

**Rapport 2006.3193-1:**

Besparing door bodem- en vloerisolatie bij  
woningen

**Opdrachtgever:**

SenterNovem  
Postbus 17  
6130 AA Sittard

Contactpersoon: mevrouw M. Lacroix

**Behandeld door:**

ir. ing. M.P.M. van Leth  
ing. E.J.A Roijen  
Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs B.V.  
St. Annalaan 60  
Postbus 480  
6200 AL MAASTRICHT  
Tel : 043 - 346 78 78  
Fax: 043 - 347 63 47

**Rapport 2006.3193-1:**

Besparing door bodem- en vloerisolatie bij  
woningen

## Inhoudsopgave

Hoofdstuk	Titel	Blad
	Samenvatting	5
1.	Inleiding	8
1.1.	Achtergrond	8
1.2.	Probleemstelling	8
1.3.	Doelstelling	9
1.4.	Leeswijzer	9
2.	Uitgangspunten	10
2.1.	Inleiding	10
2.2.	Besparingsgetallen	10
2.3.	Uitgangspunten	11
2.4.	Omrekeningsfactoren	11
2.5.	Typen vloer- en bodemisolatie	11
2.6.	Afbakening bureaustudie	12
3.	Inventarisatie praktijkgegevens	13
3.1.	Inleiding	13
3.2.	Praktijkproject te Boekelo	13
3.3.	Praktijkproject te Arnhem	14
3.4.	E'novatieprogramma	14
3.5.	Correctie Ketelrendement	15
4.	Berekeningen	16
4.1.	Inleiding	16
4.2.	Eindverslag werkgroep gasbesparingscijfers	16
4.3.	Tijdelijke subsidieregeling CO <sub>2</sub> reductie gebouwde omgeving	17
4.3.1.	Koudebrugberekening t.b.v. CO <sub>2</sub> reductieregeling	18
4.4.	Milieu Centraal	20
5.	Analyse van de besparingsgetallen	21
5.1.	Overzicht besparingsgetallen	21
5.2.	NEN 1068	22
5.3.	Besparingseffect verlaging luchttemperatuur	23
6.	Conclusies en aanbevelingen	25
6.1.	Schematisch overzicht bureaustudie	25
6.2.	Praktijkgegevens	26
6.3.	Berekeningen	26
6.4.	Overige conclusies	27
6.5.	Aanbevelingen te hanteren kengetallen	28
6.6.	Aanbevelingen voor verder onderzoek	29
	Literatuurlijst	30

**Bijlagen**

Bijlage I Overzicht energiegebruiken woningen te Boekelo en Arnhem

Bijlage II Overzicht kengetallen overige bronnen

Bijlage III Benaderde partijen/organisaties/bedrijven voor informatie

## Samenvatting

### *Inleiding*

Schaarser wordende fossiele brandstoffen en de toename van CO<sub>2</sub> emissies zijn maatschappelijke trends die op wereldschaal aandacht krijgen. Aan de energieprestatie van nieuwbouw woningen worden steeds strengere eisen gesteld, waardoor het aandeel van de bestaande bouw op het verminderen van de CO<sub>2</sub> reductie steeds belangrijker wordt in het energieverbruik van de gebouwde omgeving. In de afgelopen jaren is voornamelijk vloerisolatie sterk achtergebleven bij de overige isolatiemaatregelen. De verwachting is dat door middel van vloerisolatie nog veel energie bespaard kan worden.

Momenteel circuleren verschillende besparingsgetallen voor de CO<sub>2</sub> reductie bij het toepassen van vloer- en bodemisolatie in de bestaande bouw. Doelstelling van deze bureaustudie is op de eerste plaats te komen tot een goed onderbouwd kengetal voor de CO<sub>2</sub> reductie bij het toepassen van vloer- en bodemisolatie. Op de tweede plaats is onderzocht of de huidige normen (NEN 1068) die gebruikt worden in de EPN een goede benadering van het energieverlies door de vloer geven.

### *Praktijkgegevens*

Uit inventarisaties bij leveranciers van vloerisolatieproducten blijkt dat er nauwelijks praktijkgegevens voorhanden zijn waarbij het effect van alleen het toepassen van vloerisolatie is onderzocht. In de jaren 80 is bij woningen in Arnhem en Boekelo vloerisolatie aangebracht. Het gasgebruik voor en na het toepassen van vloerisolatie is vervolgens geanalyseerd. In het kader van het E'novatieprogramma is onderzocht wat het besparingseffect is van het isoleren van plafonds van bergingen, waarbij metingen zijn uitgevoerd bij woningen met en zonder isolatie. Uit deze drie praktijkprojecten blijkt dat gemiddeld 7,8 m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> vloeroppervlak bespaard kan worden als gevolg van de toepassing van vloerisolatie.

### *Berekeningen*

In 2004 zijn in het kader van de tijdelijke subsidieregeling CO<sub>2</sub> reductie gebouwde omgeving berekeningen uitgevoerd met het NPR 5129 computerprogramma. De besparing als gevolg van vloerisolatie (R<sub>c</sub> = 2,5 m<sup>2</sup>K/W) wordt berekend op ongeveer 0,33 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> aardgas per jaar. De gehanteerde rekenmethodiek is echter niet geschikt voor bestaande bouw en is bedoeld om een uitspraak te doen over de energetische kwaliteit van de woning en niet voor het bepalen van het werkelijke energiegebruik. Bovendien kent het NPR 5129 rekenprogramma de plaats van de isolatie in de kruipruimte niet en maakt dus geen onderscheid tussen vloer- en bodemisolatie.

Aanvullend zijn berekeningen met TRISCO (computerprogramma voor 3-D stationair warmtetransport door constructies) uitgevoerd. Deze methodiek geeft een beter beeld van de werkelijke situatie en is specifiek bedoeld voor het berekenen van het warmteverlies.

Belangrijk aandachtspunt is dat er een vertaalslag gemaakt moet worden van de berekende waarden in  $W/m^2$  naar het aantal  $m^3$  aardgas en daarmee de  $CO_2$  reductie. Hiervoor is een aanname gedaan voor het aantal stookuren per jaar. Na omrekening wordt een besparing van  $2,5 m^3/m^2$  per jaar ten opzichte van de ongeïsoleerde vloer bewerkstelligd.

### **Geschiktheid NEN 1068**

De berekeningen uitgevoerd in het NPR programma zijn gebaseerd op de NEN 1068 'Thermische isolatie van gebouwen – Rekenmethoden'. Voor het bepalen van de warmtedoorgangscoefficiënt van de vloerconstructie wordt 10 meter grond meegenomen met een  $\lambda$ -waarde van  $2,0 W/mK$ . Dit betekent dat alleen de grond al een  $R_c$ -waarde heeft van  $5 m^2K/W$ . Het grote nadeel is dat het effect van het na-isoleren van de begane grondvloer nauwelijks merkbaar is. Een ander nadeel is dat er geen onderscheid gemaakt wordt in verschillende typen begane grondvloeren. Het thermisch gedrag van begane grondvloeren direct op grond is anders dan bij begane grondvloeren met een kruipruimte. Vanwege deze redenen is de NEN 1068 niet geschikt voor de specifieke toepassing met betrekking tot het bepalen van het warmteverlies door de begane grondvloer.

### **Conclusies en aanbevelingen**

Van de beschikbare berekeningsmethodieken is TRISCO het betrouwbaarste programma om het warmteverlies door de vloer mee te berekenen, met name omdat de plaats van de isolatie in de kruipruimte kan worden aangegeven. Echter het berekende aantal  $m^3$  aardgas dat bespaard wordt bij de toepassing van vloer- of bodemisolatie is lager dan de besparingen die aangetoond worden bij de verschillende praktijkprojecten:

	<b>Rc-waarde [<math>m^2K/W</math>]</b>	<b>Besparingsgetal [<math>m^3/m^2</math> per jaar]</b>	<b>Besparingsgetal [<math>kg CO_2/m^2</math> per jaar]</b>
Berekend (TRISCO)	2,5	2,5	4,5
Praktijkwaarden	2,2/2,5/3,3	7,8	13,9

Hiervoor kunnen een aantal oorzaken worden gegeven. In de berekeningen is geen rekening gehouden met het besparingseffect van het verlagen van de luchttemperatuur als gevolg van een hoger comfortgevoel door het isoleren van de begane grondvloer. Ook wordt er geen rekening gehouden met een verhoogde luchtdichtheid van de begane grondvloer constructie na het aanbrengen van de isolatie. Als laatste kunnen de verschillen veroorzaakt worden omdat er voor de omrekening van  $W/m^2$  naar  $m^3$  aardgas een aanname gedaan moet worden voor het aantal stookuren per jaar en is er de invloed van kruipruimte ventilatie. In de praktijk zal de uiteindelijke besparing altijd afhankelijk zijn van de bouw-kwaliteit van de individuele woning (status voor en na isolatie) en het bewoners-gedrag.

Verder onderzoek dient te bestaan uit nieuwe onafhankelijk praktijkmetingen en/of dynamische berekeningen waarbij genoemde effecten zoals verlaging binnenluchttemperatuur, luchtdichtheid van de vloer en ventilatie van de kruipruimte worden meegenomen. Het verschil tussen berekende en gemeten waarden zal dan naar verwachting kleiner worden en leiden tot een eenduidig besparingscijfer voor vloerisolatie. De daadwerkelijke besparing door bodemisolatie zal ook hieruit blijken, maar de verwachting is dat deze beduidend lager is dan voor vloerisolatie.

## 1. Inleiding

### 1.1. Achtergrond

Schaarser wordende fossiele brandstoffen en de toename van CO<sub>2</sub> emissies zijn maatschappelijke trends die op wereldschaal aandacht krijgen. Aan de energieprestatie van nieuwbouw woningen worden steeds strengere eisen gesteld, waardoor het aandeel van de bestaande bouw op het verminderen van de CO<sub>2</sub> reductie steeds belangrijker wordt in het energieverbruik van de gebouwde omgeving.

Terwijl enerzijds de energieprestatie-eisen voor nieuwbouw projecten steeds verder worden aangescherpt, krijgen anderzijds de energiebesparingsmaatregelen in de bestaande bouw over het algemeen weinig aandacht. Het besparingspotentieel in de bestaande bouw is echter vele malen groter dan bij nieuwbouw woningen. Om het energieverbruik en de CO<sub>2</sub> emissies verder terug te dringen is het noodzakelijk dat de bestaande bouw een grotere bijdrage gaat leveren.

In de afgelopen jaren is voornamelijk vloerisolatie sterk achtergebleven bij de overige isolatiemaatregelen. De verwachting is dat door middel van vloerisolatie nog veel energie bespaard kan worden.

	2000 (%)	MUTATIE '00 - '01 (%)	MUTATIE '01 - '02 (%)	MUTATIE '02 - '03 (%)	MUTATIE '03 - '04 (%)	2004 (%)	GEMIDDELDE TOENAME PER JAAR (%)
Glasisolatie	69,50	3,50	2,70	1,80	1,40	78,80	2,30
Dakisolatie	63,10	2,10	1,20	1,60	1,70	69,60	1,60
Muurisolatie	50,00	1,90	1,40	1,20	1,20	55,60	1,40
Vloerisolatie	34,30	2,10	2,10	1,40	2,00	41,80	1,90

Figuur 1.1: Trends in penetratiegraden isolatievormen woningen [Bron: Senter Novem, 2005]

### 1.2. Probleemstelling

Momenteel circuleren verschillende besparingsgetallen voor de CO<sub>2</sub>-reductie bij het toepassen van vloer- en bodemisolatie in de bestaande bouw. Uit berekeningen voor de tijdelijke regeling CO<sub>2</sub>-reductie gebouwde omgeving blijkt dat vloer- en bodemisolatie (Rc-waarde = 2,5 resp. 3,0 m<sup>2</sup>KW) maar weinig besparing oplevert, namelijk 0,59 resp. 0,69 kg CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> per jaar. Daarentegen geven andere bronnen geheel andere getallen. Zo hanteert MilieuCentraal voor vloerisolatie (Rc-waarde = 2,5 m<sup>2</sup>KW) een vele grotere besparing, namelijk circa 6,8 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> per jaar.

De berekeningen voor de CO<sub>2</sub>-reductieregeling zijn gemaakt met de EPN-normen. Die is mogelijk niet geschikt om ongeïsoleerde woningen te berekenen. De EPN verwijst voor de isolatieberekeningen naar de NEN 1068, hierin is weer een verwijzing voor een eenvoudigere berekening opgenomen in NPR 2068.



Het is op dit moment niet duidelijk of deze normen geschikt zijn voor de ongeïsoleerde situatie en of deze berekeningen gevalideerd zijn.

### **1.3. Doelstelling**

De doelstelling van het project is te komen tot een goed onderbouwd kengetal voor de gasbesparing bij het toepassen van vloer- en bodemisolatie, onderbouwd met gegevens vanuit de praktijk, literatuur en eventueel aanvullende berekeningen. Daarnaast is onderzocht of de huidige normen die gebruikt worden in de EPN een goede benadering van het energieverlies door de vloer geven.

### **1.4. Leeswijzer**

Dit rapport, van de bureaustudie naar de besparing door vloer- en bodemisolatie bij woningen, is opgebouwd uit 6 hoofdstukken. In deze leeswijzer wordt de opbouw van het rapport en de inhoud van de hoofdstukken kort uiteengezet.

Na het lezen van deze inleiding zullen de aanleiding, de probleemstelling en de doelstellingen duidelijk zijn. In hoofdstuk 2 worden enkele uitgangspunten genoemd die de basis vormen van het rapport. In paragraaf 2.2 worden de verschillende besparingsgetallen genoemd die de aanleiding vormen van deze bureaustudie. Vervolgens worden enkele aannames en omrekeningsgetallen beschreven die gebruikt zijn binnen deze bureaustudie. In paragraaf 2.5 wordt ingegaan op de definitie van na-isolatie bij begane grondvloeren en welke typen men hierbij kan onderscheiden.

Hoofdstuk 3 gaat in op verschillende praktijkprojecten waarbij energieverbruiken zijn geanalyseerd voor en na het toepassen van vloer- en/of bodemisolatie. Aangezien de praktijkprojecten dateren uit de jaren 80 wordt in paragraaf 3.5 een correctie toegepast op het toegenomen ketelrendement om de vertaalslag te kunnen maken naar de huidige besparingen.

Hoofdstuk 4 gaat in op berekeningen die gemaakt zijn in het kader van de tijdelijke subsidieregeling CO<sub>2</sub>-reductie gebouwde omgeving 2006.

In hoofdstuk 5 worden de verschillende besparingsgetallen geanalyseerd. In de eerste paragraaf wordt een overzicht gegeven van de getallen zoals deze uit de praktijkgegevens en de uitgevoerde berekeningen volgen. In paragraaf 5.2 wordt ingegaan op de geschiktheid van NEN 1068 'Thermische isolatie van gebouwen – Rekenmethoden' die gebruikt wordt in de EPN voor het bepalen van het energieverlies door een begane grondvloer.

Tot slot worden in hoofdstuk 6 de conclusies uiteengezet en een advies uitgebracht voor de te hanteren kengetallen en worden aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek.

In de bijlagen zijn overzichten opgenomen van kengetallen en van alle, voor dit onderzoek benaderde partijen

## 2. Uitgangspunten

### 2.1. Inleiding

De energiebesparing door bodem- en vloerisolatie is in het verleden door berekeningen en metingen bepaald. Om tot een universeel toepasbaar besparingsgetal te komen, dient eenduidig vast te liggen wat de grondslagen zijn geweest en welke conversies er hebben plaatsgevonden. Een voorbeeld hiervan is de omrekening van een stationaire warmtestroom (momentopname) naar een besparingsgetal op jaarbasis.

De in dit rapport gehanteerde uitgangspunten, besparingsgetallen en omrekeningsfactoren worden in de volgende paragrafen genoemd.

### 2.2. Besparingsgetallen

Uitgangspunt van deze bureaustudie vormen de verschillende besparingsgetallen voor de CO<sub>2</sub> reductie die momenteel in de praktijk circuleren (zie § 1.3 probleemstelling). In de onderstaande twee tabellen zijn deze besparingsgetallen weergegeven in kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> per jaar en in m<sup>3</sup> aardgas/m<sup>2</sup> per jaar.

Tabel 2.1: Overzicht besparingsgetallen in kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> per jaar

Soort isolatie	R <sub>c</sub> -waarde [m <sup>2</sup> K/W]	Besparing in kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per jaar		
		Rapportage DGMR	Tijdelijke CO <sub>2</sub> reductieregeling	Milieu Centraal
Vloerisolatie	2,5	0,59	0,59	6,8
Bodemisolatie+opgaand werk	1,3	0,30	0,69	-
Bodemisolatie	2,5	-	-	5,0
Bodemisolatie	3,0	0,69	0,69	-

Tabel 2.2: Overzicht besparingsgetallen in m<sup>3</sup> aardgas/m<sup>2</sup> per jaar

Soort isolatie	R <sub>c</sub> -waarde [m <sup>2</sup> K/W]	Besparing in m <sup>3</sup> aardgas/m <sup>2</sup> per jaar		
		Rapportage DGMR	Tijdelijke CO <sub>2</sub> reductieregeling	Milieu Centraal
Vloerisolatie	2,5	0,33	0,33	3,8
Bodemisolatie+opgaand werk	1,3	0,17	0,39	-
Bodemisolatie	2,5	-	-	2,8
Bodemisolatie	3,0	0,39	0,39	-

### 2.3. Uitgangspunten

- bij de bepaling van de waarden genoemd in tabel 2.1 en 2.2 wordt geen rekening gehouden met de daling van de gemiddelde binnenluchttemperatuur die het gevolg is van de hogere vloertemperatuur;
- ketelrendement jaren 80 = 0,70 [-];
- ketelrendement huidig = 0,90 [-];
- het stookseizoen is van 1 oktober t/m 30 april; dit komt overeen met 212 dagen;
- op basis van Test Reference Year (uurlijkse buitentemperaturen van een referentiejaar) wordt het aantal stookuren vastgesteld op 4883 uur. Dit is het aantal uur dat de buitentemperatuur onder de 15 °C komt gedurende het stookseizoen. Dit is het maximaal aantal stookuren, omdat zoninstraling en interne warmtelast de warmtevraag verminderen. Deze reductie is sterk afhankelijk van het bewonersgedrag en woningtype en daarom nog niet in mindering gebracht.

### 2.4. Omrekeningsfactoren

Voor het berekenen van de energiebesparing en de emissiereductie zijn de volgende kengetallen gebruikt [lit. 18]:

1. Omrekenen besparing in m<sup>3</sup> gas naar MJ.
  - vermenigvuldigen met 31,65 MJ/m<sup>3</sup>
2. Omrekenen besparing in m<sup>3</sup> aardgas naar reductie CO<sub>2</sub>-emissies.
  - vermenigvuldigen met 1,78 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>
3. Omrekenen van kWh naar MJ.
  - vermenigvuldigen met 3,6 MJ/kWh
4. Omrekenen van W/m<sup>2</sup> naar het aantal Wh.
  - vermenigvuldigen met het aantal stookuren

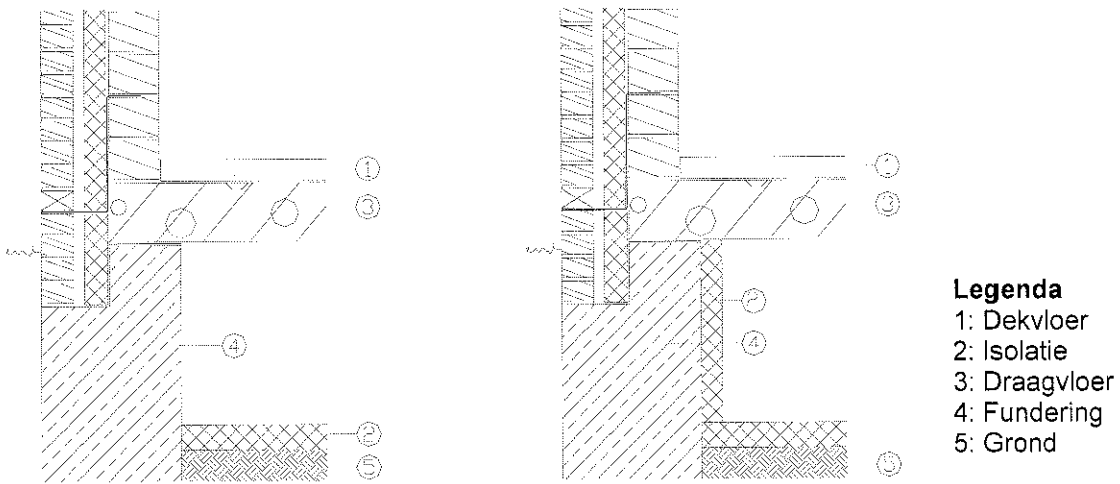
Om de vertaalslag te maken van de besparing van de oudere praktijkprojecten van de jaren 80 naar de huidige besparing dient een correctie plaats te vinden voor het ketelrendement:

$$Besparing_{huidig} = \frac{0,70}{0,90} * Besparing_{jaren80}$$

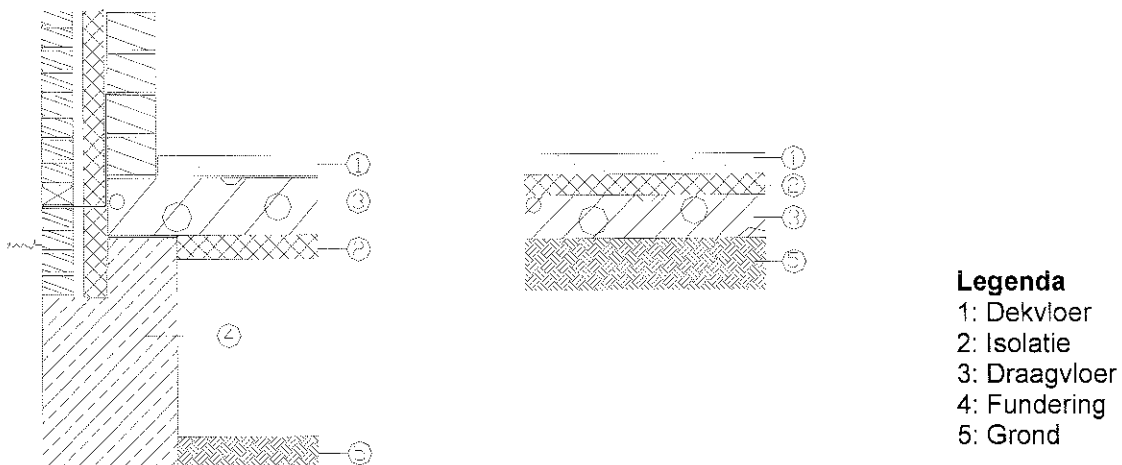
### 2.5. Typen vloer- en bodemisolatie

Onder na-isoleren wordt verstaan het isoleren van bestaande bouwdelen van een bestaande woning. Begane grondvloeren voorkomend in de bestaande woningbouw kunnen op twee manieren geïsoleerd worden, namelijk:

1. Bodemisolatie (figuur 2.1).
2. Vloerisolatie (figuur 2.2).



Figuur 2.1: Bodemisotatie (links: alleen bodemisotatie, rechts: bodemisotatie + opgaand werk)



Figuur 2.2: Vloerisolatie (links: vloer boven kruipruimte, rechts: vloer op grond)

## 2.6. Afbakening bureaustudie

Voorliggende bureaustudie heeft betrekking op conventionele verwarmingssystemen zoals een cv- en gasketel met radiatoren. Andere systemen zoals vloerverwarming en warmtepompen kennen afwijkende besparingen door vloerisolatie.

Bovendien heeft de bureaustudie betrekking op bestaande woningen met begane grondvloeren met een geventileerde kruipruimte.

Het af te leiden besparingsgetal gaat uit van een vloerisolatie met een Rc-waarde van  $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$  conform de huidige minimale nieuwbouweisen.

### **3. Inventarisatie praktijkgegevens**

#### **3.1. Inleiding**

Uit inventarisatie door Bureau Bouwhulp en Cauberg Huygen bij leveranciers van vloerisolatieproducten blijkt dat er nauwelijks praktijkgegevens bekend zijn van metingen aan het effect van vloerisolatie. Bij vloeren op volle grond is de invloed van het na-isoleren moeilijk meetbaar vanwege de invloed van de grond. Bij vloeren met een kruipruimte spelen verschillende warmteoverdracht mechanismen een rol die men niet afzonderlijk kan meten. Warmtestromen door oppervlakken, zoals de onderkant van de vloer en de bodem van de kruipruimte zijn direct te meten. Bij de warmte-uitwisseling tussen deze vlakken onderling en tussen deze vlakken met de kruipruimtelucht wordt de warmteoverdracht bepaald door straling, convectorie en verdamping van water uit de vochtige bodem. Een afzonderlijke meting van deze warmtestroomcomponenten is niet mogelijk [lit. 1].

Wel zijn een tweetal analyses van praktijkprojecten beschikbaar gesteld door Tonzon BV uit Enschede, waarbij als enige maatregel vloerisolatie is toegepast. De analyses zijn gemaakt in samenwerking met woningbouwverenigingen en energiebedrijven. Deze twee praktijkprojecten betreffen de energiebesparing bij bejaardenwoningen met betonnen vloeren te Boekelo en woningen met houten vloeren in de wijk 't Broek te Arnhem.

De analyse van de beschikbaar gestelde "ruwe" verbruikscijfers voor- en na het toepassen van vloerisolatie maakt een objectieve beoordeling mogelijk, die onafhankelijk is van de interpretatie van de leverancier.

Andere praktijkgerichte onderzoeken die in dit hoofdstuk besproken zullen worden zijn: een onderzoek uitgevoerd door de werkgroep gasbesparingscijfers in 1984 en een project uit het Novem E'novatieprogramma.

#### **3.2. Praktijkproject te Boekelo**

In 1986 zijn een dertigtal bejaardenwoningen in Boekelo voorzien van vloerisolatie met een Rc-waarde van 2,2 m<sup>2</sup>K/W. Het betreft betonnen begane grondvloeren met een kruipruimte. Bewoners klaagden over vocht en een koude vloer en wilde een oplossing voor beide problemen.

Van de periode voor het aanbrengen van de begane grondvloer isolatie is het aantal graaddagen bepaald aan de hand van de gegevens van het gasbedrijf. Het verbruik over deze periode is vervolgens teruggerekend naar een normaal verbruiksjaar. Hetzelfde is gedaan voor een periode na het aanbrengen van de vloerisolatie.

De gemiddelde besparing over alle woningen bedroeg circa 10 m<sup>3</sup> gas per m<sup>2</sup> begane grondvloer per jaar [lit 15]. Voor een overzicht van de energiegebruiken wordt verwezen naar bijlage I.

### 3.3. Praktijkproject te Arnhem

In 1986 is bij een aantal woningen met houten vloeren in de wijk 't Broek te Arnhem op initiatief van de bewonersorganisatie vloerisolatie aangebracht. Bij verschillende woningen moesten regelmatig delen van vloer wegens houtrot worden vervangen.

In de eerste fase zijn de woningen voorzien van kruipruimtefolie om de deels vochtige houten vloer de gelegenheid te geven om te drogen. Vervolgens werd in de tweede fase de begane grondvloer voorzien van isolatie met een Rc-waarde van  $3,3 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Om de gerealiseerde besparing te bepalen, is het laatste volledige stookseizoen zonder vloerisolatie vergeleken met het eerste volledige stookseizoen met vloerisolatie. De verbruikcijfers over beide seizoenen zijn afkomstig van het gasbedrijf en aan de hand van de werkelijke graaddagen teruggerekend naar een normaal verbruiksjaar.

Het gemiddelde verbruik per woning voor het toepassen van de vloerisolatie bedroeg  $2477,5 \text{ m}^3$  per normaal jaar. Na isolatie van de begane grondvloer bedroeg het gemiddelde verbruik  $2105,5 \text{ m}^3$  per woning per normaal jaar. Dit komt neer op een gasbesparing van  $12,4 \text{ m}^3$  gas per  $\text{m}^2$  begane grondvloer per jaar [lit. 14].

### 3.4. E'novatieprogramma

Eind 1988 ging het demonstratieprogramma E'novatie van start. Het doel van dit demonstratieprogramma was het verbeteren van bestaande woningen op het gebied van isolatie en installaties, waardoor een substantiële energiebesparing bereikt kon worden en waarbij tevens vocht- en ventilatieproblemen zijn opgelost.

#### ***Korrelbetonflats Wielwijk te Dordrecht***

In het kader van het E'novatieprogramma is een onderzoek uitgevoerd naar het effect van het isoleren van de plafonds van de bergingen. De temperatuur in de bergingen is onbekend, waardoor niet duidelijk is aan te geven wat het energiebesparende effect is van het isoleren van de plafonds. Om het energiebesparende effect van de isolatie na te gaan, zijn in één blok de bergingen geïsoleerd met een 7 cm dikke PS-plaat. De vloer kreeg hierdoor een Rc-waarde van  $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ . De bergingen zijn van elkaar gescheiden door betonnen muren die werken als een koudebrug. In het proefblok zijn de koudebruggen niet geïsoleerd. In de berekeningen is koudebrugisolatie wel meegenomen.

In een ander blok werd geen isolatie aangebracht. De vloer had in deze situatie een Rc-waarde van  $0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Om het verschil tussen de geïsoleerde en ongeïsoleerde situatie te bepalen zijn er duurmetingen en berekeningen met TCM-heat uitgevoerd. Uit de metingen en berekeningen kunnen de volgende besparingen worden afgeleid:

Tabel 3.1: Besparingen praktijkproject Korrelbetonflats te Wielwijk

	Rc-waarde [m <sup>2</sup> K/W]	Gasbesparing [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> per jaar]
Referentie	0,17	0
Zonder koudebrugisolatie	2,5	4,8
Met koudebrugisolatie	2,5	7,0

### 3.5. Correctie Kotelrendement

Uit de praktijk is een aantal projecten voorhanden waar alleen het effect van vloer- of bodemisolatie bekend is, zoals voorgaand is beschreven. Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze praktijkgegevens dateren uit de jaren 80. Om de vertaalslag te kunnen maken naar de huidige gasbesparingen dient er een correctie plaats te vinden vanwege een verhoogd kotelrendement. In de onderstaande tabel worden de gecorrigeerde waarden voor de gasbesparing in m<sup>3</sup> weergegeven.

Tabel 3.2: Correctie kotelrendement

Praktijkproject	Rc-waarde [m <sup>2</sup> K/W]	Gasbesparing [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jaar]	
		Kotelrendement = 0,70 [-]	Kotelrendement = 0,90 [-]
Boekelo	2,2	10,0	7,8
Arnhem	3,3	12,4	9,6
E'novatieprogramma Dor- drecht: met koudebrug isolatie	2,5	7,8	6,1
E'novatieprogramma Dor- drecht: zonder koudebrug isolatie	2,5	4,8	3,7

## 4. Berekeningen

### 4.1. Inleiding

Door de werkgroep gasbesparingscijfers is in 1984 een onderzoek ingesteld naar de besparing van isolatievoorzieningen voor een gemiddelde situatie.

In 2004 zijn in het kader van de tijdelijke subsidieregeling CO<sub>2</sub> reductie gebouwde omgeving berekeningen uitgevoerd. Het doel van deze berekeningen was te komen tot kengetallen voor de CO<sub>2</sub> reductie na het toepassen van verschillende maatregelen ten opzichte van een referentiesituatie.

Deze berekeningen zijn uitgevoerd met het NPR 5129 programma versie 2.0 en het EPA programma versie 4.04.

Eveneens zijn door Milieu Centraal berekeningen met EPA uitgevoerd naar het effect van het toepassen van vloer- en bodemisolatie op de CO<sub>2</sub> reductie.

In de volgende paragrafen worden de resultaten van deze berekeningen betreffende vloer- en bodemisolatie besproken.

### 4.2. Eindverslag werkgroep gasbesparingscijfers

In 1984 is er een onderzoek ingesteld door de werkgroep gasbesparingscijfers met als doel het op een lijn brengen van de gasbesparingskengetallen voor isolatievoorzieningen voor een gemiddelde situatie.

Sinds 1981 constateerde men een dalend stookverbruik als gevolg van onder andere een zuiniger stookgedrag. Dit veranderende gedrag maakte het noodzakelijk de hoogte van de kengetallen te herzien op basis van de nieuwe uitgangspunten.

Bij de herberekeningen zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- voor het omrekenen naar het werkelijke verbruik is gebruik gemaakt van het aantal graaddagen;
- het ketelrendement is 0,70 [-];
- Rc-waarde ongeïsoleerde vloer = 0,42 m<sup>2</sup>K/W;
- Rc-waarde geïsoleerde vloer = 1,92 m<sup>2</sup>K/W;
- correctie op het aantal graaddagen voor de invloed van de zoninstraling en de interne warmteproductie.

Op basis van bovengenoemde uitgangspunten volgt uit de herberekeningen voor het isoleren van de begane grondvloer met een isolatiedikte van 6 cm een besparing van 4 m<sup>3</sup> gas / m<sup>2</sup> vloeroppervlakte per jaar.



Dit getal is enkel gebaseerd op de gasbesparing op het warmteverlies door de vloer. Andere besparingseffecten zijn buiten beschouwing gelaten.

#### 4.3. Tijdelijke subsidieregeling CO<sub>2</sub> reductie gebouwde omgeving

In de tijdelijke subsidieregeling CO<sub>2</sub> reductie gebouwde omgeving worden voor de gasbesparing bij het toepassen van vloer- en bodemisolatie de volgende getallen gegeven:

- vloerisolatie (Rc = 2,5 m <sup>2</sup> K/W):	0,59 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
- bodemisolatie + opgaand werk (Rc = 1,3 m <sup>2</sup> K/W):	0,69 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
- bodemisolatie (Rc = 3,0 m <sup>2</sup> K/W):	0,69 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>

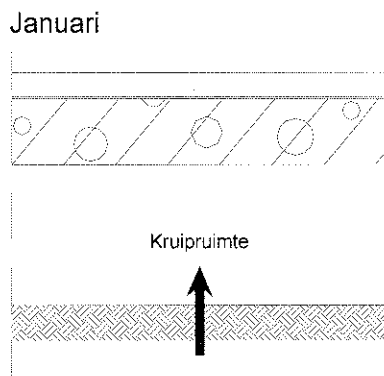
Deze waarden zijn gebaseerd op berekeningen uitgevoerd met het computerprogramma NPR 5129 "Energieprestaties van woonfuncties en woongebouwen" versie 2 [lit. 6]. Tevens zijn dezelfde berekeningen uitgevoerd met het EPA (Energie Prestatie Advies) programma versie 4.04. De resultaten van beide programma's zijn nagenoeg hetzelfde.

Er zijn een aantal punten te noemen waardoor de geschiktheid van het NPR programma voor het bepalen van de gasbesparing als gevolg van het isoleren van begane grondvloeren (hele specifieke situatie) in twijfel kan worden getrokken.

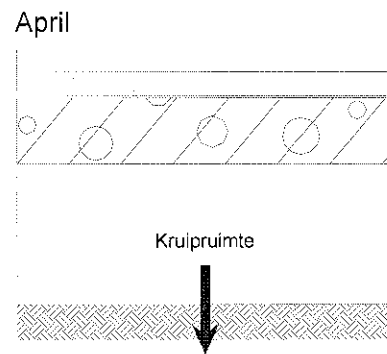
De rekenmethodiek die gehanteerd wordt in het NPR 5129 programma is alleen geschikt voor nieuwbouw woningen en is bedoeld om een uitspraak te doen over de energetische kwaliteit van de woning en niet voor het werkelijke energiegebruik.

Een voordeel is dat de gehanteerde rekenmethodiek normatief is vastgelegd (NEN 1068 en NPR 2068). Echter de rekenmethodiek voor het warmteverlies via de grond zoals deze is vastgelegd in de NEN 1068 "Thermische isolatie van gebouwen – Rekenmethoden" en NPR 2068 "Thermische isolatie van gebouwen – vereenvoudigde rekenmethoden" is eenvoudig van opzet. De NEN 1068 is gebaseerd op een 2-dimensionaal model met als grootheden een binnen- en een buitentemperatuur. Bij het warmteverlies via de begane grondvloer is de bodemtemperatuur echter een belangrijke grootheid. Deze komt echter als zelfstandige grootheid niet voor hoewel deze belangrijk is bij de afkoeling van de vloer en de koudebruggen bij de oplegging van de vloer met de fundering.

In de winter wordt door de relatief warme kruipruimtebodemplaat warmte afgegaan aan de kruipruimtelucht (figuur 4.1) en buiten het stookseizoen wordt er warmte naar de bodem van de kruipruimte afgevoerd (figuur 4.2) [lit. 1]. Dit effect is met de huidige rekenmodellen niet te berekenen.

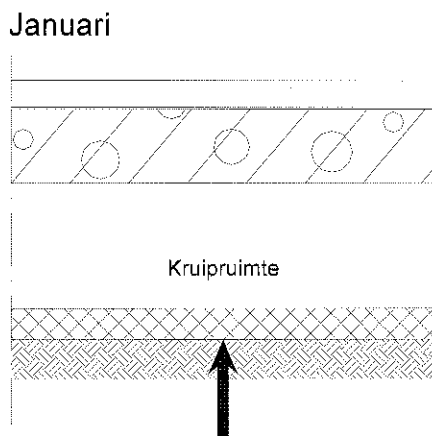


Figuur 4.1: Bodem van de kruipruimte staat warmte af aan de kruipruimtelucht



Figuur 4.2: Er wordt warmte naar de bodem van de kruipruimte afgevoerd

Een ander nadeel is dat in het NPR programma de plaats van de isolatie niet kan worden aangegeven. Het programma gaat er automatisch van uit dat de isolatie zich direct onder de draagvloer constructie bevindt. Er kan dus geen onderscheid gemaakt worden tussen vloer- en bodemisolatie. Een isolatielaag op de bodem van de kruipruimte zal de positieve warmtestroom in de winter afremmen (figuur 4.3). Het resultaat is dat het vloeroppervlak in de woning kouder wordt (omdat er geventileerd wordt met koude buitenlucht) en er meer warmte door de vloer verloren gaat dan zonder bodemisolatie. Volgens de huidige rekenmodellen heeft bodemisolatie altijd een positief effect, ook in de winter, hoewel is vastgesteld dat dit in de praktijk niet altijd het geval is [lit. 1].



Figuur 4.3: Positieve warmtestroom vanuit de bodem wordt afgeremd door de bodemisolatie

#### 4.3.1. Koudebrugberekening t.b.v. CO<sub>2</sub> reductieregeling

De CO<sub>2</sub> besparingen zoals deze vermeld zijn in de tijdelijke CO<sub>2</sub> reductieregeling zijn gebaseerd op de rapportage van DGMR [lit. 6]. Er is echter een verschil te constateren (zie tabel 2.1) tussen de waarden die in de rapportage van DGMR zijn aangeleverd en de waarden zoals deze in de

regeling zijn gepubliceerd voor bodemisolatie + opgaand werk ( $R_c = 1,3 \text{ m}^2\text{K/W}$ ).

Een isolatielaag met een  $R_c$ -waarde van  $1,3 \text{ m}^2\text{K/W}$  op de bodem van een geventileerde kruipruimte geeft een hogere besparing dan een bijna twee keer zo hoge isolatielaag direct tegen de begane grondvloer.

Ter onderbouwing van deze getallen zijn koudebrug berekeningen uitgevoerd met het computerprogramma TRISCO<sup>1</sup>. Er zijn 4 varianten doorge-rekend, namelijk:

1. Ongeïsoleerde betonvloer boven een kruipruimte.
2. Vloerisolatie met een  $R_c$ -waarde van  $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ .
3. Bodemisolatie met een  $R_c$ -waarde van  $3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ .
4. Bodemisolatie+opgaand werk met een  $R_c$ -waarde van  $1,3 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

In de onderstaande tabel worden de resultaten van TRISCO en de herlei-de waarden voor het warmteverlies via de begane grondvloer uit het NPR programma weergegeven.

Tabel 4.1: Warmtestromen via de begane grondvloer voor een tussen-woning

Rc-waarde [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]	TRISCO [ $\text{W/m}^2$ ]	NPR <sup>2</sup> [ $\text{W/m}^2$ ]
Ongeïsoleerd	8,9	3,0
2,5 vloerisolatie	4,4	2,8
3,0 bodemisolatie	5,8	2,7
1,3 bodemisolatie+opgaand werk	5,4	2,9

[Bron: lit. 17]

Het is opvallend dat de warmtestroom in ongeïsoleerde situatie onderling aanzienlijk verschilt. Dit heeft eveneens invloed op de uiteindelijke bespa-ringscijfers.

Uit de TRISCO berekening volgt dat het isoleren van de vloer het meest effectief is. Dit komt overeen met het verwachtingspatroon. Uit de EPN berekening volgt dat bodemisolatie met een  $R_c$ -waarde van  $3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$  het meest effectief is. Dit is logisch aangezien zoals al eerder vermeld in het NPR programma de plaats van de isolatie niet kan worden aangege-ven.

<sup>1</sup> Computerprogramma voor het berekenen van driedimensionaal warmtetransport door een constructie

<sup>2</sup> Het is onduidelijk hoe de waarden voor het warmteverlies in  $\text{W/m}^2$  uit het NPR programma zijn herleid (laatste kolom tabel 4.1). In de notitie van DGMR wordt aangegeven dat het warmteverlies bij benadering kan worden herleid door uit te gaan van een vaste binnen- en bodemtemperatuur, respectievelijk 18 en 10 °C. Vermoedelijk is gebruik gemaakt van de stationaire warmteverliescoëfficiënt via de grond ( $L_s$  in  $\text{W/K}$ ) die rechtstreeks uit het NPR programma te halen is onder resultaten bij deelgegevens transmissie. Door deze waarde te vermenigvuldigen met het temperatuurverschil ( $\Delta T=8^\circ\text{C}$ ) en vervolgens te delen door het inge-voerde vloeroppervlak in  $\text{m}^2$ , kan het warmteverlies in  $\text{W/m}^2$  worden herleid.

Bodemisolatie met een Rc-waarde van 3,0 m<sup>2</sup>K/W en bodemisolatie+opgaand werk met een Rc-waarde van 1,3 m<sup>2</sup>K/W geven volgens TRISCO vergelijkbare resultaten. Dit komt overeen met de waarden in de subsidieregeling. Echter op basis van de TRISCO berekening zou vloerisolatie met een Rc-waarde van 2,5 m<sup>2</sup>K/W een hogere besparing moeten opleveren.

Om de besparing te kunnen uitdrukken in het aantal m<sup>3</sup> aardgas per m<sup>2</sup> vloeroppervlak en een inschatting te kunnen doen van de besparing ten opzichte van de referentie, kunnen de genoemde waarden in tabel 4.1 worden omgerekend door gebruik te maken van het aantal stookuren. In tabel 4.2 worden de omgerekende waarden weergegeven in m<sup>3</sup> aardgas.

Tabel 4.2: Besparing aardgas in m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> vloeroppervlak

Rc-waarde [m <sup>2</sup> K/W]	TRISCO Besparing t.o.v. de referentie [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	NPR Besparing t.o.v. de referentie [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
Ongeïsoleerd (=referentie situatie)	0	0
2,5 vloerisolatie	2,5	0,11
3,0 bodemisolatie	1,72	0,17
1,3 bodemisolatie+opgaand werk	1,94	0,06

#### 4.4. Milieu Centraal

Op de website van Milieu Centraal worden de volgende besparingsgetallen genoemd:

- vloerisolatie (Rc = 2,5 m<sup>2</sup>K/W): 6,8 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> vloeroppervlak
- bodemisolatie (Rc = 2,5 m<sup>2</sup>K/W): 5,0 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> vloeroppervlak

Deze getallen zijn conform opgave van Milieu Centraal gebaseerd op berekeningen uitgevoerd met de EPA (Energie Prestatie Advies) software versie 4.01 (2003). Uitgegaan wordt van een standaard woning met standaard constructies en standaard instellingen (T<sub>i</sub> = 15°C, ventilatievoud = 1,0).

Bovengenoemde besparingen wijken erg af van de waarden bepaald door DGMR met de EPA software (ongeveer een factor 10). Het is niet duidelijk waar de verschillen door veroorzaakt worden. Mogelijke oorzaken kunnen zijn het gebruik van verschillende versies en andere aannames en uitgangspunten.

## 5. Analyse van de besparingsgetallen

### 5.1. Overzicht besparingsgetallen

In de onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de verschillende besparingsgetallen voortkomende uit de praktijkprojecten en de uitgevoerde berekeningen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de Rc-waarde van de toegepaste vloer- of bodemisolatie niet bij alle projecten gelijk is.

Tabel 5.1: Overzicht besparingsgetallen

	R <sub>c</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	Jaar	Maatregel	Primaire besparingsgetal	Primaire besparingsgetal gecorrigeerd**	Besparing in kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
<b>Praktijkgegevens</b>						
Praktijkproject Boekelo	2,2	1986	Vloerisolatie	10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	7,8 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	13,9
Praktijkproject Arnhem	3,3	1986	Vloerisolatie	12,4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	9,6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	17,1
E'novatieprogramma: korrelbetonflats Wielwijk zonder koudebrug isolatie	2,5	1988	Plafonds van bergingen	4,8 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	3,7 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	6,6
E'novatieprogramma: korrelbetonflats Wielwijk met koudebrug isolatie	2,5	1988	Plafonds van bergingen	7,0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	6,1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	10,9
<b>Berekeningen</b>						
Werkgroep gasbesparingscijfers	1,92	1984	Vloerisolatie	4,0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	3,1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	5,5
NPR 5129 (DGMR)	2,5	2004	Vloerisolatie	0,59 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	-	0,59
NPR 5129 (DGMR)	1,3	2004	Bodemisolatie	0,30 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	-	0,30
NPR 5129 (DGMR)	3,0	2004	Bodemisolatie + opgaand werk	0,69 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	-	0,69
TRISCO (DGMR)	0,0	2006	Ongeïsoleerd	8,9 W/m <sup>2</sup>	-	-
TRISCO (DGMR)	2,5	2006	Vloerisolatie	8,9 - 4,4 W/m <sup>2</sup>	-	4,45
TRISCO (DGMR)	3,0	2006	Bodemisolatie	8,9 - 5,8 W/m <sup>2</sup>	-	3,06
TRISCO (DGMR)	1,3	2006	Bodemisolatie+opgaand werk	8,9 - 5,4 W/m <sup>2</sup>	-	3,45
EPA (Milieu Centraal)	2,5	2003	Vloerisolatie	190 m <sup>3</sup> / 50 m <sup>2</sup>	-	6,8
EPA (Milieu Centraal)	2,5	2003	Bodemisolatie	140 m <sup>3</sup> / 50 m <sup>2</sup>	-	5,0

\* Met het primaire besparingsgetal wordt de waarde bedoeld zoals deze op een website of in publicaties is aangetroffen.

\*\* Primaire besparingsgetal gecorrigeerd voor het huidige ketelrendement

Er is een groot verschil op te merken tussen het aantal kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> dat bespaard wordt zoals is aangetoond door de verschillende praktijkprojecten, Milieu Centraal en de EPN berekeningen. Hiervoor zijn twee mogelijk oorzaken aan te geven.

Als eerste kan de geschiktheid van de NEN 1068 waar de bepaling van het warmteverlies in de EPN berekening op gebaseerd is in twijfel worden getrokken voor deze specifieke situatie en als tweede wordt het besparingseffect van het verlagen van de luchttemperatuur niet in de berekening meegenomen. Beide oorzaken worden in de volgende paragrafen nader toegelicht.

## 5.2. NEN 1068

In de NEN 1068 en NPR 2068 wordt een berekeningsmethode gegeven voor de bepaling van de warmteweerstand van een uitwendige scheidingsconstructie. De warmtedoorgangscoefficiënt van het samenstel van vloerconstructie, kruipruimte en ondergrond wordt bepaald met de volgende formule:

$$U_{vl+gr} = \frac{1}{R_{c,vl} + (D_{gr} - h_{kr}) / \lambda_{gr} + h_{kr} / \lambda_{eq} + R_{si}} \quad [1]$$

- $U_{vl;gr}$  = warmtedoorgangscoefficiënt van het samenstel van vloerconstructie, kruipruimte en ondergrond in W/m<sup>2</sup>K;
- $R_{c,vl}$  = warmteweerstand van de vloer in m<sup>2</sup>K/W;
- $D_{gr}$  = de in rekening te brengen diepte onder het maaiveld van het grondlichaam, te stellen op  $D_{gr} = 10$  m;
- $h_{kr}$  = hoogte van de kruipruimte in m;
- $\lambda_{gr}$  = warmtegeleidingscoefficient van de grond te stellen op 2,0 W/mK;
- $\lambda_{eq}$  = de equivalente warmtegeleidingscoefficient van de lucht in de kruipruimte, te stellen op 3,0 W/mK;
- $R_{si}$  = warmteovergangswaarde aan de zijde van de ingaande warmtestroom in m<sup>2</sup>K/W.

Uit de bovenstaande formule blijkt dat de invloed van 10 meter grond ( $\lambda$ -waarde van de grond is 2,0 W/mK indien onbekend) wordt meegenomen voor het bepalen van de warmtedoorgangscoefficiënt van de vloer. Dit komt overeen met een  $R_c$ -waarde van 5,0 m<sup>2</sup>K/W [lit 2 en 3]. Volgens deze berekeningsmethode wordt verondersteld dat er bij een begane grondvloer weinig warmteverlies optreedt.

Dit is in overeenstemming met het gemeten lage warmteverlies in de SBR 118 publicatie. De oorzaak van dit lage warmteverlies is het kleine temperatuurverschil over de vloerconstructie als gevolg van de lage oppervlakte-temperatuur aan de bovenzijde van de begane grondvloer.

De warmtedoorgangscoefficiënt voor de begane grondvloer bepaald volgens formule 1 is de input van de feitelijke transmissieberekening. Vanwege de grote invloed van de grond is het effect van het na-isoleren van de begane grondvloer nauwelijks merkbaar.

Het thermisch gedrag van een begane grondvloer direct op grond onderscheidt zich van het thermisch gedrag van een begane grondvloer met een kruipruimte. In de NEN 1068 wordt uitgegaan van een samenstel van vloerconstructie, kruipruimte en ondergrond, waarbij een vrijdragende vloerconstructie wordt beschouwd. In de NEN 1068 wordt dus geen rekening gehouden met de verschillende vloertypen zoals deze beschreven zijn in hoofdstuk 2, paragraaf 5.

Internationaal wordt gebruik gemaakt van ISO 13370 'Thermal performance of buildings – Heat transfer via the ground – Calculation methods'. In deze bepalingmethode wordt rekening gehouden met het driedimensionale karakter van het warmteverlies door begane grondvloeren. Verder wordt in deze norm verschil gemaakt tussen vloeren op grond, met een kruipruimte en met een onverwarmde kelder en tussen ongeïsoleerde en geïsoleerde begane grondvloeren. Hierdoor wordt een meer representatieve waarde voor de warmtedoorgangscoefficiënt van de desbetreffende vloerconstructie bepaald [lit. 21].

### **5.3. Besparingseffect verlaging luchttemperatuur**

Uit SBR publicatie 118 worden tijdens het stookseizoen lage vloertemperaturen (tussen de 14 en 16°C), een temperatuurgradiënt van 4°C over een hoogteverschil van 2 meter en een lage gemiddelde warmtestroom (4 W/m<sup>2</sup>) via de ongeïsoleerde begane grondvloer geconstateerd [lit. 1].

De lage vloertemperaturen en temperatuurgradiënt zijn een aanleiding voor comfortklachten, maar dragen ook bij tot een verhoogd risico op schimmelvorming als gevolg van oppervlaktecondensatie.

Aan de lage gemeten warmteverliezen door de begane grondvloer mag niet de conclusie verbonden worden dat het na-isoleren van de vloer niet zinvol zou zijn. Om een comfortabel gevoel te krijgen zullen de lage vloertemperaturen gecompenseerd moeten worden met een verhoogde luchttemperatuur (dus thermostaat hoger zetten), wat resulteert in een hoger energiegebruik. De energiebesparing die zal optreden bij het toepassen van vloerisolatie zal mogelijk indirect liggen in de toepassing van de isolatie zelf (geringe verlaging van het warmteverlies door de vloer) en direct in het verlagen van de luchttemperatuur [lit. 1].

Een verlaging van de luchttemperatuur van 1°C kan een mogelijke besparing opleveren van 7% [lit. 7 en 20]. Een bijkomend aspect is dat door het isoleren van de begane grondvloer het stookseizoen wordt verkort wat eveneens leidt tot een energiebesparing.

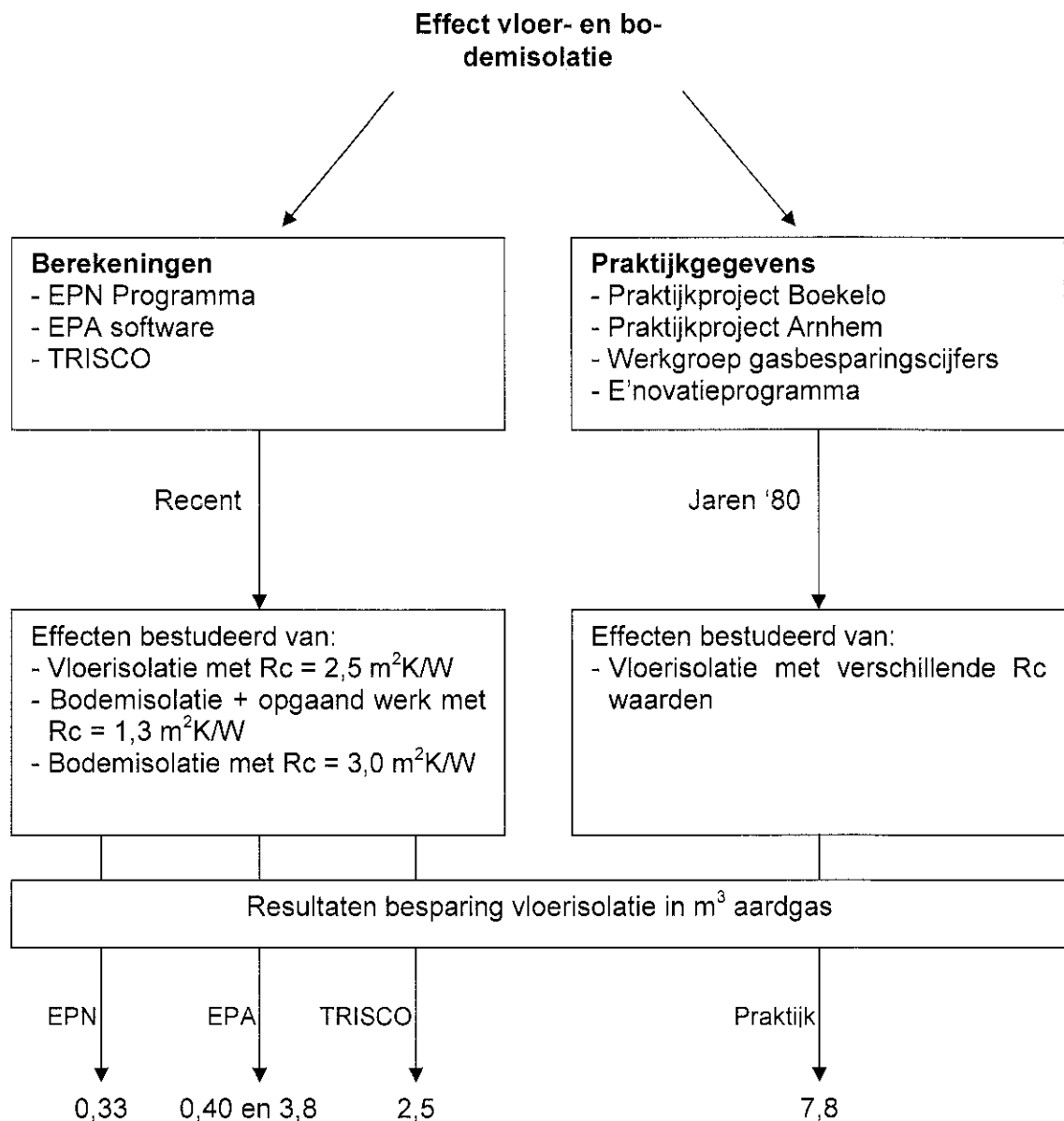
Het effect van het verlagen van de luchttemperatuur zoals hierboven wordt beschreven (aangepast bewonersgedrag, verkorting stookseizoen) is in geen gevallen als zodanig meegenomen in de berekeningen. Dit effect kan als oorzaak worden aangeduid van de verschillen tussen besparingsgetallen volgend uit de praktijkprojecten en de berekeningen.



## 6. Conclusies en aanbevelingen

### 6.1. Schematisch overzicht bureaustudie

In het onderstaande overzicht wordt een beknopte samenvatting gegeven van de voorgaande hoofdstukken. In de volgende paragrafen wordt hier nader op ingegaan.



## 6.2. Praktijkgegevens

Er zijn een drietal praktijkprojecten (Boekelo, Arnhem en Korrelbetonflats in Wielwijk) voorhanden, waarbij het besparingseffect van aardgas na het toepassen van alleen vloerisolatie is onderzocht en een goed beeld geven van de besparingen. De besparingen aardgas in m<sup>3</sup> hebben dezelfde orde van grootte. De gemiddelde besparing van deze drie projecten na correctie voor het ketelrendement is 7,8 m<sup>3</sup> aardgas / m<sup>2</sup> vloeroppervlak per jaar. Dit komt neer op een CO<sub>2</sub> reductie van 13,9 kg/m<sup>2</sup> per jaar.

## 6.3. Berekeningen

### *EPN programma*

Bij het toepassen van vloer- en bodemisolatie wordt een besparing geconstateerd van 0,59 resp. 0,69 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup>. De bruikbaarheid van de waarden bepaald met de EPN methodiek kan in twijfel worden getrokken vanwege de onderstaande redenen.

1. Dit programma is alleen geschikt voor nieuwbouw woningen en is bedoeld om een uitspraak te doen van de energetische kwaliteit van de woning en niet bedoeld om het werkelijke energieverbruik van de woning te bepalen.
2. Een ander groot nadeel van de toepassing van het EPN programma voor het bepalen van de CO<sub>2</sub> reductie als gevolg van vloer- en bodemisolatie is dat de plaats van de isolatie niet kan worden aangegeven. Het programma gaat ervan uit dat de isolatie direct onder de draagvloer constructie wordt aangebracht. Er kan dus geen onderscheid gemaakt worden tussen vloer- en bodemisolatie.
3. Voor de bepaling van het warmteverlies door de vloer lijkt de rekenmethodiek in de NEN 1068, die gebruikt wordt in het EPN programma niet geschikt te zijn. Dit heeft ermee te maken dat door het beschouwen van 10 meter grond met een lambda waarde van 2,0 W/mK het effect van isolatie nauwelijks waarneembaar is. Verder wordt er in de NEN norm geen onderscheid gemaakt tussen ongeïsoleerde en geïsoleerde begane grondvloeren.
4. Er wordt geen rekening gehouden met koudebruggen.

De toepassing van het EPN programma voor het bepalen van de CO<sub>2</sub> reductie als gevolg van het isoleren van de begane grondvloer is voor deze specifieke situatie niet geschikt.

### *EPA programma*

Bij het toepassen van vloer- en bodemisolatie wordt een besparing geconstateerd van ongeveer 0,71 kg CO<sub>2</sub> / m<sup>2</sup> lit. 6]. De waarden bepaald met de EPA-methodiek liggen iets hoger dan resultaten van de EPN berekeningen.

Net als in de EPN-berekening kan de plaats van de isolatie niet worden aangegeven wat een groot nadeel is van de EPA-methodiek. Ook bij deze berekeningen is het dus niet mogelijk onderscheid te maken in vloer- en bodemisolatie.

### *TRISCO*

De berekeningen uitgevoerd met TRISCO geven een hogere besparing aan dan volgt uit de EPN berekeningen. De resultaten van de TRISCO berekeningen zijn betrouwbaarder vanwege onderstaande redenen:

1. Met TRISCO kan het warmtetransport door een constructie stationair en 3-dimensionaal worden doorgerekend en is geschikt voor het bepalen van het warmteverlies door begane grondvloeren.
2. Er wordt een betere benadering van de werkelijkheid gegeven, omdat het in TRISCO wel mogelijk is de plaats van de isolatie aan te geven en er wordt rekening gehouden met mogelijke koudebruggen.

Een nadeel van TRISCO is dat het warmteverlies door de begane grondvloer in W/m<sup>2</sup> omgerekend moet worden naar het aantal m<sup>3</sup> aardgas, waarbij een aanname gedaan moet worden voor het aantal stookuren per jaar.

Tevens kunnen de berekeningen niet dynamisch worden uitgevoerd. Dit is met name belangrijk voor vloeren met een kruipruimte. De temperatuur in de kruipruimte is namelijk 's zomers en 's winters niet constant. In de zomer is de temperatuur ongeveer 10 à 12 °C en in de winter 3 à 4 °C.

Het effect dat in de winter warmte wordt afgestaan vanuit de bodem aan de kruipruimtelucht en in de zomer warmte wordt afgevoerd naar de bodem van de kruipruimte, kan met de stationaire berekeningen niet meegenomen worden.

## **6.4. Overige conclusies**

TRISCO is een goed programma om het warmteverlies door de vloer mee te berekenen, met name omdat de plaats van de isolatie in de kruipruimte kan worden aangegeven. Echter het berekende aantal m<sup>3</sup> aardgas dat bespaard wordt bij de toepassing van vloer- of bodemisolatie is lager dan de besparingen die aangetoond worden bij de verschillende praktijkprojecten. Hiervoor kunnen de volgende oorzaken worden gegeven.

Op de eerste plaats is in de TRISCO berekening het effect van de verlaging van de luchttemperatuur niet meegenomen.

Ook kan er geen rekening worden gehouden met een verhoogde luchtdichtheid van de begane grondvloer constructie na het aanbrengen van de isolatie.

Op de tweede plaats kunnen de verschillen veroorzaakt worden omdat er voor de omrekening van  $W/m^2$  naar  $m^3$  aardgas een aanname gedaan moet worden voor het aantal stookuren per jaar.

#### **6.5. Aanbevelingen te hanteren kengetallen**

Het effect van vloer- en bodemisolatie op de  $CO_2$  reductie zoals deze in de tijdelijke  $CO_2$  reductieregeling zijn gepubliceerd, wordt sterk onderschat. Ook tussen berekeningen en praktijkwaarden bestaan behoorlijke verschillen. Voor het te hanteren kengetal worden hieronder twee mogelijkheden gegeven:

1. Berekeningen: TRISCO

Het warmteverlies bepaald aan de hand van de TRISCO berekeningen als uitgangspunt gebruiken voor de bepaling van de besparingen in  $m^3$  aardgas.

2. De praktijkwaarden gebruiken

De praktijkwaarden zijn deels afkomstig van een leverancier en deels uit onderzoeksprojecten, waarbij de leveranciersgegevens een hogere besparing laten zien dan de onderzoeksprojecten. Desondanks lijken alle praktijkgegevens bruikbaar en geven direct de besparing weer in  $m^3$  aardgas.

Een nadeel is dat alle praktijkgegevens stammen uit de jaren 80. In dien de correctie voor het ketelrendement wordt toegepast, worden representatieve waarden verkregen voor de huidige situatie.

Bij bovenstaande twee mogelijkheden dient opgemerkt te worden dat het effect van de verlaging van de binnenluchttemperatuur, kruipruimte ventilatie en de luchtdichtheid van de vloer een grote rol spelen bij het warmteverlies door de begane grondvloer. Deze effecten worden in de berekeningen niet meegenomen, maar zijn in de praktijk wel aanwezig. Zonder verfijndere berekeningen die genoemde effecten kunnen meenemen, kan beter voor optie 2 worden gekozen.

Verder dient opgemerkt te worden dat bodemisolatie niet altijd een positief effect heeft. In de winter wordt de warmte uit de bodem door de isolatie op de bodem van de kruipruimte tegengehouden. Dit heeft als gevolg dat de kruipruimte geventileerd wordt met de koude buitenlucht, waardoor het warmteverlies niet afneemt, maar toeneemt.

Vloerisolatie levert naast energiebesparing voor bewoners ook meer comfort op door een gelijkmatigere binnenluchttemperatuur en minder vocht in de woning.

Geadviseerd wordt alleen een besparingsgetal op te nemen voor vloerisolatie. Uit nader onderzoek zou dan de werkelijke besparing van bodemisolatie kunnen worden afgeleid.

Tabel 6.1: Mogelijke besparingskengetallen

	Rc-waarde [m <sup>2</sup> K/W]	Besparingsgetal [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> per jaar]	Besparingsgetal [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per jaar]
TRISCO	2,5	2,5	4,5
Praktijkwaarden	2,2/2,5/3,3	7,8	13,9

In de praktijk zal de uiteindelijke besparing altijd afhankelijk zijn van de bouwkwaliteit van de individuele woning (status voor en na isolatie) en het bewonersgedrag.

#### 6.6. Aanbevelingen voor verder onderzoek

Verder onderzoek kan gebaseerd zijn op nieuwe onafhankelijk praktijkmetingen en dynamische berekeningen waarbij genoemde effecten zoals verlaging van de binnenluchttemperatuur, luchtdichtheid van de vloer en ventilatie van de kruipruimte worden meegenomen.

Het verschil tussen berekende en gemeten waarden zal dan naar verwachting kleiner worden en leiden tot een eenduidig besparingscijfer voor vloerisolatie. De daadwerkelijke besparing door bodemisolatie zal ook hieruit blijken, maar de verwachting is dat deze beduidend lager is dan voor vloerisolatie.

CAUBERG-HUYGEN RAADGEVENDE INGENIEURS B.V.



ir. ing. M.P.M van Leth

## Literatuurlijst

1. Stichting Bouwresearch; SBR Publicatie 118: Een kruipruimte thermisch doorgemeten, Rotterdam, 1985
2. Nederlands Normalisatie Instituut; NEN 1068: Thermische isolatie van gebouwen - Rekenmethoden, oktober 2001
3. Nederlands Normalisatie Instituut; NPR 2068: Thermische isolatie van gebouwen - vereenvoudigde rekenmethoden, januari 2002
4. Novem; E'novatie Thema Vloeren en daken, Sittard, april 1993
5. [www.milieuentraal.nl](http://www.milieuentraal.nl)
6. DGMR Bouw B.V.; Rapport E.2005.0146.01.R001 CO<sub>2</sub> subsidie woningbouw; CO<sub>2</sub>-reductieberekeningen woningbouw, Arnhem, 15 juli 2005
7. [www.tonzon.nl](http://www.tonzon.nl)
8. Ing. M. Dubbeld; de invloed van het isolatieniveau op het energieverbruik van een eengezinswoning, berekend met een meerkamermodel; maart 1983
9. Bouwhulp; documentatie voorkomende bouwmethoden in Nederland
10. TNO-Bouw; Rapportage van de metingen en berekeningen inzake E'novatieproject te Wisch, 10 juni 1993
11. TNO-Bouw; Rapportage van de metingen en berekeningen inzake het E'novatieproject te Winterswijk, 8 februari 1993
12. TNO-Bouw; Rapportage van de metingen en berekeningen inzake het E'novatieproject te Gendt, 16 maart 1993
13. TNO-Bouw; Rapportage van de metingen en berekeningen inzake het E'novatieproject te Aalten, 29 januari 1993
14. Tonzon; energiebesparing met Tonzon vloerisolatie in de praktijk bij woningen met houten vloeren in de wijk 't Broek te Arnhem
15. Tonzon; energiebesparing met Tonzon vloerisolatie bij bejaardenwoningen met betonnen vloeren in Boekelo
16. Nationaal isolatieprogramma; Eindverslag werkgroep gasbesparingscijfers, 1984
17. DGMR Bouw BV.; Notitie E.2005.0146.01.N001 CO<sub>2</sub> subsidieregeling woningbouw; Koudebrugberekeningen t.b.v. CO<sub>2</sub> subsidie gebouwde omgeving, 28 augustus 2006
18. Senter Novem; Cijfers en tabellen 2006
19. Nederlands Normalisatie Instituut; NEN 5128: Energieprestaties van woonfuncties en woongebouwen – Bepalingsmethode, maart 2004
20. Cauberg-Huygen; Rapport 980400-3; Kwalitatieve aspecten van lage temperatuur warmte-afgiftesystemen, Amsterdam, 12 mei 1999
21. International Organization for Standardization; ISO 13370: Thermal performance of buildings – Heat transfer via the ground – Calculation methods, 2005

22. Novem; Basismethode EPA versie 4.0, Formulestructuur versie 1, november 2002
23. SenterNovem; Basismethode EPA versie 5.0, Formulestructuur versie 1.0, oktober 2005
24. Stichting Bouwresearch; SBr publicatie B2-20: Kruipruimten, een bouwtechnische en bouwfysische inventarisatie van bestaande kennis en inzichten, Rotterdam 1983

**BIJLAGE I**

Overzicht energiegebruiken woningen te Boekelo en Arnhem



### Woningen te Arnhem

woning nummer	verbruik periode 1	verbruikgraaddagen periode 1	gem jaar periode 1	verbruik periode 2	verbruikgraaddagen periode 2	gem jaar periode 2	besparing absoluut	besparing procenten
4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2,712.0	3,589.8	2,492.0	23,093.0	8,572.9	2,160.0	332.0	13.3
2	22,636.0	29,489.0	2,495.0	5,247.0	8,564.5	1,991.0	504.0	20.2
3	17,140.0	29,300.4	1,901.0	4,254.0	8,459.6	1,634.0	267.0	14.0
4	2,318.0	3,589.8	2,129.0	5,156.0	8,459.6	1,824.0	305.0	14.3
5	17,118.0	29,515.1	1,885.0	3,471.0	8,499.8	1,327.0	558.0	29.6
6	23,628.0	29,486.3	2,604.0	5,991.0	8,541.2	2,279.0	325.0	12.5
7	2,813.0	3,589.8	2,584.0	25,298.0	8,449.0	2,461.0	123.0	4.8
8	22,540.0	28,314.0	2,587.0	5,043.0	8,512.5	1,925.0	662.0	25.6
9	30,813.0	29,489.2	3,396.0	6,164.0	8,564.5	2,339.0	1,057.0	31.1
10	3,496.0	3,589.8	3,211.0	32,713.0	8,541.2	2,893.0	318.0	9.9
11	17,868.0	29,513.9	1,965.0	4,319.0	8,512.5	1,651.0	314.0	16.0
12	24,459.0	29,474.1	2,675.0	5,792.0	8,564.5	2,197.0	478.0	17.9
13	20,381.0	28,448.8	2,328.0	5,738.0	8,365.1	2,229.0	99.0	4.3
14	2,785.0	3,589.8	2,558.0	29,259.0	8,365.1	2,210.0	348.0	13.6
15	2,732.0	3,589.8	2,509.0	28,089.0	8,420.0	2,327.0	182.0	7.3
16	2,257.0	3,589.8	2,073.0	21,552.0	8,635.8	1,861.0	212.0	10.2
17	2,967.0	28,911.9	2,725.0	29,647.0	8,449.0	2,486.0	239.0	8.8
tot. 17	218,663.0	317,071.3	42,117.0	240,826.0	144,476.8	35,794.0	6,323.0	
gem. 1	12,862.5	18,651.3	2,477.5	14,166.2	8,498.6	2,105.5	371.9	14.9

### Woningen te Boekelo

woning nummer	verbruik 86/87	correctie graaddagen	verbruik 84/85	correctie graaddagen	besparing absoluut	besparing procenten
1	2	3	4	5	6	7
1	2,390.0	2,410.3	2,743.0	2,763.4	353.1	12.8
2	2,909.0	2,933.8	3,636.0	3,663.1	729.3	19.9
3	2,159.0	2,177.4	2,167.0	2,183.1	5.7	0.3
4	2,269.0	2,288.3	2,218.0	2,234.5	-53.8	-2.4
5	1,935.0	1,951.5	2,156.0	2,172.0	220.6	10.2
6	1,853.0	1,868.8	2,111.0	2,126.7	257.9	12.1
7	2,364.0	2,384.1	2,633.0	2,652.6	268.5	10.1
8	2,070.0	2,087.6	2,255.0	2,271.8	184.2	8.1
9	1,900.0	1,916.2	1,987.0	2,001.8	85.6	4.3
10	2,695.0	2,717.9	2,594.0	2,613.3	-104.6	-4.0
11	2,084.0	2,101.7	2,599.0	2,618.3	516.6	19.7
12	2,072.0	2,089.6	2,523.0	2,541.8	452.1	17.8
13	3,152.0	3,178.8	3,252.0	3,276.2	97.4	3.0
14	1,765.0	1,780.0	1,992.0	2,006.8	226.8	11.3
15	3,535.0	3,565.1	3,839.0	3,867.6	302.5	7.8
16	2,930.0	2,954.9	3,070.0	3,098.8	943.9	24.2
17	1,430.0	1,442.2	1,533.0	1,544.4	102.2	6.6
18	2,225.0	2,243.9	3,048.0	3,070.7	826.7	26.9
19	2,252.0	2,271.2	2,482.0	2,500.5	229.3	9.2
20	2,305.0	2,324.6	2,598.0	2,617.3	292.7	11.2
21	1,835.0	1,850.6	2,556.0	2,575.0	724.4	28.1
22	2,522.0	2,543.5	2,581.0	2,600.2	56.7	2.2
23	2,403.0	2,423.4	3,311.0	3,335.6	912.2	27.3
24	3,093.0	3,119.3	3,497.0	3,523.0	403.7	11.5
25	2,143.0	2,161.2	2,391.0	2,408.8	247.6	10.3
26	1,658.0	1,672.1	1,686.0	1,698.5	26.4	1.6
27	1,669.0	1,683.2	1,749.0	1,762.0	78.8	4.5
28	1,445.0	1,457.3	1,609.0	1,621.0	163.7	10.1
29	2,884.0	2,908.5	3,411.0	3,436.4	527.8	15.4
30	1,982.0	1,998.9	2,251.0	2,267.7	268.9	11.9
tot. 30	67,928.0	68,506.1	77,278.0	77,852.9	9,346.9	
gem. 1	2,264.3	2,283.5	2,575.9	2,595.1	311.6	11.1

**BIJLAGE II**

Overzicht kengetallen overige bronnen

**BIJLAGE III**

Benaderde partijen/organisaties/bedrijven voor informatie

### **Benaderde partijen/organisaties/bedrijven**

1. Bij verschillende fabrikanten is nagevraagd of er praktijkgegevens en/of berekeningen bekend waren van de besparing op het gasverbruik bij het toepassen van vloer- en bodemisolatie op de besparing:
  - Isover: geen gegevens beschikbaar.
  - Rockwool: geen gegevens beschikbaar.
  - Recticel Insulation: geen gegevens beschikbaar, de genoemde besparingsgetallen op de website zijn afkomstig van VROM.
  - Tonzon: twee praktijkprojecten voor handen waarbij in de praktijk het effect van alleen vloerisolatie is onderzocht.
2. Fraunhofer.  
Fraunhofer doet geen specifieke metingen naar de besparingseffecten van begane grondvloeren bij het toepassen van vloerisolatie. Wel zijn ze bezig met het opstellen van een berekeningsmethode voor energieverliezen door vloeren in verband met de invoering van de EPBD.
3. Energie Centrum Nederland.  
Geen praktijkgegevens beschikbaar.
4. Energie Advies Nederland.  
De genoemde besparingsgetallen op de website zijn afkomstig van Tonzon.
5. Milieu Centraal.
6. Bouwhulp.