 1999.
- Stichting Bouwresearch: *Nationaal Pakket Duurzaam Bouwen*. 1999.
- VROM: *De kwaliteit van de Nederlandse woningvoorraad 1995. Resultaten van de Kwalitatieve Woningregistratie (KWR) 1994 - 1996*. Den Haag, 1997.
- VROM: *Kosten en Baten in het Milieubeleid, Definities en Berekeningsmethoden*. Publicatiereeks Milieustrategie, 1998-6, 1998.
- VROM: *Volkshuisvesting in Cijfers*. Den Haag, 1998.
- Weegink, R.J.: *Basisonderzoek Aardgasverbruik Kleinverbruikers*. BAK 1997. EnergieNed, ECO 98-245, Arnhem, 1998.
- Ybema, J.R., P. Kroon, T.J. de Lange, G.J. Ruijg: *De rol van duurzame energie in Nederland tot 2020. Concept*. ECN, to be published.