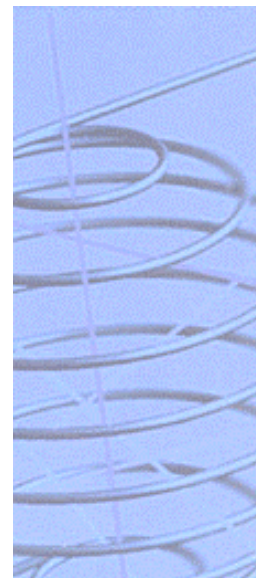


Stimulatiemodel ter evaluatie van combinaties van CO₂-emissie reductiemaatregelen

Universiteit Antwerpen – Faculteit TEW UFSIA-RUCA
Onderzoeksgroep STEM



Changement global et développement durable
Sous-programme 2 : appui scientifique à la politique belge

Global change en duurzame ontwikkeling
Deelprogramma 2: wetenschappelijke ondersteuning van het beleid in België

N° CG/DD/211

Développement durable | Duurzame ontwikkeling



FEDERALE DIENSTEN VOOR
WETENSCHAPPELIJKE, TECHNISCHE
EN CULTURELE AANGELEGENHEDEN
Wetenschapsstraat 8 ■ B-1000 BRUSSEL
Tel. 02 238 34 11 ■ Fax 02 230 59 12
URL : www.belspo.be

SERVICES FEDERAUX DES
AFFAIRES SCIENTIFIQUES,
TECHNIQUES ET CULTURELLES
rue de la Science 8 ■ B-1000 BRUXELLES
Tél. 02 238 34 11 ■ Fax 02 230 59 12
URL : www.belspo.be



D/2001/1191/62

Uitgeven in 2001 voor de

Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden

Publié en 2001 par les

Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles

Voor meer informatie / Pour d'autres renseignements :

Madame A. Fierens

DWTC/SSTC

Wetenschapstraat 8 rue de la science

Brussel 1000 Bruxelles

Tel. : + 32-2-238.36.60

Fax. : + 32-2-230.59.12

E-mail : fier @belspo.be

Internet : <http://www.belspo.be>

Noch de Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (DWTC), noch eenieder die handelt in de naam van de DWTC is verantwoordelijk voor het gebruik dat van de volgende informatie zou worden gemaakt.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën of enige andere manier zonder de aanduiding van de referentie.

Les services fédéraux des Affaires scientifiques, techniques et culturelles (SSTC) ainsi que toute personne agissant en leur nom ne peuvent être tenus pour responsables de l'éventuelle utilisation qui serait faite des informations qui suivent.

Cette publication ne peut ni être reproduite, même partiellement, ni stockée dans un système de récupération ni transmise sous aucune forme ou par aucun moyens électronique, mécanique, photocopies, enregistrement ou autres sans y avoir indiqué la référence.

INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE.....	1
1 INLEIDING.....	2
2 RAMING VAN HET BESPARINGSPOTENTIEEL IN DE RESIDENTIËLE SECTOR (VERWARMING).....	3
2.1 <i>Energiegebruik voor ruimteverwarming van een woning in het MIRA-model.....</i>	<i>3</i>
2.2 <i>Een nieuwe raming van de thermische efficiëntie van de Vlaamse woningstock</i>	<i>5</i>
3 DE KOST VAN BESPAARDE ENERGIE: TRADITIONELE 'AANBODSCURVEN' EN EEN ALTERNATIEVE BENADERING	10
3.1 <i>Traditionele kostencurven en hun nadelen</i>	<i>10</i>
3.2 <i>Een alternatieve niet-sequentiële benadering: 'Logistische Conservation Supply Curves'</i>	<i>11</i>
3.3 <i>Een toepassing op residentiële energiebesparende maatregelen</i>	<i>14</i>
4 SIMULATIES VAN HET TECHNISCH -ECONOMISCH BESPARINGSPOTENTIEEL IN DE RESIDENTIËLE SECTOR.....	15
4.1 <i>Het technisch besparingspotentieel met negatieve interactie tussen maatregelen.....</i>	<i>15</i>
4.2 <i>Het theoretisch economisch besparingspotentieel ("business as usual")</i>	<i>18</i>
4.3 <i>Sensitiviteitsanalyse met betrekking tot de modelparameters</i>	<i>20</i>
4.4 <i>Stimuleringsmaatregelen met betrekking tot de bestaande woningstock</i>	<i>21</i>
4.5 <i>Stimuleringsmaatregelen met betrekking tot de nieuwbouw.....</i>	<i>24</i>
5 CONCLUSIES.....	29
LIJST VAN TABELLEN	32
ANNEXE 1 : FIGUREN	34
BIBLIOGRAFIE.....	41

1 INLEIDING

Naar aanleiding van het akkoord over de vermindering van broeikasgassen overeengekomen tijdens de Wereld Klimaatconferentie in Kyoto, heeft de Europese Unie zich verbonden tot een verlaging van haar emissies (uitgedrukt in CO₂-equivalenten) met 8%. Voor België houdt dit een reductie van de emissies in met 7.5% ten opzichte van 1990. Het huidige emissieniveau van ongeveer 123 Mton CO₂ eq in 1998, wat 16% meer is dan het referentiejaar, toont echter aan dat nog een aanzienlijke inspanning dient geleverd te worden.

Deze emissiereductie-inspanning zal ongetwijfeld alle sectoren van de samenleving beïnvloeden, zoals blijkt uit de maatregelen voorgesteld in het kader van het Voorstel van Nationaal Klimaatplan. Dit plan, als onderdeel van het Federaal Plan Duurzame Ontwikkeling 2000-2003, voorziet maatregelen op het vlak van energie-, mobiliteits-, product- en fiscaliteitsbeleid. Het uitgangspunt is dat moet gekozen worden voor kostenefficiënte maatregelen, met als belangrijkste doelstellingen:

- het omschakelen naar milieuvriendelijker energiegrondstoffen;
- het verhogen van de energie-efficiëntie;
- het dalen van de energievraag.

De wetenschappelijke studie van vraagreductie en efficiëntieverhoging vindt zijn oorsprong in de aardoliecrisis van de zeventiger jaren, die ook in België de aanzet waren tot het opstarten van door de overheid gefinancierde onderzoeksprogramma's (cfr. het Nationaal R&D Programma Energie, opgezet door het toenmalige DPWB). Dit onderzoeksthema, dat als gevolg van de herstellende economie en de dalende energieprijzen in de tweede helft van de tachtiger jaren enigszins naar de achtergrond was verdwenen, is in het licht van de recente bekommernissen rond antropogene klimaatverandering weer actueel geworden. Het wordt traditioneel vanuit twee invalshoeken benaderd, met name de 'top-down' en de 'bottom-up' benadering. De eerste vertrekt van een geaggregeerd economisch model (gewoonlijk een algemeen of partieel evenwichtsmodel), waarin de energievraag op sectoraal niveau wordt gemodelleerd (zie bv. Proost en Van Regemorter, 2000 en Courcelle en Gusbin, 2001). De tweede is gebaseerd op een gedetailleerde technische beschrijving van energiegebruikende processen, en van de kosten van concrete energiebesparende maatregelen (zie bv. Jaccard et. al. 1996). Onderhavig onderzoeksproject situeert zich in deze tweede categorie. In de volgende paragrafen worden de essentiële kenmerken en beperkingen van deze benadering kort toegelicht.

Bottom-up modellen zijn, door hun gedetailleerde technische specificatie, in eerste instantie 'engineering' modellen: vertrekkend van de op een bepaald ogenblik in gebruik zijnde technologie, laten zij toe het besparingspotentieel te berekenen dat theoretisch zou kunnen gerealiseerd worden wanneer een alternatieve efficiëntere technologie zou aangewend worden. Wanneer dit technisch potentieel gecombineerd wordt met de kosten van de besparingsmaatregelen, in de context van een klassieke economische kosten-baten-analyse, spreekt men van het technisch-economisch besparingspotentieel. Dit potentieel wordt echter in de praktijk quasi nooit gerealiseerd, een verschijnsel dat met de termen 'energy paradox' en 'efficiency gap' wordt aangeduid. De schijnbare irrationaliteit van de economische agenten die met de 'energy paradox' wordt geassocieerd, wordt in de literatuur verklaard door het bestaan van allerlei barrières, die de implementatie van intrinsiek rendabele maatregelen in de weg staan. Deze barrières hebben onder meer betrekking op onzekerheid over toekomstige energieprijzen, onvolledige informatie en onzekerheid over de alternatieve technologieën, tegengestelde belangen van partijen ('split incentives'), en zo verder. Bovendien wordt een aanzienlijk deel van het technisch potentieel niet gerealiseerd als gevolg van het niet in rekening brengen van maatschappelijke kosten van energiegebruik (m.a.w. het bestaan van negatieve externaliteiten), die er voor zorgen dat de private kost van energiegebruik lager ligt dan de sociale kost. Eén en ander wordt geïllustreerd in Figuur 1 (zie bijlage). Behalve het identificeren van de precieze aard en relatieve belangrijkheid van de diverse belemmeringen, bestaat de uitdaging van de bottom-up modelbenadering er in de raming van het technisch-economisch potentieel te verbeteren. Een accurate inschatting van dit potentieel is immers een noodzakelijke voorwaarde om de omvang van het te overbruggen verschil met het marktpotentieel te kunnen ramen.

Deze vaststelling wordt overigens bevestigd in recent onderzoek van Metcalf en Hasset (1999), waarin precies de overschatting van het door de fabrikanten gerapporteerde technisch besparingspotentieel van energiebesparende maatregelen (in casu: dakisolatie) wordt aangehaald om het bestaan van de energy paradox in twijfel te trekken.

Op basis van het geschatte besparingspotentieel moet vervolgens het economisch-technisch potentieel bepaald worden. Dit wordt traditioneel gedaan door middel van zogenaamde 'aanbodscurven' van bespaarde energie ('Conservation Supply Curves'), waarvan de basis is gelegd door Meier (1982). Hoewel deze methode frequent wordt gebruikt, en zonder twijfel niet zonder verdienste is, blijven een aantal intrinsieke zwakheden ervan tot op heden onopgelost. De belangrijkste daarvan zijn het sequentiële karakter van de maatregelen (en de ermee samenhangende problematiek van interacties), en het gebruik van puntschattingen om de gemiddelde kosten van de bespaarde energie te berekenen (zie o.m. Stoff, 1995).

In onderhavig onderzoeksproject hebben we ons tot doel gesteld beide problemen nader te onderzoeken, in de context van het huishoudelijk energiegebruik voor klimaatregeling. Hoofdstuk 1 vangt aan met een analyse van het technisch besparingspotentieel, op basis van een verbeterde raming van de thermische kwaliteit van de Vlaamse woningstock. In het tweede hoofdstuk wordt dit besparingspotentieel gekoppeld aan de kosten van de belangrijkste energiebesparende maatregelen. Deze koppeling wordt gerealiseerd door middel van een nieuwe benadering van 'Conservation Supply Curves'. Het derde hoofdstuk bespreekt de resultaten van beleidssimulaties, waarin het effect van beleidsinterventies op het energiegebruik (en de ermee samenhangende CO₂ - emissie) van de gezinnen wordt gesimuleerd over de periode 2000-2010. In hoofdstuk 4 tenslotte, worden de belangrijkste resultaten van de studie samengevat, en worden aanbevelingen geformuleerd voor verder onderzoek.

2 RAMING VAN HET BESPARINGSPOTENTIEEL IN DE RESIDENTIËLE SECTOR (VERWARMING)

2.1 ENERGIEGEBRUIK VOOR RUIMTEVERWARMING VAN EEN WONING IN HET MIRA-MODEL

Het huishoudelijk energiegebruik wordt sinds geruime tijd gemodelleerd in het kader van de periodieke Milieu- en Natuurrapporten Vlaanderen (zie bv. Willems et. al., 2000). In deze modellen wordt uitgegaan van de berekening van het energiegebruik van een individuele woning aan de hand van een stationaire warmtebalans (zie WTCB, 1984; Hens, 1996):

$$F_{\text{cond}} + F_{\text{vent}} + f(F_{\text{zon}} + F_{\text{intern}}) + F_{\text{heat}} = 0 \quad (\text{in Watt})^1 \quad [1]$$

waarbij:

Φ_{cond}	geleidingsverliezen door de schil van de woning
Φ_{vent}	ventilatieverliezen van de betreffende woning
Φ_{zon}	zonnepwinsten in de woning
Φ_{intern}	vrije winsten in de woning door verlichting, apparatuur en mensen.
Φ_{heat}	nettoverwarmingsstroom, geleverd door de verwarmingselementen in de woning
f	reductiefactor die er rekening mee houdt dat maar een deel van de zonne- en vrije winsten in de zone nuttig zijn voor verwarming

In deze vergelijking is Φ_{heat} de onbekende variabele waarnaar de vergelijking moet opgelost worden. Deze Φ_{heat} is de vraag naar nuttige energie van een woning. Deling van deze vraag naar nuttige energie door het rendement van de stookinstallatie levert het uiteindelijke energiegebruik voor ruimteverwarming van de individuele woning op.

¹ We verwaarlozen de verliezen via de schil door langegolfstraling naar het hemelgewelf.

2.1.1 Geleidingsverliezen

De geleidingsverliezen Φ_{cond} kunnen berekend worden aan de hand van volgende formule:

$$F_{\text{cond}} = U_m \cdot A_T \cdot (Q_i - Q_e) \quad [2]$$

waarbij:

- U_m : gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt van een gebouw (in Watt/m².°K)
- A_T : verliesoppervlakte van een gebouw² (in m²)
- Θ_i : binnentemperatuur (in °K)
- Θ_e : buitentemperatuur (in °K)

2.1.2 Ventilatieverliezen

Ventilatieverliezen worden bepaald als volgt:

$$F_{\text{vent}} = 0.34 \cdot n \cdot V_L \cdot (Q_i - Q_e) \quad [3]$$

waarbij:

- 0.34: soortelijke warmte van lucht (in Wh/K.m³)
- n : natuurlijke luchtverversingsgraad (in h⁻¹)
- V_L : volume lucht dat bevat is in het beschermd volume³ van het gebouw (in m³)
- Θ_i : binnentemperatuur (in °K)
- Θ_e : buitentemperatuur (in °K)

2.1.3 Zonnewinsten en interne warmtewinsten

Ten gevolge van zoninval zal de temperatuur in een onbewoond en onverwarmd gebouw meestal hoger liggen dan de gemiddelde buitentemperatuur. Tengevolge van allerlei interne warmtebronnen (metabolisme van de bewoners, koken, wassen, verlichting, T.V., e.a.) zal de verwarmingsinstallatie niet de volledige warmteverliezen (geleidingsverliezen en ventilatieverliezen) moeten compenseren. Beide elementen zijn echter woningspecifiek. Zij worden in wat volgt verrekend in het aantal graduren, die meteen ook de factor $(Q_i - Q_e)$ capteert. Dit leidt tot de volgende vereenvoudigde formule, waarin het aantal graduren werd bepaald op basis van het lange-termijngemiddelde in België (Hens, 1996):

$$E = \text{Ebehoefte}/\zeta = [U_m \cdot A_T + 0.34 \cdot n \cdot V_L] \cdot Q / \zeta \quad [4]$$

waarbij:

- E: Energiegebruik van de woning (in kWh/jaar)
- Ebehoefte: Energiebehoefte van de woning zoals bepaald door de warmtebalans (in kWh/jaar)

² De verliesoppervlakte van de woning wordt gedefinieerd als de som van de oppervlakte van alle wanden tussen het beschermd volume en de buitenomgeving, de grond of naburige ruimten die niet tot het beschermd volume behoren.

³ Beschermd volume= som van de volumes van alle kamers, ruimten, gangen enz. ... die men wenst te beschermen tegen warmteverlies.

waarbij

T = het woningtype (ééngezinswoning open bebouwing = 0; anders = 1)
H = gemiddelde hoogte van de kamers (volume / bewoonbare oppervlakte)
D = dakisolatie (geen = 0; anders = 1)
M = muurisolatie (geen = 0; anders = 1)
V = vloerisolatie (geen = 0; anders = 1)
G = dubbele beglazing (enkel glas = 0; anders = 1)

Hoewel de SENVIVV-databank gedetailleerde informatie bevat over de k-waarde van individuele componenten van de schil, en over de compactheidsgraad van de woningen, werd voor bovenstaande specificatie gekozen omdat ze toelaat de K-waarde te schatten op basis van gemakkelijk observeerbare kenmerken, waarover gegevens voorhanden zijn in de volkstelling en in andere gegevensbanken.

De schattingsresultaten van vergelijking [6] vindt men in Tabel 1.

Tabel 1: Schattingsresultaten van de K-waardenvergelijking (OLS)

	Const	Type	Hoogte	Dakiso	Muuriso	Vloeriso	Dubbel glas
Coëfficiënt (t-waarde)	28.35 (0.945)	-10.55 (2.27)	36.29 (3.85)	-13.73 (2.02)	-25.74 (3.81)	-9.13 (2.05)	-13.59 (2.04)
R ² = 0.64							

Om deze geschatte relatie kunnen gebruiken om een gemiddelde K-waarde voor de hele (Vlaamse) woningstock te kunnen ramen, werd vervolgens gebruik gemaakt van een trendextrapolatie voor de gemiddelde hoogte, en van beschikbare isolatiekenmerken per woningtype en bouwjaar op basis van de VIREG-enquête (Mens en Ruimte, 1998).

De trendextrapolatie moet toelaten om voor (het gemiddelde van) de leeftijdscategorieën van de woningen in de NIS-volkstelling de gemiddelde hoogte van de woningen te bepalen. Te dien einde werd een niet-lineaire trend geschat op basis van de Statistiek van de Bouwnijverheid (NIS), waarin het totale volume en de totale bewoonbare oppervlakte van de begonnen woningen wordt gerapporteerd. Figuur 2 (zie bijlage) toont de resultaten van de extrapolatie met twee negatief-exponentiële alternatieven. De voorkeur werd gegeven aan de specificatie met ondergrens op 2.5 m.

Op basis van deze trendschatting werden volgende gemiddelde muurhoogten berekend voor elke bouwjaarcategorie:

Bouwjaar	< 1970	1970-1979	1980-1989	> 1990
Hoogte	3.75	3.103	2.87	2.71

De isolatiekenmerken per woningtype en bouwjaar werden overgenomen uit de VIREG-databank. Deze databank bevat gegevens over een representatief staal van Vlaamse gezinnen, waaronder gegevens over de graad van isolatie van hun woning. Hoewel de steekproef vermoedelijk representatief is, stelt zich toch een probleem ten aanzien van de isolatiekwaliteit per woningtype en bouwjaarcategorie. Voor sommige cellen in de type/bouwjaar-matrix is het aantal observaties immers te beperkt om betrouwbare schattingen op te leveren voor de isolatiekwaliteit. In deze cellen werden plausibele waarden ingevuld op basis van vergelijking met andere woningtypes, en onder de veronderstelling dat de gemiddelde isolatiekwaliteit van recentere woningen steeds beter is dan van oudere woningen van hetzelfde type. Het resultaat van deze oefening vindt men in Tabel 2.

Tabel 2: Gemiddelde penetratiegraad van de belangrijkste isolatiekenmerken naar woningtype en bouwjaar categorie

Type		Bouwjaar			
		< 1970	1970-1979	1980-1989	> 1990
EWOB	Dakiso	0.482	0.719	0.792	0.861
	Vloeriso	0.115	0.254	0.482	0.686
	Muuriso	0.299	0.607	0.759	0.889
	Dubb glas	0.657	0.879	0.983	0.973
EWHOB	Dakiso	0.476	0.565	0.867	0.87
	Vloeriso	0.106	0.208	0.27	0.333
	Muuriso	0.305	0.6	0.8	0.889
	Dubb glas	0.63	0.8	1	1
EWGB	Dakiso	0.506	0.526	0.692	0.75
	Vloeriso	0.105	0.167	0.385	0.5
	Muuriso	0.247	0.444	0.5	0.5
	Dubb glas	0.551	0.75	0.714	1
APP	Dakiso	0.883	0.9	0.975	0.98
	Vloeriso	0.8	0.867	0.875	0.88
	Muuriso	0.143	0.889	0.833	0.9
	Dubb glas	0.5	0.462	0.929	1

(bron: eigen berekeningen op basis van VIREG-gegevens)

De berekende isolatiekwaliteit en muurhoogte (in functie van de bouwjaarcategorie) worden vervolgens gebruikt om, per woningtype, de gemiddelde K-waarde van de woningen te schatten, gebruik makend van vergelijking [6]. De resultaten vindt men in Tabel 3 en Figuur 3 (zie bijlage).

Tabel 3: Gemiddelde K-waardenverdeling naar woningtype en bouwjaar

Type	<= 1970	1971-1980	1981-1990	> 1990
EWOB	140.1	101.2	84.3	72.5
EWHOB	130.0	94.4	73.4	64.7
EWGB	132.1	100.0	86.4	74.8
APP	124.0	81.0	66.5	57.9

2.2.2 Het gemiddeld energiegebruik voor verwarming naar woningtype

Om het gemiddeld energiegebruik per woning te kunnen berekenen moeten nog twee elementen van de formule bepaald worden: de gemiddelde compactheidsgraad, die zoals hoger aangegeven wordt gedefinieerd als het beschermd volume gedeeld door het verliesoppervlak, en de gemiddelde efficiëntie van de stookinstallatie.

De gemiddelde compactheidsgraad

Het beschermd volume en het verliesoppervlak hangen uiteraard af van het type en de grootte van de woning. Om een realistische schatting van deze variabelen te maken werd gebruik gemaakt van een berekend gemiddelde op basis van de bewoonbare oppervlakte (verdeeld in 5 categorieën zoals in de NIS-volkstelling). Dit oppervlak werd, afhankelijk van het woningtype, verdeeld over 1 of 2 verdiepingen, en over verschillende lengten en breedten. Elke combinatie van lengte, breedte en aantal verdiepingen geeft aanleiding tot een verschillend verliesoppervlak. De gemiddelde compactheidsgraad naar type, oppervlaktecategorie en bouwjaarcategorie werd vervolgens berekend door het beschermd volume (dat onafhankelijk is van de gekozen combinatie zolang de woning balkvormig wordt verondersteld) te delen door het gemiddeld verliesoppervlak.

De gemiddelde efficiëntie van de stookinstallatie

Deze werd berekend op basis van de gegevens over het type stookinstallatie in de bewoonde woningen (NIS Volkstelling), en de geschatte type-specifieke efficiëntie van elke installatie.

Na invulling van de betrokken variabelen in formule [4], bekomt men de jaarlijkse energiebehoefte van elk woningtype (per bouwjaarcategorie, woningtype en oppervlaktecategorie), uitgedrukt in KWh/jaar. De resultaten vindt men in Tabel 4.

Tabel 4: De jaarlijkse gemiddelde energiebehoefte per woning (in KWh-jaar)

	Opp.	<= 1970	1971-1980	1981-1990	> 1990
EWOB	36	17911.53	11834.65	9353.088	7574.839
	66	28721.27	19335.66	15388.18	12449.23
	102	40224.27	26312.21	20699.01	16697.93
	138	51708.76	33996.76	26474.3	21292.49
	180	65366.83	43028.87	33546.15	27151.79
EWHOB	36	14284.36	9587.282	7111.81	5884.294
	66	23669.77	15669.02	11911.71	9896.506
	102	31437.59	20430.76	15173.41	12406.95
	138	40519.17	26506.85	19628.02	16009.09
	180	51028.27	33548.28	24742.05	20274.47
EWGB	36	12117.11	8281.397	6844.986	5643.585
	66	20115.67	13888.2	11489.21	9442.946
	102	26124.93	17644.92	14434.53	11782.5
	138	33257.31	22609.92	18415.18	15009.94
	180	41826.93	28551.12	23111.82	18818.34
APP	36	9008.725	5159.175	3913.485	3113.743
	66	14619.86	8433.898	6428.183	5124.069
	102	21214.54	12312.19	9414.63	7492.55
	138	27659.62	16140.52	12291.75	9834.317
	180	35480.68	20593.12	15704.05	12682.5

Het (theoretisch) energiegebruik voor de hele (Vlaamse) woningstock wordt natuurlijk gevonden door het specifieke gebruik per type te vermenigvuldigen met het aantal woningen van dit type, en vervolgens te sommeren over alle types. Dit levert een raming van het Vlaamse energiegebruik voor woningverwarming op van ongeveer $4.7 \cdot 10^{10}$ KWh/jaar of 169.8 PJoule/jaar in 1991.

2.2.3 Het theoretisch besparingspotentieel naar woningtype

Het theoretisch besparingspotentieel van een energiebesparende maatregel wordt gedefinieerd als het 'ceteris paribus' effect van het invoeren van de maatregel op de hele (resterende) woningstock. Dit betekent derhalve dat abstractie wordt gemaakt van eventuele interactie met andere maatregelen, en van de kostprijs om de maatregel in te voeren. De resultaten worden per maatregel samengevat in tabellen 5 tot en met 8. Vloerisolatie wordt niet in beschouwing genomen, aangezien het als retrofitmaatregel vermoedelijk enkel toegepast wordt bij een volledige renovatie.

Tabel 5: Het theoretisch besparingspotentieel van dakisolatie per woningtype, ten opzichte van het basisjaar 1990 (in %)

Type	<= 1970	1971-1980	1981-1990	> 1990	Totaal
EWOB	-0.65%	-0.58%	-0.30%	-0.14%	-1.67%
EWHOB	-0.33%	-0.43%	-0.05%	-0.03%	-0.84%
EWGB	-0.68%	-0.42%	-0.08%	-0.03%	-1.21%
APP	-0.02%	-0.04%	-0.01%	-0.00%	-0.07%
Totaal	-1.68%	-1.47%	-0.44%	-0.20%	-3.79%

Het grootste besparingspotentieel wordt, om voor de hand liggende redenen, aangetroffen bij de oudere woningen. Wanneer in alle nog niet geïsoleerde woningen dakisolatie wordt aangebracht, kan theoretisch 3.8% energie bespaard worden (6.45 PJoule/jaar).

Tabel 6: Het theoretisch besparingspotentieel van muurisolatie per woningtype, ten opzichte van het basisjaar 1990 (in %)

Type	<= 1970	1971-1980	1981-1990	> 1990	Totaal
EWOB	-1.64%	-1.51%	-0.66%	-0.21%	-4.02%
EWHOB	-0.81%	-0.74%	-0.15%	-0.04%	-1.74%
EWGB	-1.94%	-0.92%	-0.25%	-0.11%	-3.22%
APP	-0.27%	-0.10%	-0.12%	-0.03%	-0.52%
Totaal	-4.66%	-3.27%	-1.18%	-0.39%	-9.50%

Het totale theoretische besparingspotentieel van muurisolatie (9.5% of 18 PJoule/jaar) situeert zich hoofdzakelijk in oudere eengezinswoningen, open en gesloten bebouwing⁴.

Tabel 7: Het theoretisch besparingspotentieel van glisolatie per woningtype, ten opzichte van het basisjaar 1990 (in %)

Type	<= 1970	1971-1980	1981-1990	> 1990	Totaal
EWOB	-0.42%	-0.25%	-0.02%	-0.03%	-0.72%
EWHOB	-0.23%	-0.20%	0%	0%	-0.43%
EWGB	-0.61%	-0.22%	-0.08%	0%	-0.91%
APP	-0.27%	-0.10%	-0.03%	0%	-0.40%
Totaal	-1.53%	-0.77%	-0.13%	-0.03%	-2.46%

⁴ De eengezinswoningen half-open bebouwing vertonen een lager potentieel omdat ze van een gelijkaardig initieel isolatieniveau vertrekken, en omdat er minder woningen van dit type zijn.

Het theoretische besparingspotentieel van dubbele beglazing (2.46% of 4.7 PJoule/jaar) is eerder gering, omdat het verliesoppervlak van ramen een relatief klein deel is van het totale verliesoppervlak, en omdat het overgrote deel van de 'jonge' woningen (bouwjaar vanaf 1980) al dubbele beglazing hebben.

Tabel 8: Het theoretisch besparingspotentieel van efficiëntere stookinstallaties per woningtype, ten opzichte van het basisjaar 1990 (in %)

Type	<= 1970	1971-1980	1981-1990	> 1990	Totaal
EWOB	-3.79%	-4.66%	-2.55%	-1.29%	-12.29%
EWHOB	-1.69%	-2.01%	-0.61%	-0.22%	-4.53%
EWGB	-3.41%	-1.71%	-0.44%	-0.14%	-5.70%
APP	-0.41%	-0.84%	-0.47%	-0.12%	-1.84%
Totaal	-9.30%	-9.22%	-4.07%	-1.77%	-24.36%

[Noot: bij de berekening werd uitgegaan van een rendement van 90% van de nieuwe installatie]

Het theoretische besparingspotentieel van de vervanging van oude stookinstallaties door efficiënte nieuwe installaties is zeer aanzienlijk (24.36% of 46.3 PJoule/jaar).

Uit het voorgaande is gebleken dat er een zeer aanzienlijk theoretisch besparingspotentieel bestaat. Wanneer abstractie wordt gemaakt van de kosten van de besparingsmaatregelen, en van het negatieve effect van interacties tussen maatregelen, zou in theorie maximaal 40% energie kunnen bespaard worden voor huishoudelijke verwarming. Het is duidelijk dat dit potentieel onmogelijk werkelijk kan gerealiseerd worden: het technisch potentieel zal lager zijn als gevolg van negatieve interacties (het besparingspotentieel van efficiëntere ketels neemt af naarmate de isolatiegraad toeneemt), en het technisch-economisch potentieel zal op zijn beurt slechts een fractie zijn van het technisch haalbare als gevolg van de hoge eenheidskost van bespaarde energie (ten opzichte van de huidige marktprijs van fossiele brandstoffen). In de volgende paragraaf wordt op beide problemen verder ingegaan.

3 DE KOST VAN BESPAARDE ENERGIE: TRADITIONELE 'AANBODSCURVEN' EN EEN ALTERNATIEVE BENADERING

3.1 TRADITIONELE KOSTENCURVEN EN HUN NADELEN

'Klassieke' aanbodscurven van bespaarde energie (verder CSC's genoemd) worden geconstrueerd op basis van een set van besparingsmaatregelen, waarbij elke maatregel wordt gekarakteriseerd door een totaal (jaarlijkse) besparingspotentieel, tegen een geannualiseerde kost. Deling van deze jaarlijkse kost door het besparingspotentieel resulteert in een gemiddelde eenheidskost van bespaarde energie, kortweg CCE ('Cost of Conserved Energy'). De CSC is niets anders dan de sequentiële ordening van de maatregelen, van laagste tot hoogste eenheidskost, met de corresponderende cumulatieve hoeveelheid bespaarde energie. Het economisch-technisch besparingspotentieel wordt bepaald door de marktprijs, op het snijpunt met de CSC.

De belangrijkste nadelen volgen onmiddellijk uit de definitie:

- Het gebruik van een gemiddelde eenheidskost voor het gehele potentieel van een maatregel impliceert dat een maatregel dezelfde eenheidskost heeft over zijn hele toepassingsgebied. Het lijkt echter waarschijnlijker dat deze kost zal afhangen van de lokale omstandigheden waar de maatregel

wordt toegepast. Dit suggereert het gebruik van een verdeling van eenheidskosten, in plaats van één individuele gemiddelde kost (zie Verdonck & Verbruggen, 1998).

- De sequentiële benadering laat onvoldoende toe rekening te houden met interactie-effecten tussen maatregelen. Het bestaan van dergelijke interacties, die in de meeste gevallen negatief zullen zijn, kan bezwaarlijk ontkend worden.
- Traditionele CSC's zijn trapfuncties, door de aard van hun constructie. In werkelijkheid zullen (of kunnen) maatregelen simultaan geïntroduceerd worden, en zal een deel van de besparing kunnen gerealiseerd worden tegen de gangbare energieprijis.

In de volgende paragraaf wordt een alternatieve benadering voorgesteld, die een gedeeltelijke oplossing van deze problemen mogelijk maakt.

3.2 EEN ALTERNATIEVE NIET-SEQUENTIËLE BENADERING: 'LOGISTISCHE CONSERVATION SUPPLY CURVES'

Het uitgangspunt bij de constructie van logistische aanbodscurven van bespaarde energie (LCSC's) is dat de kost van een eenheid bespaarde energie een (pseudo-) normale verdeling volgt over het potentiële bereik. De hoeveelheid van economisch rendabele besparing is een stijgende functie van de eenheidskost. Uit de veronderstelling van normaliteit volgt dan meteen dat deze stijgende functie de cumulatieve normaalverdeling is. Hoewel dit een welbekende functie is, is ze niet erg geschikt voor het doel. Gelukkig kan ze gemakkelijk benaderd worden door de logistische functie, met een geschikte keuze van de parameters. Zoals verder uitgelegd wordt, kunnen deze parameters relatief gemakkelijk, en zonder al te veel additionele gegevens, geschat worden.

Uitgaande van deze functionele relatie tussen besparingskost en bespaarde hoeveelheid, kan deze laatste, voor een willekeurige maatregel A, geschreven worden als:

$$x_A = \max_A \frac{e^{(a_0 + a_1 P_E)}}{1 + e^{(a_0 + a_1 P_E)}} = \max_A f_A(P_E) \quad [7]$$

waarbij

- x_A = de hoeveelheid bespaarde energie door introductie van maatregel A
- \max_A = het totale besparingspotentieel van maatregel A
- P_E = de kost per eenheid bespaarde energie met maatregel A.

Vergelijking [7] kan inderdaad geïnterpreteerd worden als een continue CSC: de economisch rendabele hoeveelheid bespaarde energie van maatregel A is een stijgende functie van de energieprijis. Bij zeer lage energieprijzen is deze hoeveelheid nagenoeg zero, terwijl het maximum besparingspotentieel wordt bereikt bij hoge energieprijzen. Het logistisch gedeelte van de formule heeft bovendien een intuïtief aantrekkelijke interpretatie: het kan beschouwd worden als de fractie van het totale besparingspotentieel dat kan bespaard worden tegen een welbepaalde prijs.

De liggings- en hellingsparameters in vergelijking [7] weerspiegelen de verdeling van de eenheidskost van besparing: maatregelen met een hoge gemiddelde kost hebben een hoge waarde voor α_0 , maatregelen met een sterk gespreide eenheidskost hebben een lage waarde voor α_1 . In praktische toepassingen zullen deze parameters moeten geschat worden. Dit is niet onoverkomelijk, op voorwaarde dat men beschikt over een raming van de minimale en maximale kost waartegen een maatregel kan geïntroduceerd worden. Deze minimum- en maximumwaarden vertegenwoordigen twee punten op de logistische functie, wat volstaat om de twee onbekende parameters te schatten ⁵.

⁵ Men bekomt een stelsel van twee niet-lineaire vergelijkingen in de twee onbekende parameters. Er blijft echter nog één moeilijkheid: hoewel de bespaarde hoeveelheid energie nul zou moeten zijn bij een eenheidskost van nul, wordt de logistische functie

De hier beschreven methode kan gemakkelijk uitgebreid worden tot meer dan één besparingsmaatregel, waarbij elke maatregel een verschillende verdeling kan volgen. De totale LCSC, abstractie makend van interactie-effecten, wordt dan gedefinieerd als de som van de individuele hoeveelheden bij elk prijsniveau. Ter illustratie geeft Figuur 4 (zie bijlage) een LCSC voor twee besparingsmaatregelen. Maatregel A wordt gekenmerkt door een lagere gemiddelde besparingskost en een hoger totaal potentieel. De figuur toont eveneens de traditionele trapfunctie.

Het voordeel van LCSC's wordt treffend geïllustreerd door de figuur. Ten eerste resulteert het feit dat wordt verondersteld dat de eenheidskosten een verdeling vormen in plaats van geconcentreerd te zijn op het gemiddelde, in een zacht stijgende curve. Dit impliceert, in dit voorbeeld, dat maatregel A al gedeeltelijk kan geïntroduceerd worden bij energieprijzen die aanzienlijk onder de gemiddelde eenheidskost van de maatregel liggen. Tegelijkertijd is het bereikbaar besparingspotentieel bij een energieprijzen gelijk aan de gemiddelde besparingskost beduidend kleiner dan de hoeveelheid die door de trapfunctie wordt geïmpliceerd (het volledige potentieel kan maar gerealiseerd worden wanneer de energieprijzen gelijk wordt aan de maximale besparingskost). Tenslotte, kan voor een interval van energieprijzen tussen de gemiddelde kost van A en B, meer energie bespaard worden dan het maximum van A.

Tot dusver werd abstractie gemaakt van interactie-effecten. Zoals reeds vermeld, zijn dergelijke effecten vermoedelijk eerder regel dan uitzondering. Zij kunnen in principe zowel positief als negatief zijn, maar het is wellicht redelijk te veronderstellen dat negatieve interacties zullen domineren. In wat volgt wordt enkel deze mogelijkheid weerhouden. Er wordt verondersteld dat het interactie-effect tussen maatregelen A en B de volgende kenmerken heeft:

- De introductie van maatregel B vermindert het besparingspotentieel van maatregel A bin elk prijsniveau, zonder de prijsgevoeligheid zelf te beïnvloeden (die de verdeling van de besparingskosten weerspiegelt)
- Het interactie-effect is lineair
- De volledige implementatie van maatregel B ($x_B = \max_B$) reduceert het besparingspotentieel van maatregel A tot een minimum niveau \min_A .

Onder deze veronderstellingen kan het model herschreven worden als:

$$x_A = \text{pot}_A(x_B) f_A(P_E) \quad [8]$$

$$x_B = \text{pot}_B(x_A) f_B(P_E) \quad [9]$$

met

$$\text{pot}_A(x_B) = \max_A - \left(\frac{\max_A - \min_A}{\max_B} \right) x_B = \max_A - r_A x_B \quad [10]$$

$$\text{pot}_B(x_A) = \max_B - \left(\frac{\max_B - \min_B}{\max_A} \right) x_A = \max_B - r_B x_A \quad [11]$$

De hoeveelheid bespaarde energie door maatregel A kan, na enkele bewerkingen, geschreven worden als een functie van de energieprijzen (dit is de gereduceerde vorm van het stelsel [8] en [9], na substitutie van [10] en [11]):

natuurlijk nooit letterlijk gelijk aan nul bij eindige waarden van de onafhankelijke variabele. Een eenvoudige oplossing bestaat er in te veronderstellen dat bij de minimum kost een zeer kleine fractie kan bespaard worden (bv. 0.1% of minder), en analoog bij de maximumkost. Op die manier wordt het probleem vermeden om de asymptoot van de functie te bereiken.

$$x_A = \frac{[\max_A - r_A \max_B f_B(P_E)] f_A(P_E)}{1 - r_A r_B f_A(P_E) f_B(P_E)} \quad [12]$$

Een gelijkaardige uitdrukking geldt voor x_B . Deze uitdrukkingen vereenvoudigen tot het model zonder interactie wanneer ρ_A en ρ_B gelijk zijn aan nul. De grootte (en het teken) van ρ weerspiegelt de omvang (en de richting) van het interactie-effect:

- Wanneer de implementatie van maatregel B geen impact heeft op het besparingspotentieel van A (dus wanneer $\min_A = \max_A$), dan geldt $\rho = 0$
- Wanneer B een maximale impact heeft op A is $\min_A = 0$, wat dus betekent dat maatregel B het besparingspotentieel van A volledig erodeert.

De manier waarop de interactie-effecten werden geïntroduceerd in vergelijkingen [10] en [11] heeft een belangrijke implicatie. Aangezien het interactie-effect zo wordt gemodelleerd dat het het besparingspotentieel van de overige maatregelen aantast, betekent dit dat de introductie van een tweede maatregel een impact heeft op het gehele potentieel van de eerste maatregel, niet enkel op het overblijvende potentieel in de hogere prijsrange⁶. Anders gezegd, er wordt verondersteld dat de tweede maatregel op zijn minst gedeeltelijk wordt toegepast op locaties waar de eerste reeds was toegepast, waardoor het besparingseffect van beide maatregelen afneemt in die locatie. Deze eigenschap van het model is erg aantrekkelijk, aangezien het toelaat het effect te meten van de simultane toepassing van verscheidene maatregelen. Uit deze discussie volgt dat het belang van het interactie-effect wordt bepaald door twee factoren: de mate van overlapping van maatregelen en het 'fysieke' interactie-effect van twee maatregelen die op dezelfde locatie worden ingevoerd. Eén en ander wordt geïllustreerd in Figuur 5 (zie bijlage).

We veralgemenen het model nu tot een willekeurig aantal besparingsmaatregelen, met additieve interactie-effecten. Deze veralgemening vergt een kleine aanpassing van de formulering van het besparingspotentieel, als volgt:

$$\text{pot}_i(x_j) = \max_i - \sum_j \left(\frac{L_{ij}}{\max_j} \right) x_j = \max_i - \sum_j r_{ij} x_j \quad [13]$$

waarbij L_{ij} het maximum verlies aan besparingspotentieel van maatregel i voorstelt, wanneer maatregel j volledig wordt ingevoerd. Vergelijking [13] moet vanzelfsprekend voldoen aan:

$$\sum_j r_{ij} x_j \leq \max_i \quad [14]$$

zodat het besparingspotentieel van elke maatregel steeds niet-negatief is. Met deze herformulering kan een model met n besparingsmaatregelen in matrixvorm geschreven worden als:

$$\mathbf{x} = \mathbf{F} (\mathbf{max} - \mathbf{P} \cdot \mathbf{x}) \quad [15]$$

⁶ De labels 'eerste' en 'tweede' hebben hier niet dezelfde interpretatie als in het traditionele CSC model, waar maatregelen werkelijk sequentieel worden ingevoerd: in het huidige model is de 'eerste' maatregel eenvoudigweg degene met een lagere eenheidskost in de linker staart van de verdeling, waardoor deze maatregel (gedeeltelijk) voor de andere ingevoerd wordt bij lage energieprijzen.

waarbij

\mathbf{x} = de (n x 1) vector van conserveerbare energie

\mathbf{F} = een (n x n) diagonaalmatrix met de logistische functies f_i (PE)

\mathbf{P} = een (n x n) matrix met de parameters ρ_{ij} (de hoofddiagonaal van deze matrix moet per definitie nul zijn)

\mathbf{max} = de (n x 1) vector met maximale besparingspotentiëlen

De vector van conserveerbare energie, als een functie van de energieprijzen PE, wordt gevonden door het lineaire model [15] op te lossen:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} + \mathbf{F.P})^{-1} . \mathbf{F} . \mathbf{max} \quad [16]$$

De (totale) LCSC tenslotte is de som van de individuele conserveerbare hoeveelheden (de elementen van \mathbf{x}).

3.3 EEN TOEPASSING OP RESIDENTIËLE ENERGIEBESPARENDE MAATREGELEN

We illustreren de toepassing van het LCSC model voor de vier hoger besproken retrofit maatregelen (drie isolatiemaatregelen en het vervangen van ketels door efficiëntere types), voor een ééngezinswoning open bebouwing. De woning heeft volgende kenmerken:

Type	EWOB
Bouwjaarklasse	71-80
Oppervlakteklasse	102
Hoogte	3.1
Initiële K-waarde (zonder isolatie)	138.6
Compactheidsgraad	1.0181
Beschermd volume	316.2
U_m	1.395
Verliesoppervlak	310.6
Efficiëntie ketel	66%
Initieel verbruik	34637 KWh/jaar

Het besparingspotentieel van de individuele maatregelen kan relatief gemakkelijk berekend worden, door de jaarlijkse energiebehoefte van de woning met en zonder de specifieke maatregel te vergelijken. Het interactie-effect tussen de isolatiemaatregelen en de verbeterde efficiëntie van de ketel werd berekend door de totale energiegebruiksreductie van de gecombineerde maatregelen (bv. muurisolatie en ketelverbetering) te vergelijken met de som van de individuele reducties.

Aangezien de traditionele benadering een constante gemiddelde CCE veronderstelt, is er geen informatie nodig over de verdeling van de eenheidskost. In werkelijkheid kunnen eenheidskosten van bespaarde energie variëren als gevolg van minstens twee factoren: de negatieve interactie tussen maatregelen, en de feitelijke verschillen in de investeringskosten (als gevolg van prijsverschillen tussen leveranciers, of site-specifieke kostfactoren). In het huidige voorbeeld beschouwen we alleen de eerste bron van kostvariatie.

De gegevens voor de gekozen ééngezinswoning worden samengevat in Tabel 9.

Tabel 9: Inputparameters voor het LCSC model

	Maatregel A	Maatregel B	Maatregel C	Maatregel D
Investeringskost (BEF)	85000	5909	75987	19887
Minimum kost (BEF/KWh)	1.4296	0.809	3.969	6.39
Maximum kost (Pmax)	1.647	1.101	5.403	8.7
Max besparingspotentieel (KWh/y)	6984	858	2249	366
Maximum verlies A (LA _i)	-	202.8	451.5	92.2
Maximum verlies B (LB _j)	24.9	-	0	0
Maximum verlies C (LC _j)	145.4	0	-	0
Maximum verlies D (LD _j)	4.8	0	0	-

De hoger gedefinieerde matrix **P** kan berekend worden op basis van lijn 4 tot en met 8 in de tabel. Het resultaat is:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 0 & 0.2364 & 0.2008 & 0.2522 \\ 0.0036 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0208 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0007 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

De parameters van de logistische functies, afgeleid van P_{min}, P_{max} and max_i, zoals hoger beschreven, zijn in dit geval gelijk aan:

	Maatregel A	Maatregel B	Maatregel C	Maatregel D
α ₀	-65.04	-30.03	-30.03	-30.04
α ₁	42.28	31.44	6.41	3.98

De logistische 'conservation supply curve' voor dit voorbeeld kan nu afgeleid worden door de bekomen waarden in te vullen in vergelijking [16]. Het resultaat wordt afgebeeld in Figuur 6 (zie bijlage).

4 SIMULATIES VAN HET TECHNISCH-ECONOMISCH BESPARINGSPOTENTIEEL IN DE RESIDENTIËLE SECTOR

4.1 HET TECHNISCH BESPARINGSPOTENTIEEL MET NEGATIEVE INTERACTIE TUSSEN MAATREGELEN

4.1.1 Bepaling van het interactie-effect

De (negatieve) interactie tussen besparingsmaatregelen werd hoger gedefinieerd als het verlies van bespaarde energie van een maatregel als gevolg van de introductie van een tweede maatregel. Uitgaande van een model waarin vier maatregelen kunnen genomen worden, definiëren we de energiebesparing (per woningtype) als:

CE = CE (A, B, C, D)

waarbij

A = 0 wanneer maatregel a niet werd toegepast

A = 1 wanneer maatregel a werd toegepast

en analoog voor de andere maatregelen.

Het interactie-effect tussen maatregelen A en B kan nu gedefinieerd worden als het verschil tussen de bespaarde energie wanneer beide maatregelen simultaan worden toegepast, met de som van de besparingen die worden gerealiseerd met beide maatregelen afzonderlijk:

$$L_{(A,B)} = CE(1,1,1,1) - CE(1,0,1,1) - CE(0,1,1,1)$$

Deze uitdrukking zal negatief zijn, tenzij er geen interactie-effect tussen A en B optreedt. Ze meet bovendien het totale interactie-effect, dat verder over beide maatregelen moet verdeeld worden in verhouding tot hun maximale besparing. De partiële interactie-effecten worden derhalve gelijk aan:

$$L_{ij} = L_{(i,j)} \left(\frac{\max_i}{\max_i + \max_j} \right)$$

respectievelijk

$$L_{ji} = L_{(i,j)} \left(\frac{\max_j}{\max_i + \max_j} \right).$$

4.1.2 Raming van het energieverbruik en de CO₂ – emissie in 2000

Om de beleidsrelevantie van de simulatieresultaten te verhogen wordt het besparingspotentieel in dit hoofdstuk berekend ten opzichte van het (geraamde) gebruik in het jaar 2000. Deze raming werd bekomen door de omvang en de samenstelling van het woningpark in het basisjaar (NIS, 1991) te updaten aan de hand van de geobserveerde en geprojecteerde nieuwbouwactiviteit. De projecties, en de verdeling van de 'bruto' nieuwbouw over nieuwe woningen en volledige renovaties van bestaande woningen, werden gebaseerd op het CSB-woningmarktmodel (Meulemans & Willemé, 2000). Daarbij werd uitgegaan van de veronderstelling dat de typeverdeling van de nieuwe woningen dezelfde was als de verdeling van de jongste woningen in de stock, en dat nieuwe en volledig vernieuwde woningen uitsluitend worden verwarmd door middel van centrale verwarming (olie, gas of elektrisch) of lokale verwarming op gas. De verhoudingen tussen deze vier verwarmingstechnologieën werd gebaseerd op de VIREG-gegevens. Het resultaat van deze oefening levert een raming van het energieverbruik voor woningverwarming op van ongeveer 4.8×10^{10} kWh, hetzij 172.8 PJoule per jaar. De lichte stijging is het gevolg van de netto uitbreiding van de woningstock, die niet geheel wordt gecompenseerd door de toename van de gemiddelde efficiëntie van de stookinstallaties.

Gegeven de prognose over de samenstelling van het woningpark en de verdeling van de verwarmingstechnologieën per woningtype, kan een raming gemaakt worden van de CO₂ –emissie.

Daartoe werd het energiegebruik per woningtype en per brandstof-type (olie, gas, steenkool en elektriciteit) vermenigvuldigd met een brandstof-specifieke emissiefactor ⁷. De resultaten vindt men in Tabel 10.

Tabel 10: Raming van de CO₂-emissie van residentiële woningverwarming in 2000 per woningtype (in kTon)

Woningtype	Oppervlakte	Bouwjaar <'70	'70-'80	'80-'90	>'90
EWOB	36	54.34	28.84	8.14	13.61
	66	239.64	219.49	69.31	90.34
	102	656.63	1003.50	469.06	520.15
	138	323.85	556.60	363.66	397.71
	180	389.67	604.81	483.32	527.28
Totaal		1664.13	2413.24	1393.49	1549.09
EWHOB	36	23.94	14.33	2.56	4.01
	66	124.38	128.50	28.93	29.28
	102	313.75	482.81	139.73	122.74
	138	128.04	210.45	75.34	66.75
	180	115.18	157.52	58.52	65.21
Totaal		705.29	993.61	305.08	287.99
EWGB	36	57.31	19.79	3.19	8.40
	66	262.96	140.10	29.94	43.23
	102	570.27	387.41	102.77	114.35
	138	231.57	155.28	41.88	49.48
	180	228.59	117.78	29.57	47.73
Totaal		1350.7	820.36	207.35	263.19
APP	36	18.24	21.85	10.73	8.32
	66	36.35	77.44	39.52	22.86
	102	49.72	155.11	99.49	55.11
	138	12.37	36.16	24.07	16.84
	180	9.15	14.63	8.54	7.69
Totaal		125.83	305.19	182.35	110.82

De totale CO₂ – emissie als gevolg van residentiële verwarming wordt geraamd op 12678 kTon in 2000.

4.1.3 Raming van het CO₂ – emissiebesparingspotentieel

Het technisch besparingspotentieel kan eenvoudig berekend worden door in het LCSC-model de energieprijzen dermate hoog te kiezen dat alle maatregelen maximaal kunnen toegepast worden. Dit doet zich voor vanaf een energieprijzen van 10 BEF/kWh. Het resulterende maximale besparingspotentieel per woningtype (geaggregeerd over de oppervlaktecategorieën) en per maatregel vindt men in Tabellen 11 tot en met 14.

Tabel 11: Raming van het CO₂-emissiereductiepotentieel van de vervanging van oude verwarmingsketels per woningtype (in kTon)

	Bouwjaar <'70	'70-'80	'80-'90	>'90
EWOB	376.58	575.04	310.82	256.42
EWHOB	151.67	219.64	67.31	45.66
EWGB	269.87	167.43	40.73	37.83
APP	25.95	69.32	37.75	15.80

⁷ De emissiefactor voor elektriciteit werd berekend aan de hand de recentste gegevens van Electrabel, en weerspiegelt de huidige 'fuel mix' van de Belgische elektriciteitscentrales.

Tabel 12: Raming van het CO₂-emissiereductiepotentieel van dakisolatie per woningtype (in kTon)

	Bouwjaar <'70	'70-'80	'80-'90	>'90
EWOB	71.56	76.42	38.57	32.81
EWHOB	32.65	50.78	6.06	6.21
EWGB	60.34	45.37	8.63	10.13
APP	1.46	4.46	.80	.44

Tabel 13: Raming van het CO₂-emissiereductiepotentieel van muurisolatie per woningtype (in kTon)

	Bouwjaar <'70	'70-'80	'80-'90	>'90
EWOB	174.89	193.74	81.88	48.72
EWHOB	78.24	85.65	16.64	9.84
EWGB	165.41	96.53	25.16	36.38
APP	18.57	9.16	9.68	4.03

Tabel 14: Raming van het CO₂-emissiereductiepotentieel van dubbele beglazing per woningtype (in kTon)

	Bouwjaar <'70	'70-'80	'80-'90	>'90
EWOB	47.38	33.04	3.19	6.40
EWHOB	23.03	23.56	.00	.00
EWGB	54.42	24.10	7.94	.00
APP	.00	.00	.00	.00

Uit het voorgaande blijkt dat het technisch besparingspotentieel van CO₂ – emissie in het huidige woningpark zeer aanzienlijk is. In principe zou bijna 4400 kTon CO₂ - uitstoot kunnen vermeden worden, wanneer de vier geselecteerde maatregelen maximaal worden toegepast. Deze raming houdt rekening met de negatieve interactie tussen de isolatiemaatregelen en de introductie van efficiëntere ketels, maar niet met de kostprijs van deze maatregelen. Het economisch besparingspotentieel, dat hiermee wel rekening houdt, wordt berekend in de volgende paragraaf.

4.2 HET THEORETISCH ECONOMISCH BESPARINGSPOTENTIEEL (“BUSINESS AS USUAL”)

4.2.1 Bepaling van de kosten van energiebesparende maatregelen

Een cruciale parameter bij de bepaling van het technisch-economisch besparingspotentieel zijn de investeringskosten: zij bepalen, samen met de vermeden kosten als gevolg van de bespaarde energie, of een energiebesparende maatregel economisch rendabel is of niet. De kosten werden als volgt bepaald (IGB, 2001):

- Maatregel A (nieuwe ketel): 70000 BEF
- Maatregel B (dakisolatie): 250 BEF/m²
- Maatregel C (muurisolatie): 1500 BEF/m²
- Maatregel D (ramen met dubbel glas): 7000 BEF/m²

De prijzen per m² werden vermenigvuldigd met de gemiddelde te behandelen oppervlakte, die vanzelfsprekend afhangt van het woningtype. Deze oppervlakte hangt bovendien af van de initiële isolatiestatus, waarvan het gemiddelde werd berekend op basis van de VIREG-data. Wanneer bv. 30% van de woningen van een bepaald type en bouwjaar reeds muurisolatie heeft, werd de startwaarde van de muurisolatie voor alle woningen van dit type op 0.3 gezet. De nog te isoleren oppervlakte bedraagt dan 70% van het gemiddelde verliesoppervlak van de muren van dit woningtype.

Op basis van deze kostengegevens werd per woningtype de jaarlijkse kost berekend (de 'annualised cost'):

$$AC_{i,m} = C_{i,m} \left(\frac{r}{1 - (1+r)^{-n}} \right)$$

waarbij een levensduur van n=20 jaar en een discountfactor van r = 0.1 werd vooropgesteld. De gevoeligheid van de resultaten ten aanzien van deze parameters wordt onderzocht in paragraaf 3.3. De simulatieresultaten vindt men in volgende tabellen.

Tabel 15: Raming van het economisch CO₂-emissiereductiepotentieel van de vervanging van oude verwarmingsketels per woningtype (in kTon)

	Bouwjaar <'70	'70-'80	'80-'90	>'90
EWOB	405.92	558.65	197.82	.00
EWHOB	141.59	89.56	7.44	.00
EWGB	140.90	27.39	.01	.00
APP	4.07	.00	.00	.00

Tabel 16: Raming van het economisch CO₂-emissiereductiepotentieel van dakisolatie per woningtype (in kTon)

	Bouwjaar <'70	'70-'80	'80-'90	>'90
EWOB	71.38	76.49	38.91	33.42
EWHOB	32.73	51.96	6.15	6.30
EWGB	61.25	44.92	8.10	8.38
APP	1.47	4.52	.81	.44

Tabel 17: Raming van het economisch CO₂-emissiereductiepotentieel van muurisolatie per woningtype (in kTon)

	Bouwjaar <'70	'70-'80	'80-'90	>'90
EWOB	.00	.00	.00	.00
EWHOB	.00	.00	.00	.00
EWGB	4.17	19.09	5.03	8.53
APP	3.40	6.05	7.29	2.96

Deze resultaten suggereren dat, met de gegeven parameterwaarden, en zonder bijkomende maatregelen, in totaal ongeveer 2077 kTon CO₂ – emissie kan vermeden worden door de implementatie van rendabele maatregelen. Dit reductiepotentieel is ongeveer 16% van de totale emissie in 2000, en bijna de helft van het technisch potentieel. Het weze echter benadrukt dat het hier wel degelijk een potentiële reductie betreft, waarvan de implementatie zonder twijfel zal afhangen (en eventueel belemmerd worden) door andere variabelen die het besparingsgedrag beïnvloeden.

Het reductiepotentieel is het grootst voor de vervanging van oude verwarmingsketels en dakisolatie. Wat de eerste maatregel betreft is dit het gevolg van de omvang van de energiebesparing, voor de tweede hoofdzakelijk wegens de relatief lage kostprijs van de maatregel. Het reductiepotentieel is zeer klein voor muurisolatie en nagenoeg nihil voor dubbele beglazing (bij de huidige energieprijzen), in beide gevallen als gevolg van de investeringskost.

4.3 SENSITIVITEITSANALYSE MET BETREKKING TOT DE MODELPARAMETERS

In deze paragraaf wordt de gevoeligheid van de simulatieresultaten ten aanzien van wijzigingen in de modelparameters onderzocht. De parameters worden telkens procentueel verlaagd en verhoogd, en de corresponderende procentuele verandering in het totale CO₂ – emissiereductiepotentieel wordt gerapporteerd.

Tabel 18: Sensitiviteit van het totaal economisch CO₂-emissiereductiepotentieel ten aanzien van wijzigingen in de discountfactor

	r = 0.05 (-50%)	r = 0.08 (-20%)	r = 0.09 (-10%)	r = 0.11 (+10%)	r = 0.12 (+20%)	r = 0.15 (+50%)
% wijziging reductiepotentieel	+37.8%	+16.2%	+6.5%	-3.7%	-12%	-38%

Het effect van de verdisconteringsfactor op het reductiepotentieel is vanzelfsprekend negatief: een lagere factor betekent immers dat de beslissingnemer zich tevreden stelt met een lager rendement van de initiële investering, waardoor meer energiebesparende maatregelen economisch rendabel worden. De elasticiteit van het reductiepotentieel ten aanzien van deze parameter is kleiner dan één, maar dit vermindert geenszins het belang ervan. Diverse studies hebben immers aangetoond dat huishoudens een erg hoge impliciete rentevoet hanteren bij investeringsbeslissingen op het vlak van energiebesparing, wat zou betekenen dat het reductiepotentieel zonder bijkomende maatregelen aanzienlijk lager zou liggen dan de geraamde 2077 kTon/jaar.

Tabel 19: Sensitiviteit van het totaal economisch CO₂-emissiereductiepotentieel ten aanzien van wijzigingen in de energieprijzen

	Pe = 1.65 (+10%)	Pe = 1.75 (+17%)	r = 2.00 (+33%)
% wijziging reductiepotentieel	+8.3%	+19%	+33.7%

[Noot: Pe is uitgedrukt in BEF/kWh]

De energieprijzen heeft om voor de hand liggende redenen een positief effect op de potentiële emissiereductie. De simulatieresultaten impliceren een prijselasticiteit van ongeveer één. Voldoende sterke prijsstijgingen (autonoom of als gevolg van overheidsingrijpen) kunnen bijgevolg een substantiële bijdrage leveren aan de potentiële emissiereductie. Het spreekt voor zich dat dit effect enkel speelt op

voorwaarde dat de prijsstijging permanent is (over de levensduur van de investering), of als zodanig wordt ervaren.

Tabel 20: Sensitiviteit van het totaal economisch CO₂-emissiereductiepotentieel ten aanzien van wijzigingen in de investeringskosten

	Kost -20%	Kost -10%	Kost +10%	Kost +20%
% wijziging reductiepotentieel	+31%	+9.2%	-6.8%	-23.2

De potentiële emissiereductie blijkt tamelijk gevoelig voor wijzigingen in de investeringskost van de maatregelen. Uit dit resultaat kan afgeleid worden dat premies voor energiebesparende investeringen een belangrijk instrument kunnen zijn in het klimaatbeleid.

4.4 STIMULERINGSMAATREGELEN MET BETREKKING TOT DE BESTAANDE WONINGSTOCK

Om rationeel energiegebruik te stimuleren beschikt de overheid over een aantal instrumenten, die ruwweg met de termen 'bestrafen' (door middel van het heffen van een energie-belasting), 'belonen' (door het toekennen van subsidies voor energiebesparende investeringen), 'dwingen' (door het uitvaardigen van normen) en 'overtuigen' (door het voeren van sensibiliseringscampagnes) kunnen aangeduid worden. Aangezien tot op heden geen systematisch onderzoek is verricht naar het effect van sensibiliseringscampagnes, en normering als instrument wellicht ongeschikt is voor wat de renovatie-activiteit betreft, beperken we ons in wat volgt tot de eerste twee instrumenten. Zowel subsidiëring als taxatie zijn bovendien zogenaamde 'marktconforme' instrumenten, waarvan wordt aangenomen dat ze een gewenste emissiereductie op de meest efficiënte manier (dus tegen de laagste kost per eenheid emissiereductie) kunnen bewerkstelligen (zie bv. Perman et. al. 1999).

4.4.1 De energieprijs

We berekenen het effect van een permanente verhoging van de energieprijs met 10% op de potentiële emissiereductie, en van de (theoretische) extra belastinginkomsten die met de energiebelasting worden gegenereerd.

Tabel 21: Raming van het additioneel CO₂-emissiereductiepotentieel van een 10% energiebelasting per woningtype (in kTon)

	Bouwjaar <'70	'70-'80	'80-'90	>'90
EWOB	.02	2.44	2.16	.00
EWHOB	20.79	5.73	5.84	.02
EWGB	106.58	14.28	3.57	6.49
APP	3.67	.66	.30	.20

Het totale additionele besparingspotentieel bedraagt ongeveer 172 kTon. Dit potentieel kan hoofdzakelijk gerealiseerd worden in de oudere ééngezinswoningen gesloten bebouwing, als gevolg van een combinatie van factoren: deze categorie woningen vertegenwoordigt 45% van alle oude woningen, en wordt bovendien gekenmerkt door een hogere gemiddelde kost van bespaarde energie dan bv. de ééngezinswoningen open bebouwing (die een grotere fractie van het technisch potentieel kunnen realiseren zonder de bijkomende energiebelasting).

De totale extra belastinginkomsten die gerealiseerd zouden worden als de rendabele maatregelen ook effectief zouden toegepast worden, bedragen ongeveer 5.9 miljard BEF. Indien de overheid er voor opteert de totale belastingdruk constant te houden, zouden andere directe of indirecte belastingen overeenkomstig verlaagd kunnen worden. Een alternatieve optie bestaat er in de extra middelen aan te wenden om REG-investeringen aan te moedigen, zodat ook in dat geval de energiebelasting budget-neutraal blijft. Deze optie wordt verder onderzocht in sectie 3.4.3.

4.4.2 Subsidie van het investeringsbedrag (renovatiesubsidie ten voordele van REG)

In deze sectie rapporteren we de simulatieresultaten met betrekking tot subsidies van energiebesparende investeringen. Achtereenvolgens wordt het (additionele) effect van een subsidie van 10% voor elke maatregel doorgerekend op de totale potentiële emissiereductie. De resultaten vindt men in tabellen 22 tot en met 25.

Tabel 22: Raming van het additioneel CO₂-emissiereductiepotentieel van een 10% subsidie voor efficiënte stookketels per woningtype (in kTon)

	Bouwjaar <'70	'70-'80	'80-'90	>'90
EWOB	.04	4.34	5.24	.00
EWHOB	21.34	8.84	5.83	.00
EWGB	85.66	7.87	.50	.00
APP	.58	.61	.00	.00

De additionele emissiebesparing bedraagt ongeveer 141 kTon per jaar. Het ligt voor de hand dat deze potentiële besparing hoofdzakelijk kan gerealiseerd worden in de oudere woningen. Uit de tabel blijkt overigens dat de subsidie helemaal geen effect zou hebben op het economisch besparingspotentieel bij de woningen gebouwd in de negentiger jaren. Wanneer we de subsidie beperken tot het relevante woningsegment, kan theoretisch ongeveer 124 kTon per jaar bespaard worden, met een subsidiekost van ongeveer 4 miljard BEF.

Tabel 23: Raming van het additioneel CO₂-emissiereductiepotentieel van een 10% subsidie voor dakisolatie per woningtype (in kTon)

	Bouwjaar <'70	'70-'80	'80-'90	>'90
EWOB	.00	.00	.00	.00
EWHOB	.00	.03	.01	.03
EWGB	.08	1.98	.77	1.72
APP	.00	.00	.00	.00

De additionele emissiebesparing bedraagt slechts ongeveer 5 kTon per jaar.

Tabel 24: Raming van het additioneel CO₂-emissiereductiepotentieel van een 10% subsidie voor muurisolatie per woningtype (in kTon)

	Bouwjaar <'70	'70-'80	'80-'90	>'90
EWOB	.00	.00	.00	.00
EWHOB	.00	.00	.00	.00
EWGB	25.64	7.37	2.59	4.99
APP	3.82	.35	.42	.30

Het additioneel besparingspotentieel kan hoofdzakelijk gerealiseerd worden bij de ééngezinshuizen gesloten bebouwing. Het bedraagt ongeveer 45 kTon per jaar. Wanneer we het effect van de subsidie enkel berekenen in het segment van de ééngezinshuizen gesloten bebouwing, kan een CO₂ – emissiereductie van ongeveer 40 kTon per jaar gerealiseerd worden, met een totale subsidiekost van 1.5 miljard BEF.

Het effect van een subsidie voor dubbele beglazing wordt niet gerapporteerd, gelet op het te verwaarlozen verwachte effect ervan op het economisch reductiepotentieel (zie hoger).

4.4.3 Een budget-neutraal CO₂ – emissiereductiebeleid: een combinatie van energiebelasting en REG-subsidie

Zoals hoger reeds aangehaald, kan de belastingopbrengst van een energietaks gecompenseerd worden door andere belastingverlagingen, bijvoorbeeld in de directe belastingen. Dit is het bekende principe achter de theorie van het ‘double dividend’, waarin de ecotaks zorgt voor een vermindering van de milieudruk, terwijl de verlaging van de directe belasting op arbeid verondersteld wordt een tewerkstellingseffect te genereren door de verbeterde competitiviteit van de ondernemingen. Hoewel de effectiviteit van het mechanisme in de praktijk omstreden is (Bosquet, 2000), staat het principe niet ter discussie: milieubelastingen worden in principe niet geheven met het doel additionele inkomsten voor de overheid te genereren, en het ligt dan ook voor de hand de negatieve effecten ervan te compenseren. In deze sectie bestuderen we een alternatief scenario, waarin de compenserende maatregel opnieuw gebruikt wordt om een milieu-effect te induceren: de additionele belastinginkomsten worden uitgekeerd onder de vorm van REG-subsidies, die een tweede impuls geven aan de gezinnen om energiebesparende investeringen uit te voeren. Het gecombineerde effect van beide maatregelen wordt schematisch voorgesteld in Figuur 7 (zie bijlage). De figuur illustreert het positieve effect van de energiebelasting, die de energieprijzen naar rechts verschuift, en het economisch reductiepotentieel verhoogt van A naar A'. Het effect van een REG-subsidie is een verschuiving van de besparingscurve naar links. Bij het oorspronkelijk prijsniveau resulteert dit in een verhoging van het reductiepotentieel van A naar A'. De gecombineerde maatregel leidt tot een potentiële reductieverhoging van A naar B.

De simulaties werden zo opgevat dat de huidige waarde van de energiebelasting en het uitgekeerde subsidiebedrag elkaar ongeveer in evenwicht houden. De additionele belastinginkomsten, die jaarlijks geïnd worden, worden verdisconteerd over de theoretische levensduur van de investeringen (20 jaar). Rekening houdend met de simulatieresultaten uit de vorige paragraaf, ligt het voor de hand de subsidie voor te behouden aan de vervanging van inefficiënte stookketels en de subsidie van muurisolatie.

Tabel 25: Raming van het additioneel CO₂-emissiereductiepotentieel van een combinatie van energietaks en REG-subsidie per woningtype (in kTon)

Energiebelasting: 5%				
Subsidie ketels: 20%				
Subsidie muurisolatie: 20%				
	Bouwjaar <'70	'70-'80	'80-'90	>'90
EWOB	9.49	56.12	110.62	91.00
EWHOB	22.41	115.65	23.09	.02
EWGB	169.11	48.69	9.33	5.64
APP	14.86	6.00	2.19	.86
Extra belastinginkomsten: 2.8 miljard BEF per jaar				
Subsidie ketels: 16 miljard BEF				
Subsidie muurisolatie: 200 MBEF				

Uitgaande van de veronderstelling dat de maatregel enkel wordt uitgevoerd waar substantiële besparingsmogelijkheden bestaan, wordt de additionele emissiereductie geraamd op ongeveer 650 kTon per jaar. Deze resultaten suggereren dat een relatief bescheiden energiebelasting een substantieel effect kan hebben op het CO₂ – emissiereductiepotentieel, op voorwaarde dat de vrijgekomen middelen opnieuw worden aangewend om energiebesparend gedrag te stimuleren. De bijkomende besparing is ongeveer 33% ten opzichte van het referentiescenario. Ter vergelijking: de bijkomende besparing van een energietaks van dezelfde omvang (5%), zonder terugstroom naar REG-subsidies, bedraagt slechts ongeveer 100 kTon.

4.5 STIMULERINGSMAATREGELEN MET BETREKKING TOT DE NIEUWBOUW

Het model dat in de vorige paragraaf werd gebruikt om het potentiële effect van energiebesparende beleidsmaatregelen te evalueren met betrekking tot het bestaande woningpark (retrofit maatregelen), kan eveneens aangewend worden om het besparingspotentieel voor nieuwbouwwoningen te ramen. Het hoeft echter geen betoog dat de nieuwbouwm Markt substantieel verschilt van de ‘oude’ woningen:

- Nieuwe woningen zijn, ook zonder overheidsingrijpen, veel energie-efficiënter dan oude (zie ook Tabel 2) ;
- De kost van energiebesparende maatregelen verschilt, tenminste voor sommige maatregelen, substantieel tussen nieuwbouw en retrofit;
- Voor nieuwbouwwoningen kunnen in principe maatregelen genomen worden die, uit economische of praktische overwegingen, moeilijk in bestaande woningen kunnen toegepast worden (een voorbeeld is vloerisolatie, die niet in aanmerking werd genomen als retrofit-maatregel).
- Voor nieuwbouwwoningen kunnen andere instrumenten aangewend worden om het energiegebruik te beperken dan voor bestaande woningen, met name normering (zoals K-normen of EPN) en maatregelen in het domein van de ruimtelijke ordening (zie verder).

We onderzoeken het reductiepotentieel van vijf maatregelen (de bijkomende maatregel is vloerisolatie), waarvan de kosten als volgt werden vastgelegd (IGB, 2001):

Maatregel A (Ketel HR90, meerkost t.o.v. R80): 10000 BEF

Maatregel B (dakisolatie: glas- of rotswol): 300 BEF/m²

Maatregel C (vloerisolatie: geëxtrudeerd polystyreen): 420 BEF/m²

Maatregel D (muurisolatie: polyuretaanschuim of geëxtrudeerd polystyreen): 500 BEF/m²

Maatregel E (ramen met dubbel glas, meerkost t.o.v. enkel glas): 500 BEF/m²

Deze kosten moeten geïnterpreteerd worden als additionele kosten. Dit maakt met name voor wat betreft de beglazing een erg groot verschil met de kost van dubbele beglazing in een bestaande woning (waar in de meeste gevallen ook de ramen vervangen (moeten) worden).

In de simulaties werd uitgegaan van een gemiddelde jaarlijkse nieuwbouwactiviteit van 20000 eenheden (op basis van de CSB ramingen), waarvan de typeverdeling zoals voorheen werd gebaseerd op de verdeling van de jongste woningen in de stock (NIS). De volgende tabellen geven de geraamde jaarlijkse energiegebruikscijfers en de corresponderende emissies per woningtype. We rapporteren het ‘maximale’ gebruik (dit is zonder energiebesparende maatregelen), het gebruik met toepassing van de rendabele maatregelen op basis van het LCSC-model, en het gebruik op basis van geobserveerde toepassing (op basis van de gemiddelde isolatiekwaliteit van woningen gebouwd in de negentiger jaren).

Tabel 26: Raming van het 'maximaal' jaarlijks energiegebruik en corresponderende CO₂ - emissie van nieuwe woningen per woningtype

	EWOB	EWHOB	EWGB	APP	Totaal
E-gebruik in PJoule per jaar	1.2859	0.2262	0.1146	0.1198	1.7466
CO ₂ – emissie in kTon per jaar	88.65	15.60	7.90	8.26	120.41

Tabel 27: Raming van het jaarlijks energiegebruik en corresponderende CO₂ - emissie van nieuwe woningen per woningtype met toepassing van rendabele maatregelen

	EWOB	EWHOB	EWGB	APP	Totaal
E-gebruik in PJoule per jaar	0.7528	0.1321	0.0580	0.0644	1.007
CO ₂ – emissie in kTon per jaar	51.90	9.10	4.00	4.44	69.44

Uit tabellen 26 en 27 blijkt dat de toepassing van de rendabele energiebesparende maatregelen in de nieuwbouw een energie- (en emissie-) besparing van ongeveer 45% zou opleveren ten opzichte van het maximale scenario. Dit resultaat stemt overigens overeen met het berekende gebruik, dat bekomen wordt door de gemiddelde isolatiekwaliteit van de recente woningen toe te passen op de nieuwbouw. Dit blijkt uit de resultaten in Tabel 28: men kan derhalve stellen dat de gezinnen die een nieuwe woning bouwen bij benadering een economisch verantwoord isolatieniveau kiezen. Bijgevolg kan dit isolatieniveau, en de ermee samenhangende CO₂ – emissie, beschouwd worden als het 'natuurlijke' of 'spontane' niveau voor nieuwbouwwoningen, wanneer geen bijkomende stimulerende maatregelen genomen worden. Het potentiële effect van dergelijke beleidsmaatregelen wordt besproken in de volgende secties.

Tabel 28: Raming van het jaarlijks energiegebruik en corresponderende CO₂ - emissie van nieuwe woningen per woningtype, mits toepassing van 'geobserveerde' maatregelen

	EWOB	EWHOB	EWGB	APP	Totaal
E-gebruik in PJoule per jaar	0.7977	0.1386	0.0777	0.0649	1.0790
CO ₂ – emissie in kTon per jaar	55.0	9.56	5.36	4.48	74.39

4.5.1 De energieprijzen

We simuleren zoals voorheen het emissiereductie-effect van een permanente energiebelasting van 10%. De gerapporteerde resultaten in tabel 29 zijn uitgedrukt in additionele termen ten opzichte van het 'business as usual'-scenario.

Tabel 29: Raming van het jaarlijks energiebesparings- en CO₂ - emissiereductiepotentieel van nieuwe woningen per woningtype, als gevolg van een 10% energiebelasting

	EWOB	EWHOB	EWGB	APP	Totaal
E-besparing in PJoule per jaar	0.05162	0.01759	0.0001	0.0006	0.0699
CO ₂ – emissiebesparing in kTon per jaar	3.5590	1.2127	0.0053	0.0443	4.821

De potentiële emissiereductie van de gesimuleerde energiebelasting bedraagt iets minder dan 5 kTon per jaar. Dit is een daling met ongeveer 6.5% ten opzichte van de BAU-emissie. De prijselasticiteit van energiebesparende investeringen ligt dus lager voor nieuwbouwwoningen dan voor bestaande woningen (vergelijk met Tabel 19). Hieruit volgt dat dit instrument minder doeltreffend is in dit geval. Het spreekt echter voor zich dat de besparing hoe dan ook gerealiseerd zal kunnen worden indien de maatregel zou genomen worden met het oog op de stimulering van de renovatie-activiteit.

4.5.2 Subsidie van het investeringsbedrag

Wat betreft de subsidiëring van energiebesparende investeringen werden analoge simulaties uitgevoerd als voor renovatie-subsidies: het reductiepotentieel werd berekend van een 10% subsidie van het investeringsbedrag. De effectiviteit van deze maatregel blijkt echter ontzettend klein te zijn, behalve voor de subsidie van muurisolatie (zie Tabel 30). De resultaten voor de overige maatregelen zijn:

Subsidie efficiëntere ketel: 0.065 kTon per jaar

Subsidie dakisolatie: 0.45 kTon/jaar

Subsidie vloerisolatie: nihil

Subsidie dubbele beglazing: nihil

Tabel 30: Raming van het jaarlijks energiebesparings- en CO₂ - emissiereductiepotentieel van nieuwe woningen per woningtype, als gevolg van een 10% subsidie van muurisolatie

	EWOB	EWHOB	EWGB	APP	Totaal
E-besparing in PJoule per jaar	0.05408	0.01783	0	0	0.0719
CO ₂ – emissiebesparing in kTon per jaar	3.729	1.229	0	0	4.958

4.5.3 een budget-neutrale combinatie van energietaks en REG-subsidie

Tabel 31: Raming van het additioneel CO₂-emissiereductiepotentieel van een combinatie van energietaks en REG-subsidie per woningtype (in kTon)

Energiebelasting: 5%	
Subsidie dakisolatie: 20%	
Subsidie muurisolatie: 20%	
Totaal	7.16
EWOB	5.70

EWHOB	1.40
EWGB	0.05
APP	0.02
Extra belastinginkomsten: 19 MBEF per jaar	
Subsidie dakisolatie: 30 MBEF	
Subsidie muurisolatie: 20 MBEF	

De combinatie van de 5% energietaks met REG-subsidies voor dak- en muurisolatie levert een potentiële extra emissiereductie op van ongeveer 7 kTon per jaar. Dit is 14% meer dan in het BAU-scenario.

4.5.4 Normering: K50 voor alle nieuwbouwwoningen

In deze sectie berekenen we het reductiepotentieel van een K50 norm voor nieuwe woningen. Het opleggen van dergelijke normen voor energiezuinige woningen schakelt in het model de berekening uit van het economisch rendabel isolatieniveau, en biedt derhalve geen garantie dat het geïnvesteerde bedrag wordt terugverdiend over de verwachte levensduur van de investering. Het weze overigens opgemerkt dat de vooropgestelde norm niet zonder meer haalbaar is binnen het door ons geschatte model dat de K-waarde bepaalt in functie van de isolatiegraad (zie vgl. 6). De berekende K-waarde met maximale isolatie is namelijk ongeveer 64 voor de ééngezinwoningen open bebouwing, en 54 voor de overige woningtypes. Dit neemt vanzelfsprekend niet weg dat dergelijke K-waarde wel degelijk kan bereikt worden, met name wanneer meer en/of beter geïsoleerd wordt dan wat gemiddeld werd gedaan in de SENVIVV-woningen waarop onze schatting is gebaseerd.

De resultaten van de modelsimulaties met de K50 norm vindt men in Tabel 32.

Tabel 32: Raming van het jaarlijks energiegebruik en CO₂ - emissie van nieuwe woningen per woningtype, met een K50 isolatienorm

	EWOB	EWHOB	EWGB	APP	Totaal
E-gebruik in PJoule per jaar	0.595	0.114	0.055	0.057	0.822
CO ₂ – emissie in kTon per jaar	41.02	7.84	3.83	3.96	56.65

Uit deze resultaten blijkt dat het (dwingend) opleggen van een K50 isolatienorm een substantiële bijkomende emissiereductie kan realiseren van ongeveer 25% ten opzichte van het referentiescenario. Het is echter evident dat deze maatregel een substantiële meerkost zal veroorzaken, hoofdzakelijk in de categorie van de nieuwe ééngezinwoningen open bebouwing. Of deze indirecte prijsverhoging van dit woningtype een substitutie-effect zal veroorzaken ten voordele van de andere types, blijft een open vraag. Dergelijke verschuiving kan echter ook door de overheid geïnduceerd worden door middel van ingrepen op het vlak van ruimtelijke ordening. Op deze mogelijkheid wordt verder ingegaan in volgende sectie.

4.5.5 maatregelen met betrekking tot de ruimtelijke ordening

Uit het voorgaande is duidelijk gebleken dat een substantieel deel van het energiegebruik en de ermee samenhangende CO₂ – emissie wordt gegenereerd door gezinnen die een nieuwe ééngezinwoning van het type ‘open bebouwing’ bouwen. Dit is het gevolg van een combinatie van twee factoren: de relatief lagere thermische efficiëntie van dit woningtype, en het relatief groot aantal woningen van dit type in het totaal van de nieuwbouw. Het ligt dan ook voor de hand maatregelen te overwegen die het bouwen van

woningen van het half-open of gesloten type bevorderen. In de vorige sectie werd gesuggereerd dat dit mogelijk kon volgen uit een strenge K50 norm. In deze sectie onderzoeken we het effect van een verschuiving in de typeverdeling als gevolg van een doelbewust beleid, dat zich afspeelt op het niveau van de 'Bijzondere Plannen van Aanleg', waarin de gemeentelijke overheden beperkingen kunnen opleggen met betrekking tot de toegelaten woningtypes.

De 'historische' typeverdeling ziet er als volgt uit (NIS):

Eéngesinswoningen open bebouwing (EWOB): 61%
 Eéngesinswoningen halfopen bebouwing (EWHOB): 15%
 Eéngewinswoningen gesloten bebouwing (EWGB): 9.5%
 Appartementen (APP): 14.5%

Het geraamde gebruik en de emissie onder de hypothese van een verschuiving van open naar halfopen en gesloten bebouwing vindt men in Tabel 33.

Tabel 33: Raming van het jaarlijks energiegebruik en CO₂ - emissie van nieuwe woningen per woningtype, met een verschuiving in de typeverdeling

	EWOB 50%	EWHOB 20%	EWGB 15%	APP 15%	Totaal
E-gebruik in PJoule per jaar	0.616	0.176	0.092	0.067	0.951
CO ₂ – emissie in kTon per jaar	42.44	12.14	6.32	4.63	65.54

De gesimuleerde verschuiving in de typeverderdeling, waarbij het aandeel van ééngesinswoningen open bebouwing werd gereduceerd van 61% naar 50% ten voordele van de andere ééngesinswoningen, kan een bijkomende emissiereductie teweegbrengen van ongeveer 4 kTon per jaar (dit is bijna 6% ten opzichte van de berekende uitstoot in het BAU-scenario). Deze maatregel kan vanzelfsprekend gecombineerd worden met de hoger besproken financiële instrumenten (energiebelasting gecombineerd met REG-subsidie), waarvan de resultaten gerapporteerd worden in tabel 34.

Tabel 34: Raming van het jaarlijks energiegebruik en CO₂ - emissie van nieuwe woningen per woningtype: het gecombineerde effect van energiebelasting, REG-subsidie en verschuiving in de typeverdeling

	EWOB 50%	EWHOB 20%	EWGB 15%	APP 15%	Totaal
E-gebruik in PJoule per jaar	0.548	0.149	0.091	0.067	0.855
CO ₂ – emissie in kTon per jaar	37.78	10.28	6.25	4.61	58.92

De simulatieresultaten in deze tabel geven een indicatie van de 'maximale' besparing die kan gerealiseerd worden door een combinatie van economische en niet-economische beleidsinstrumenten. Het gebruik daalt tot 0.855 PJoule per jaar, ten opzichte van 1.07 PJoule in het referentiescenario, en de CO₂ - emissie neemt af van 74 kTon tot 59 kTon per jaar. Deze combinatie van maatregelen is qua potentieel effect vergelijkbaar met de strenge K50 isolatienorm, maar heeft het voordeel dat de emissiereductie op een kosten-efficiëntere kan gerealiseerd worden.

5 CONCLUSIES

Uit het onderzoek is duidelijk gebleken dat er aanzienlijke ruimte is om de CO₂ – uitstoot in de residentiële sector te reduceren. Deze conclusie geldt zowel voor de bestaande als voor de nieuwe woningen. Het onmiddellijke besparingspotentieel is het grootst bij de bestaande woningen, aangezien deze woningen het talrijkst zijn en gemiddeld het slechtst scoren op het gebied van isolatiekwaliteit. Dit neemt niet weg dat de besparingen in de nieuwbouw ook erg belangrijk zijn, aangezien deze besparingen cumulatief zijn : het betreft een emissiereductie die de natuurlijke toename, als gevolg van de uitbreiding van de stock, moet afremmen.

De aard en de doeltreffendheid van de beleidsmaatregelen verschilt ook in belangrijke mate tussen oude en nieuwe woningen: zogenaamde marktconforme maatregelen (energiebelasting en REG-subsidie) zijn het efficiëntst voor de bestaande woningen, omdat de prijsgevoeligheid daar het grootst is. Normen (zowel op het vlak van isolatiekwaliteit als op gebied van ruimtelijke ordening) zijn ongeschikt voor de bestaande woningen, maar kunnen aanzienlijke besparingen realiseren in de nieuwbouw. Het hoeft geen betoog dat deze conclusies slechts opgaan voor zover de normen ook werkelijk bindend zijn, en indien nodig wettelijk afgedwongen worden. De analogie met normen voor verkeersveiligheid ligt voor de hand.

Op basis van deze algemene vaststellingen kunnen volgende beleidsconclusies getrokken worden.

1. Voor het bestaande woningpark:

De jaarlijkse CO₂ – emissie van het bestaand woningpark in 2000 wordt geraamd op ongeveer 12700 kTon. Het toepassen van de economisch rendabele maatregelen (met de gegeven veronderstellingen met betrekking tot levensduur, verdisconteringsfactor enz.) levert een potentiële besparing op van bijna 2100 Kton. Dit besparingspotentieel beschouwen we als referentiewaarde, waarmee we het effect van beleidsmaatregelen vergelijken.

- Energiebelasting (10%)

Deze maatregel levert potentieel een bijkomende emissiereductie op van 172 kTon per jaar, dit is ongeveer 8% meer dan de reductie onder het referentiescenario.

- Subsidie voor REG-maatregelen

REG-subsidies van 10% voor efficiëntere stookketels, dakisolatie en muurisolatie kunnen additioneel ongeveer 170 kTon per jaar besparen. De totale subsidiekost van deze maatregelen is echter aanzienlijk.

- Een budget-neutrale combinatie van energiebelasting en REG-subsidie

Deze maatregel lijkt het meest doeltreffend. Het additionele reductiepotentieel van een 5% energiebelasting, gecombineerd met een 20% subsidie voor efficiëntere stookketels en muurisolatie werd geschat op ongeveer 650 kTon per jaar. De omvang van het effect wordt veroorzaakt door het feit dat het mogelijk wordt een substantiële subsidie toe te kennen, die een beperkte budgettaire impact heeft als gevolg van het terugverdien-effect via de energiebelasting. Deze maatregel vertoont sterke overeenkomsten met de theorie van het 'double dividend'.

2. Voor de nieuwe woningen:

De jaarlijkse CO₂ – emissie van de nieuwbouwwoningen wordt geraamd op maximaal 120 kTon, wanneer geen isolatiemaatregelen genomen worden. Toepassing van de 'geobserveerde' maatregelen (op basis van de gemiddelde isolatiekwaliteit van recent gebouwde woningen) reduceert de emissie tot ongeveer 74 kTon per jaar. Dit beschouwen we als de referentie-emissie. Het geobserveerde isolatieniveau stemt

overigens erg goed overeen met het niveau dat wordt bereikt door toepassing van de rendabele maatregelen.

Afzonderlijke belasting- of subsidiemaatregelen zijn minder doeltreffend voor de nieuwe woningen. De combinatie van beide, door middel van een budget-neutrale ingreep zoals hoger beschreven, levert een potentiële bijkomende besparing op van 7 kTon per jaar (fit is 9.5% van de referentie-emissie).

Het opleggen van een (afdwingbare) strenge isolatienormering voor alle nieuwe woningen (een K50 norm) bespaart 17 kTon per jaar, of 23% ten opzichte van het BAU-scenario.

Maatregelen op gebied van ruimtelijke ordening, met name het verminderen van het aandeel ééngezinswoningen open bebouwing ten voordele van de overige ééngezinswoningen, hebben een reductiepotentieel van ongeveer 9 kTon per jaar, of 12%.

De combinatie van financiële stimuli met maatregelen op het gebied van ruimtelijke ordening, kan een besparing van 15 kTon per jaar opleveren, of 20%. Dergelijk beleid is dus qua doeltreffendheid vergelijkbaar met het normeringsbeleid, hoewel het vanuit het standpunt van kostenefficiëntie wellicht de voorkeur verdient.

Hoewel uit het voorgaande is gebleken dat het besparingspotentieel in de residentiële sector aanzienlijk is, is het erg belangrijk zich te realiseren dat de simulatieresultaten betrekking op een economisch potentieel, dat niet noodzakelijk ook werkelijk zal gerealiseerd worden. De barrières die deze realisatie in de weg staan, houden in belangrijke mate verband met verschillen tussen een strict economische kosten-batenanalyse en het werkelijk gedrag van de economische agenten (in casu: de gezinnen):

- Onvolledige informatie over kosten en te verwachten baten van de investering

Gebrek aan informatie over de kosten van REG-investeringen, en over de besparingsmogelijkheden ervan, kunnen er toe leiden dat rendabele investeringen toch niet ondernomen worden.

- Onzekerheid over belangrijke modelparameters (bv. toekomstige energieprijzen)

Het feit dat de investeringsbeslissing afhangt van variabelen waarvan men het toekomstig verloop zeer moeilijk kan inschatten, resulteert waarschijnlijk in een lagere bereidheid tot investeren. Dit weerspiegelt zich overigens in de erg hoge verdisconteringsfactor die gezinnen blijken te gebruiken bij hun investeringsbeslissingen: het effect van toekomstige baten (de vermeden energiekosten) wordt er door verkleind.

- Het belang van andere determinanten

Investeringsbeslissingen hangen, behalve van de kapitaalkost en de energieprijzen, wellicht ook in sterke mate af van andere variabelen zoals het inkomen. Bovendien zal ook de eventuele onzekerheid over het toekomstig inkomensverloop een negatief effect kunnen hebben op de investeringsbeslissing.

- Mogelijke kapitaalmarktimperfectie

In het voorgaande werd abstractie gemaakt van het feit dat in een aantal gevallen de initiële kapitaalkost van de investering zal moeten geleend worden. Ondanks het feit dat voor de rendabele maatregelen de terugbetaling hiervan in principe gegarandeerd is, is het zeer wel denkbaar dat gezinnen uit de laagste inkomenscategorieën niet in staat zijn dergelijke lening te verkrijgen.

- Het probleem van de huurmarkt

In de investeringsanalyse die aan de basis ligt van het onderhavig model, wordt impliciet uitgegaan van de veronderstelling dat de kosten en baten van de investering voor rekening zijn van de bewoners van de woningen. Dit is echter niet het geval voor de huurmarkt. De REG-investeringen zullen in de meeste

gevallen moeten gefinancierd worden door de eigenaar, terwijl de energiefactuur wordt betaald door de huurder. Als gevolg hiervan ontstaat het probleem van de 'split incentives': de eigenaar heeft weinig reden om de investering te doen, aangezien hij/zij niet geconfronteerd wordt met de verwarmingskosten. De huurder van zijn kant zal niet geneigd zijn te investeren in een woning die hij/zij niet bezit. Ook hier speelt voor beide partijen onzekerheid overigens een belangrijke rol: de eigenaar is onzeker over de mate waarin het geïnvesteerde bedrag zal kunnen gerecupereerd worden (in de vorm van hogere huurprijzen en/of een hogere marktwaarde van de woning), en de huurder is onzeker over de termijn waarin hij/zij in de woning blijft wonen.

Het is duidelijk dat nog een lange weg moet afgelegd worden voor de beleidsmaker over een betrouwbaar instrument zal kunnen beschikken om het effect van zijn beleidsdaden te kunnen inschatten. Het belang van de ontwikkeling van dergelijk instrument kan echter moeilijk overschat worden: niet alleen is de efficiënte besteding van publieke middelen een belangrijke doelstelling op zich, maar bovendien lijkt de ernst van de antropogene klimaatverstoring door de emissie van broeikasgassen dermate groot, dat elk verder uitstel van substantiële emissiereductie moet vermeden worden.

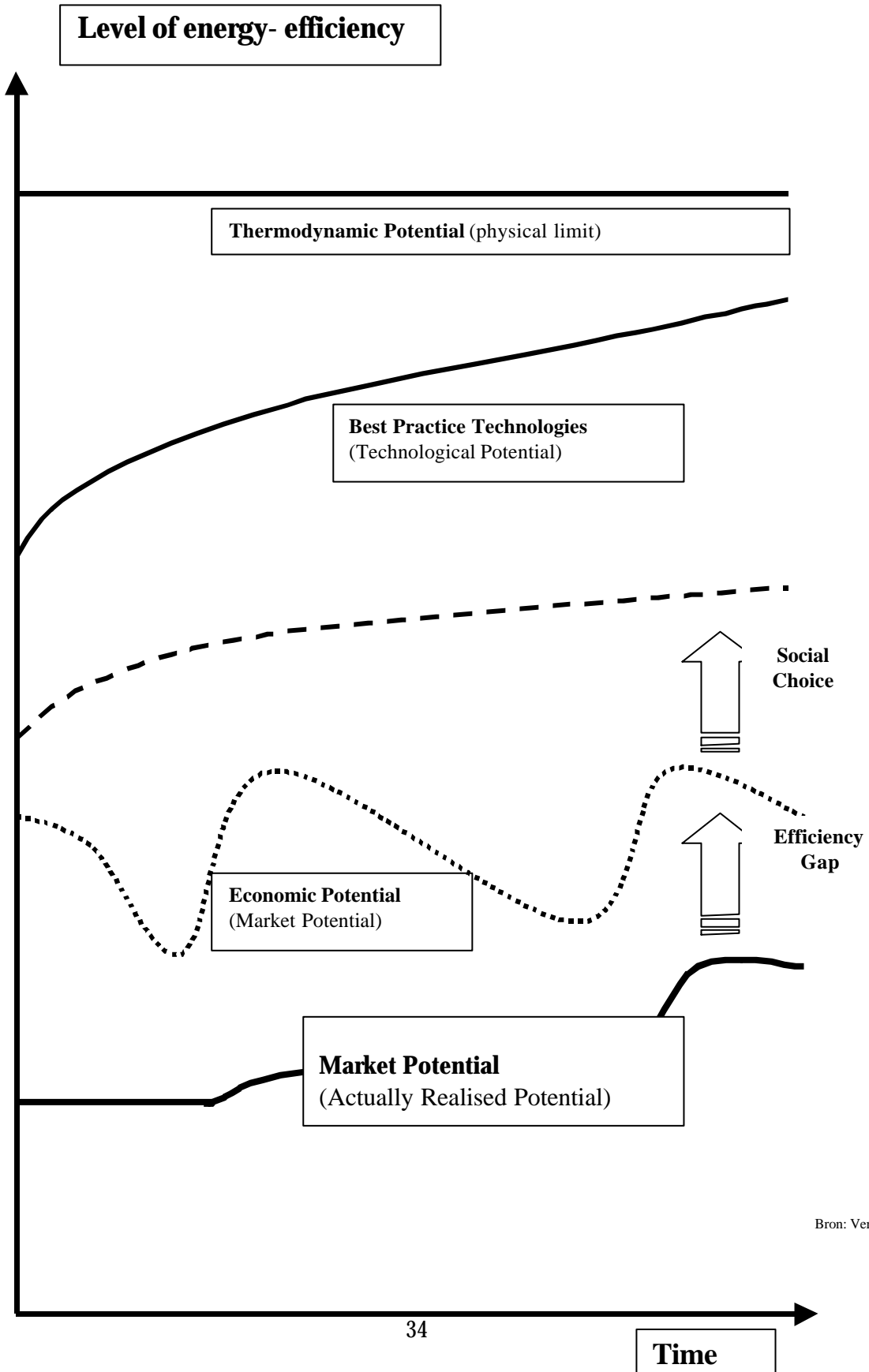
LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Schattingsresultaten van de K-waardenvergelijking (OLS)	6
Tabel 2: Gemiddelde penetratiegraad van de belangrijkste isolatiekenmerken naar woningtype en bouwjaar categorie 7	7
Tabel 3: Gemiddelde K-waardenverdeling naar woningtype en bouwjaar.....	7
Tabel 4: De jaarlijkse gemiddelde energiebehoefte per woning (in KWh-jaar).....	8
Tabel 5: Het theoretisch besparingspotentieel van dakisolatie per woningtype, ten opzichte van het basisjaar 1990 (in %)	9
Tabel 6: Het theoretisch besparingspotentieel van muurisolatie per woningtype, ten opzichte van het basisjaar 1990 (in %)	9
Tabel 7: Het theoretisch besparingspotentieel van glisolatie per woningtype, ten opzichte van het basisjaar 1990 (in %)	9
Tabel 8: Het theoretisch besparingspotentieel van efficiëntere stookinstallaties per woningtype, ten opzichte van het basisjaar 1990 (in %)	10
Tabel 9: Inputparameters voor het LCSC model.....	15
Tabel 10: Raming van de CO ₂ -emissie van residentiële woningverwarming in 2000 per woningtype (in kTon).....	17
Tabel 11: Raming van het CO ₂ -emissiereductiepotentieel van de vervanging van oude verwarmingsketels per woningtype (in kTon)	17
Tabel 12: Raming van het CO ₂ -emissiereductiepotentieel van dakisolatie per woningtype (in kTon)	18
Tabel 13: Raming van het CO ₂ -emissiereductiepotentieel van muurisolatie per woningtype (in kTon).....	18
Tabel 14: Raming van het CO ₂ -emissiereductiepotentieel van dubbele beglazing per woningtype (in kTon)	18
Tabel 15: Raming van het economisch CO ₂ -emissiereductiepotentieel van de vervanging van oude verwarmingsketels per woningtype (in kTon).....	19
Tabel 16: Raming van het economisch CO ₂ -emissiereductiepotentieel van dakisolatie per woningtype (in kTon).....	19
Tabel 17: Raming van het economisch CO ₂ -emissiereductiepotentieel van muurisolatie per woningtype (in kTon) ..	19
Tabel 18: Sensitiviteit van het totaal economisch CO ₂ -emissiereductiepotentieel ten aanzien van wijzigingen in de discontofactor.....	20
Tabel 19: Sensitiviteit van het totaal economisch CO ₂ -emissiereductiepotentieel ten aanzien van wijzigingen in de energieprijis.....	20
Tabel 20: Sensitiviteit van het totaal economisch CO ₂ -emissiereductiepotentieel ten aanzien van wijzigingen in de investeringskosten.....	21
Tabel 21: Raming van het additioneel CO ₂ -emissiereductiepotentieel van een 10% energiebelasting per woningtype (in kTon).....	21
Tabel 22: Raming van het additioneel CO ₂ -emissiereductiepotentieel van een 10% subsidie voor efficiënte stookketels per woningtype (in kTon).....	22
Tabel 23: Raming van het additioneel CO ₂ -emissiereductiepotentieel van een 10% subsidie voor dakisolatie per woningtype (in kTon).....	22
Tabel 24: Raming van het additioneel CO ₂ -emissiereductiepotentieel van een 10% subsidie voor muurisolatie per woningtype (in kTon)	22
Tabel 25: Raming van het additioneel CO ₂ -emissiereductiepotentieel van een combinatie van energietaks en REG-subsidie per woningtype (in kTon)	23
Tabel 26: Raming van het 'maximaal' jaarlijks energiegebruik en corresponderende CO ₂ - emissie van nieuwe woningen per woningtype.....	25
Tabel 27: Raming van het jaarlijks energiegebruik en corresponderende CO ₂ - emissie van nieuwe woningen per woningtype met toepassing van rendabele maatregelen	25
Tabel 28: Raming van het jaarlijks energiegebruik en corresponderende CO ₂ - emissie van nieuwe woningen per woningtype, mits toepassing van 'geobserveerde' maatregelen	25
Tabel 29: Raming van het jaarlijks energiebesparings- en CO ₂ - emissiereductiepotentieel van nieuwe woningen per woningtype, als gevolg van een 10% energiebelasting.....	26
Tabel 30: Raming van het jaarlijks energiebesparings- en CO ₂ - emissiereductiepotentieel van nieuwe woningen per woningtype, als gevolg van een 10% subsidie van muurisolatie	26
Tabel 31: Raming van het additioneel CO ₂ -emissiereductiepotentieel van een combinatie van energietaks en REG-subsidie per woningtype (in kTon)	26
Tabel 32: Raming van het jaarlijks energiegebruik en CO ₂ - emissie van nieuwe woningen per woningtype, met een K50 isolatienorm	27

Tabel 33: Raming van het jaarlijks energiegebruik en CO ₂ - emissie van nieuwe woningen per woningtype, met een verschuiving in de typeverdeling.....	28
Tabel 34: Raming van het jaarlijks energiegebruik en CO ₂ - emissie van nieuwe woningen per woningtype: het gecombineerde effect van energielasting, REG-subsidie en verschuiving in de typeverdeling	28

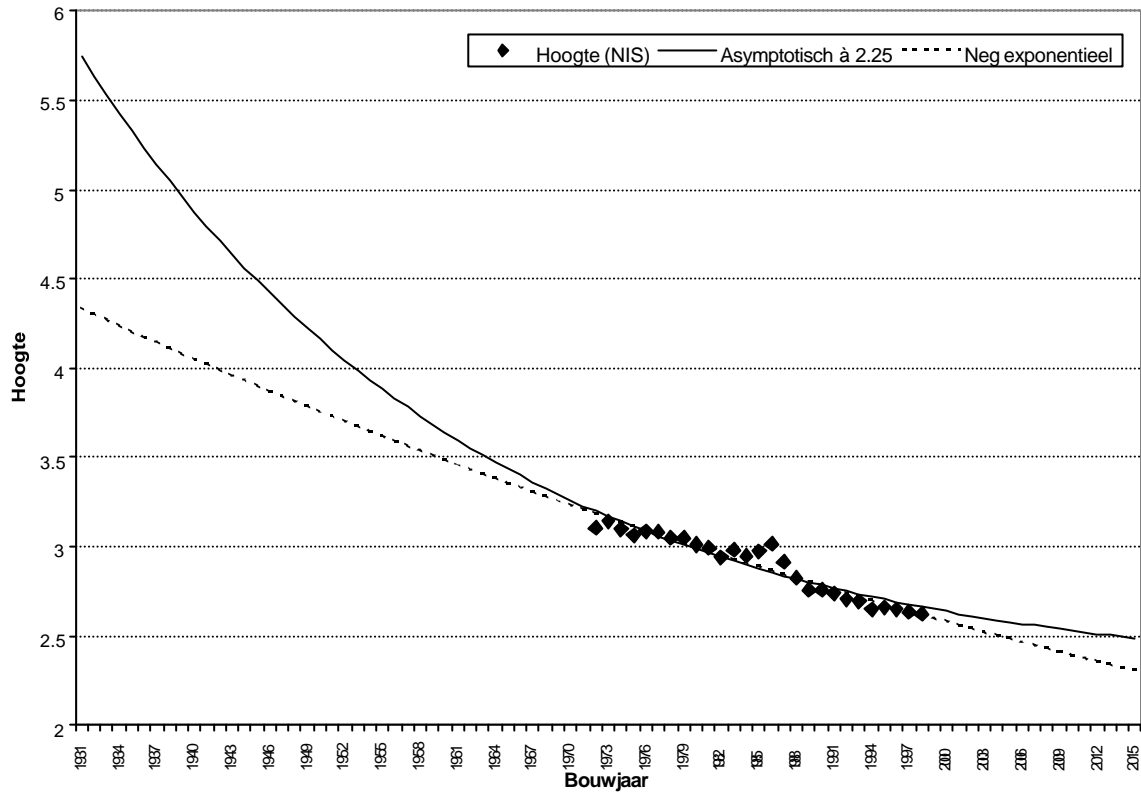
ANNEXE 1 : FIGUREN

Figuur 1: Energiebesparingspotentiëlen: van marktpotentieel tot fysisch potentieel

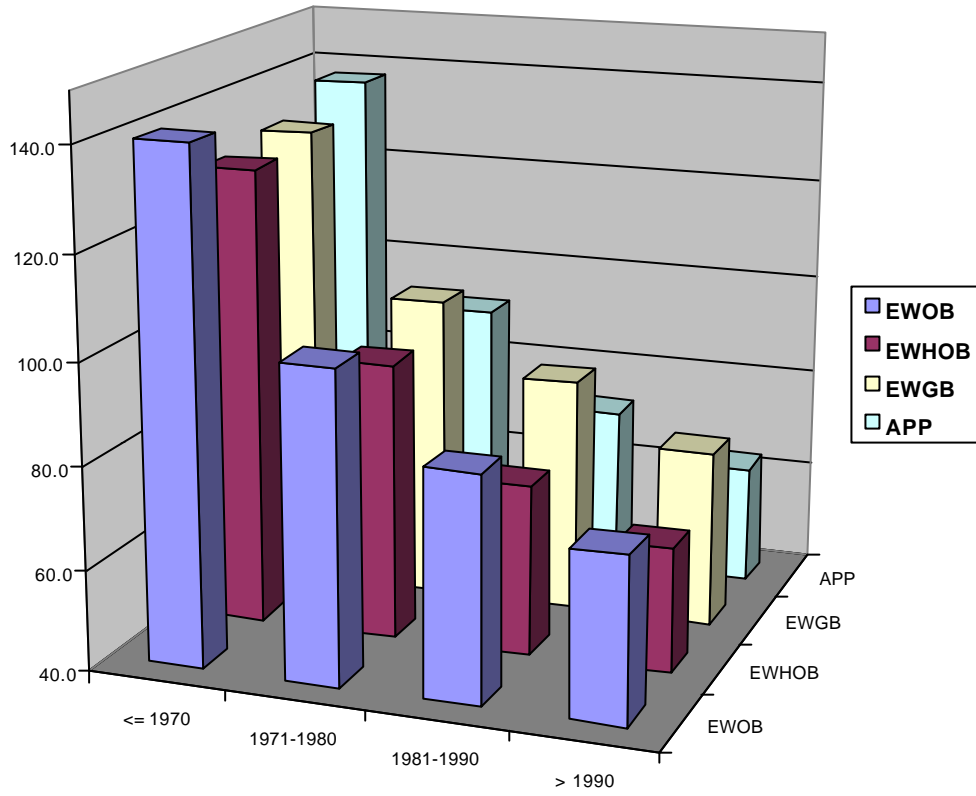


Bron: Verbruggen, 2000.

Figuur 2: Relatiehoogte - bouwjaar

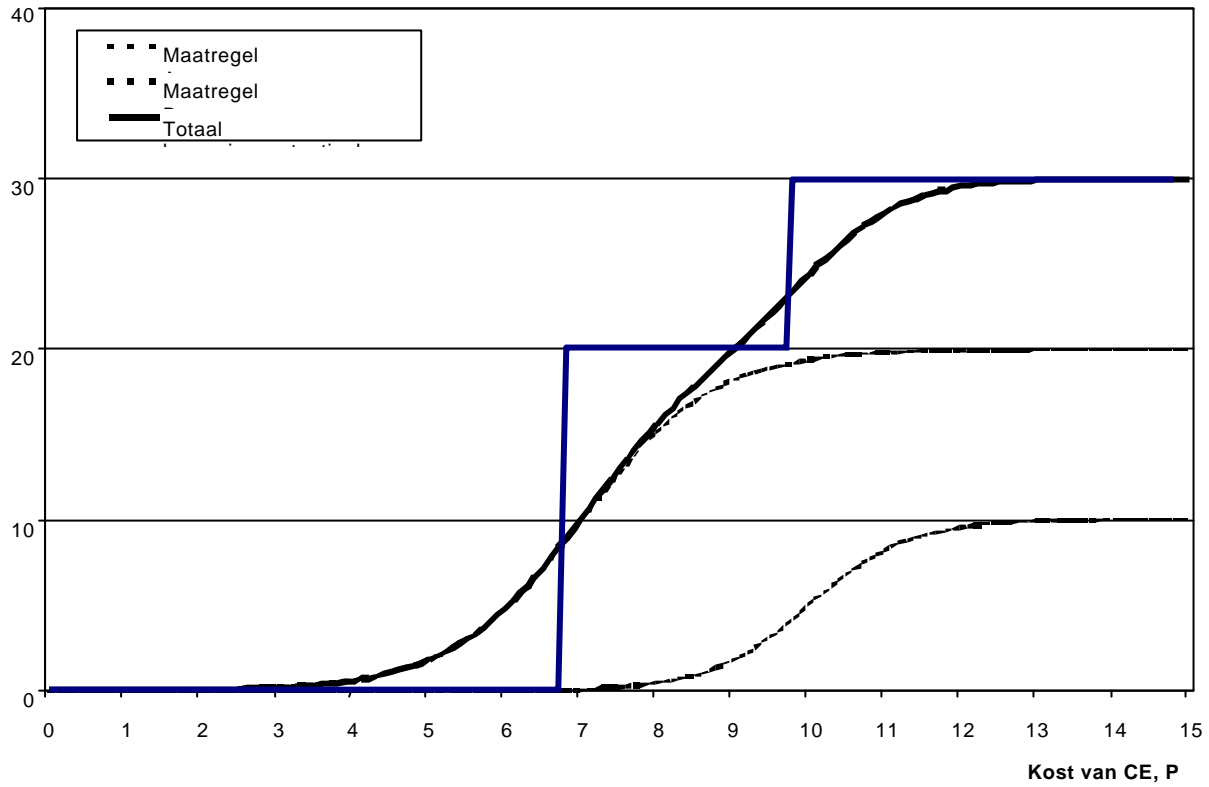


Figuur 3: Berekende gemiddelde K-waarden naar woningtype en bouwjaar

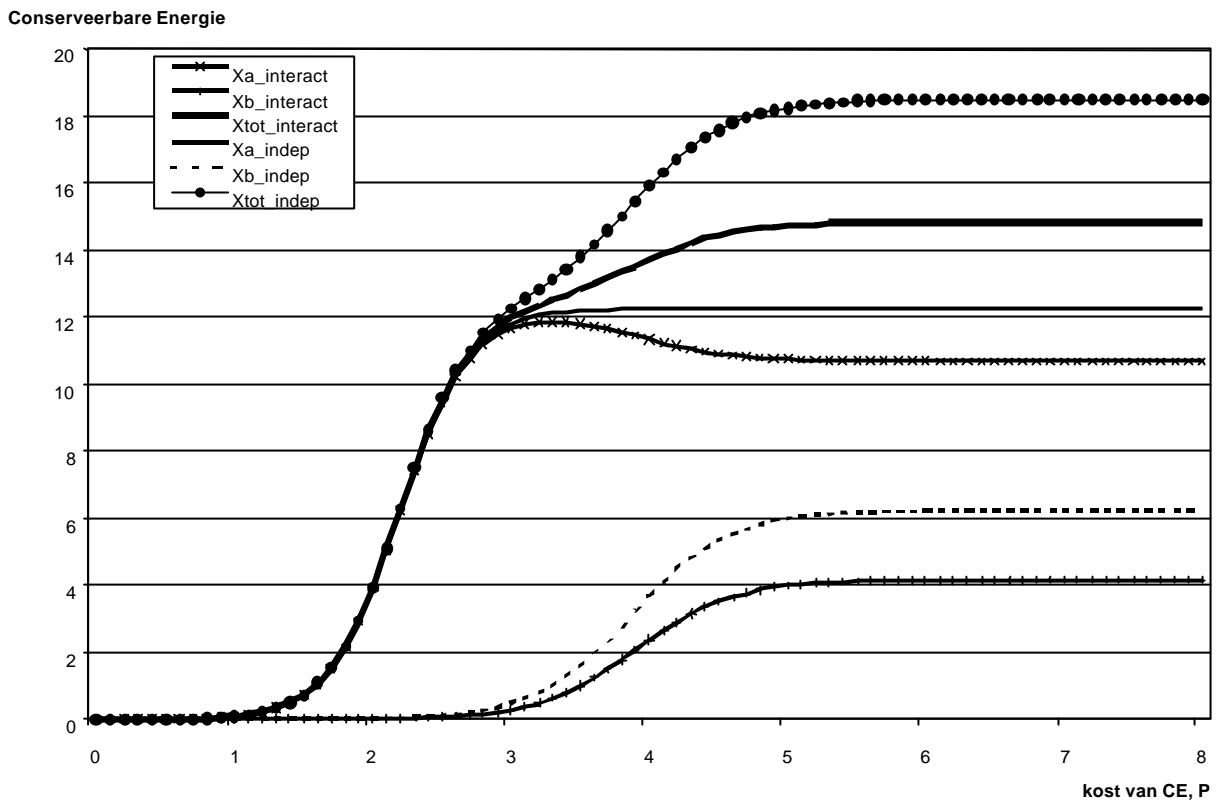


Figuur 4: Logistische en conventionele 'Conservation Supply Curves'

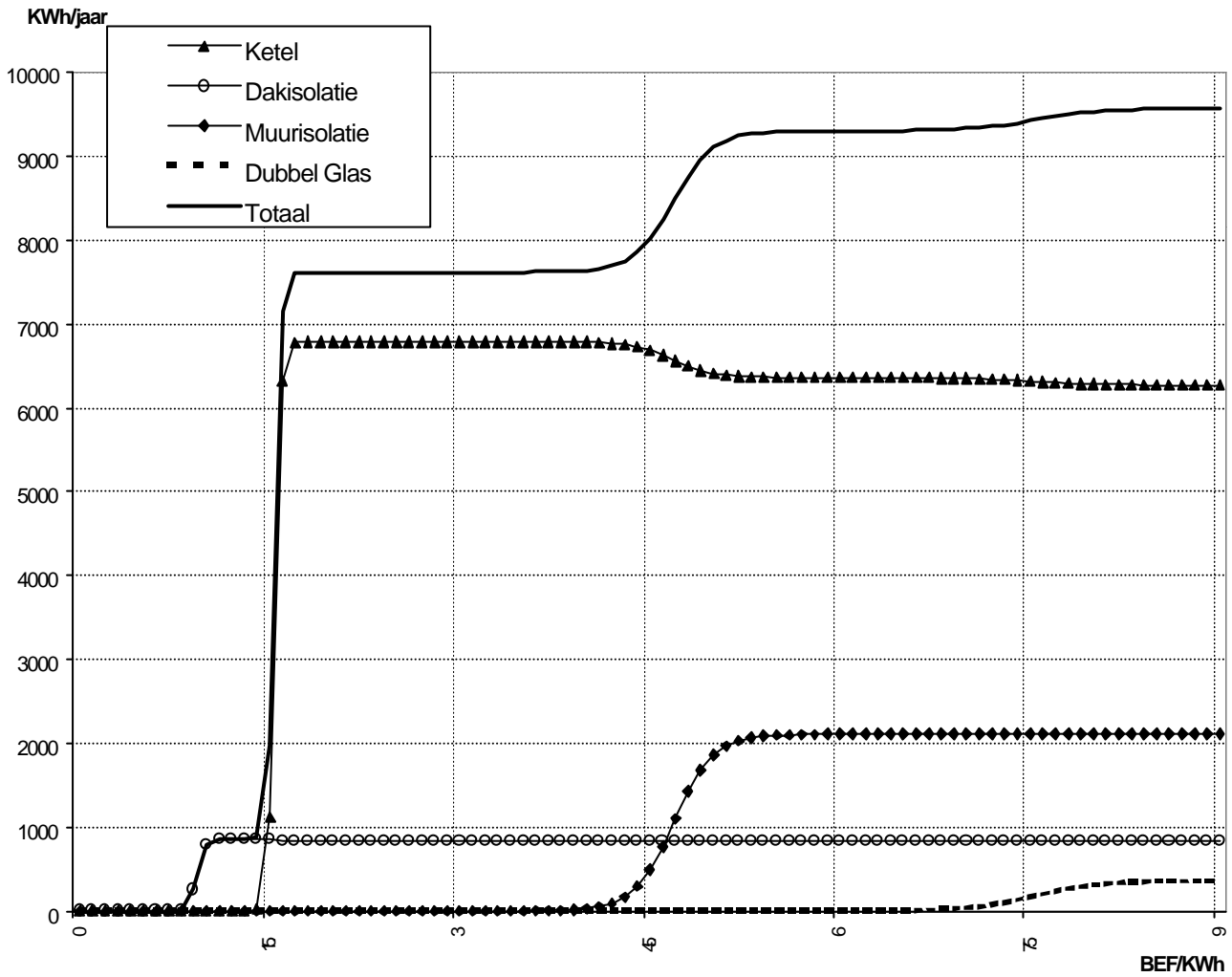
Conserveerbare Energie



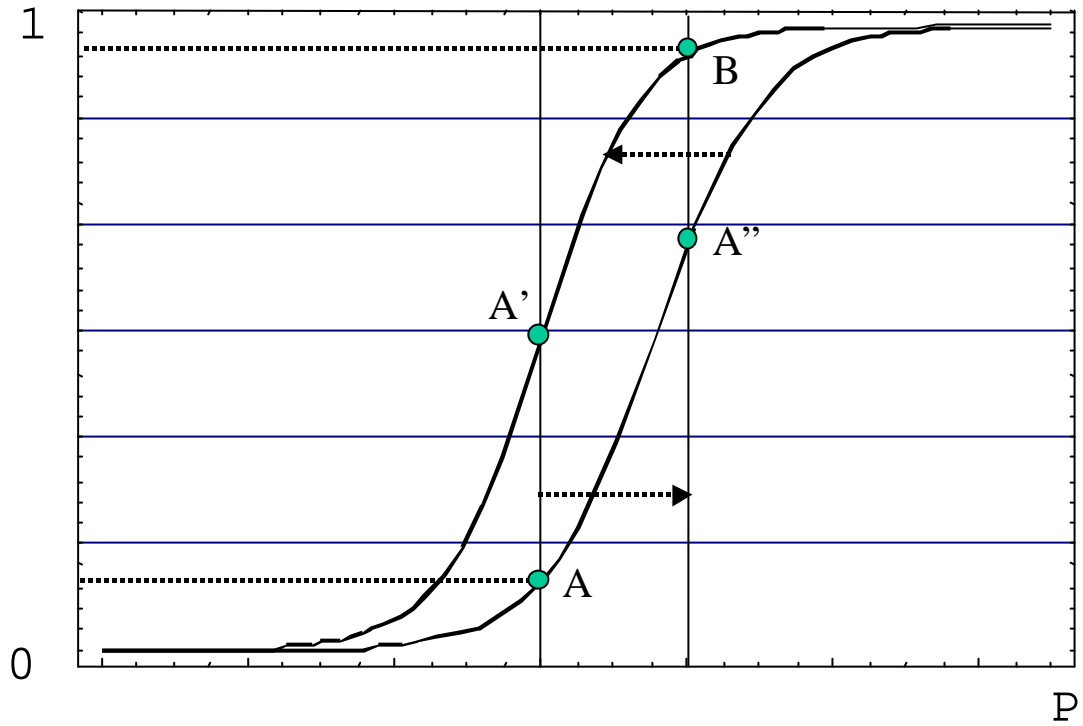
Figuur 5: Logistische CSC met negatieve interactie tussen maatregelen



Figuur 6: Logistische CSC voor residentiële besparingsmaatregelen (verwarming)
 (4 besparingsmaatregelen met interactie)



Figuur 7: Schematische voorstelling van het potentieel emissiereductie-effect van een combinatie energietaks - REG-subsidie



BIBLIOGRAFIE

Bosquet (2000), Environmental tax reform: does it work? A survey of the empirical evidence., *Ecological Economics*, Vol. 34.

Proost & Van Regemorter (2000), How to achieve the Kyoto target in Belgium; Modelling methodology and some results., ETE Working Paper n° 2000-9.

Courcelle & Gusbin (2001), Perspectives énergétiques 2000-2020. Scénarios exploratoires pour la Belgique., Bureau fédéral du Plan, Planning Paper 88.

IGB (2001), Ik Ga Bouwen, n° 237, Februari 2001.

Jaccard, Bailie & Nyboer (1996), CO2 Emission Reduction Costs in the Residential Sector: Behavioral Parameters in a Bottom-Up Simulation Model., *The Energy Journal*, Vol. 17, n° 4.

Meier (1982), Supply Curves of Conserved Energy, University of California, Ph. D. Dissertation.

Metcalf & Hasset (1999), Measuring the energy savings from home improvement investments: evidence from monthly billing data., *Review of Economics and Statistics*, Vol. 81, n° 3.

Meulemans & Willemé (2000), Woonbehoeften in Vlaanderen, 1995-2010., Eindrapport, Universiteit Antwerpen, Centrum Sociaal Beleid.

Perman, Ma, McGilvray & Common (1999), Natural Resource & Environmental Economics, Longman, 2nd ed.

Stoft (1995), The Economics of Conserved-Energy 'Supply' Curves., *The Energy Journal*, Vol. 16, n° 4.

Verdonck & Verbruggen (1998), The Use of Conservation Supply Curves in Policy Making, ENER Bulletin, 22.98.

Verbruggen (2000), Taxonomy of potentials, IPCC, WG III, ch. 5.

Willems, De Vos, Schrooten, Desmet, Meurisse, Van Woensel, Van Erdeghem, Boucneau, Umans, Van Acoleyen, Peeters (2000), Bevolking, in Van Steerteghem (ed.): MIRA-S 2000, Milieu- en natuurrapport Vlaanderen.

WTCB (1998), Studie van de Energieaspecten van Nieuwbouwwoningen in Vlaanderen: Isolatie, Ventilatie, Verwarming., Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf & WenK, Sint-Lucas.