

Rapport E.2006.0758.00.R001

Onderzoek mogelijkheid invoering EPC
voor woonwagens

Status: DEFINITIEF

Adviseurs voor bouw, industrie, verkeer, milieu en software

lid

info@dgmr.nl
www.dgmr.nl

Brugstraat 16, Postbus 153
NL-6800 AD Arnhem
T +31 (0)26 351 21 41
F +31 (0)26 443 58 36

Eisenhowerlaan 112, Postbus 82223
NL-2508 EE Den Haag
T +31 (0)70 350 39 99
F +31 (0)70 358 47 52

Morra 2i
NL-9204 KH Drachten
T +31 (0)512 52 23 24
F +31 (0)512 52 25 19

Prof. P. Willemsstraat 21-23
NL-6224 CC Maastricht
T +31 (0)43 362 36 54
F +31 (0)43 352 00 20



Colofon

Rapportnummer:	E.2006.0758.00.R001	
Plaats en datum:	Den Haag, 15 mei 2007	
Versie:	002	Status: DEFINITIEF
Opdrachtgever:	Ministerie van VROM Directoraat-Generaal Wonen/ Beleidsontwikkeling/ Bouwkwaliteit Postbus 30941 2500 GX DEN HAAG	
Contactpersoon: Telefoon: Fax: E-mail:		
Uitgevoerd door: Informatie: E-mail: Telefoon: Fax:		
Auteur(s):	/	
Eindverantwoordelijke:		
Secretariaat:	OZU	

©DGMR Bouw B.V. Alle rechten voorbehouden. Wilt u (delen van) dit rapport kopiëren of vermenigvuldigen, vraagt u dan schriftelijk toestemming daarvoor bij DGMR Bouw B.V.

Samenvatting

Momenteel wordt in het Bouwbesluit voor woonwagens een minimale thermische isolatie-index of warmteweerstand en warmtedoorgangscoefficiënt voorgeschreven. De thermische isolatie-index geldt alleen voor woonwagens. Dit betekent dat voor woonwagens nog geen EPC-prestatievoorschrift is opgenomen. In opdracht van VROM is door DGMR een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheid tot invoering van een EPC voor woonwagens als onderdeel van het wijzigingspakket 3 Bouwbesluit 2003.

Voor dit onderzoek is aan de hand van drie 'standaard' woonwagens die representatief zijn voor de huidige nieuwbouwpraktijk de energetische kwaliteit van de huidige woonwagens vastgesteld. In het Bouwbesluit wordt de NEN 5128 aangewezen als bepalingsmethode voor de energiestatistiek voor woonfuncties en woongebouwen. Gebleken is dat de NEN 5128 als bepalingsmethode en NPR 5129 als rekenprogramma in het algemeen ook goed toepasbaar zijn voor woonwagens. Bij een actualisatie van NEN 5128 in de toekomst zal rekening gehouden moeten worden met de specifieke aspecten die van toepassing zijn bij woonwagens (er van uitgaande dat een EPC-eis voor woonwagens wordt opgenomen in het Bouwbesluit)

Zo moeten kanttekeningen worden geplaatst ten aanzien van de berekening van het warmteverlies via de begane grondvloer van en het thermisch comfort in de woonwagens.

In de NEN 5128 wordt voor de berekening van het warmteverlies verwezen naar de NEN 1068. Gebleken is dat deze norm niet geschikt is om het warmteverlies ter plaatse van een (gering) verhoogde begane grondvloer te berekenen. In dit onderzoek zijn verschillende varianten voor de onderafzetting onderzocht. Omdat de berekening van het warmteverlies ter plaatse van een verhoogde begane grondvloer in deze norm onvoldoende wordt afgevangen, is in de berekening vooralsnog uitgegaan van de veilige/conservatieve benadering waarbij de verhoogde begane grondvloer grenst aan buitenlucht.

In de NEN 5128 wordt, bij afwezigheid van een koelinstallatie, via de post zomercomfort en met een indicatie voor oververhitting (TO_{juli}) aandacht gevraagd voor het thermisch comfort. Opvallend is dat ondanks het lichte bouwtype (hsb) en de afwezigheid van een buitenzonwering een laag tot matig risico op oververhitting voor de woonwagens wordt gegeven in de NEN 5128. Uit temperatuuroverschrijdingsberekeningen blijkt echter dat er, zoals verwacht, sprake is van relatief hoge binnentemperaturen in de woonwagen. Gesteld kan worden dat in de NEN 5128 het energiegebruik voor zomercomfort voor woonwagens wordt onderschat. In de praktijk zal het risico op oververhitting en daarmee de koelbehoefte groter zijn dan de norm aangeeft.

De technische belemmeringen van de NEN 5128 hebben betrekking op de verplaatsbaarheid van de woonwagens waardoor de oriëntatie kan wijzigen. Dit heeft effect op de EPC. Bij het vaststellen van een eventuele EPC-eis moet, om deze reden, worden uitgegaan van de meest ongunstige oriëntatie, immers als deze voldoet dan voldoen ook alle andere oriëntaties. Hierdoor kan energiezuinigheid van de woonwagens locatie-onafhankelijk worden bepaald.

Uit berekeningen blijkt dat voor de huidige nieuwbouwpraktijk de EPC voor woonwagens 1.35-1.50 bedraagt.

Het effect van verschillende maatregelen op de EPC is onderzocht. Op basis hiervan zijn twee maatregelenpakketten samengesteld om de EPC voor woonwagens te kunnen verlagen. Beide maatregelenpakketten zijn goed realiseerbaar en robuust.

Pakket 1 bestaat uit het isoleren van de dichte geveldelen tot een $R_c \geq 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$, het toepassen van zelfregelende roosters en een gelijkstroomventilator. Pakket 2 is een uitbreiding van pakket 1 waarbij de dichte geveldelen verder geïsoleerd worden tot een $R_c \geq 2.5 \text{ m}^2\text{K/W}$ (gelijk de eis met betrekking tot de warmteweerstand voor woonfuncties).

Een EPC van 0.8 zoals voor woonfuncties en woongebouwen geldt, is voor woonwagens niet realistisch. Verwacht wordt dat binnen de technische randvoorwaarden in eerste instantie een EPC-eis van 1.3 voor woonwagens goed te realiseren is. Ten opzichte van de huidige nieuwbouwpraktijk voor woonwagens is dit al een (geringe) aanscherping. Met behulp van maatregelenpakket 1 zullen de meeste woonwagens hieraan voldoen. De enkele woonwagen met een oriëntatie op het westen komt net boven de eis uit. Door het toepassen van een betere isolatie van het dak ($R_c \geq 2.5 \text{ m}^2\text{K/W}$) kan ook voor deze woonwagen een EPC-eis van 1.3 worden gerealiseerd.

Wanneer de EPC-eis voor woonwagens in het Bouwbesluit wordt opgenomen kan de I_c -index komen te vervallen. Wel verdient het aanbeveling om, net als voor woningen een vangnet-eis voor de warmteweerstand (R_c) op te nemen. Voornamelijk is er bij de berekening voor maatregelenpakket 1 van uitgegaan dat deze vangnet-eis op $2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ blijft staan.

In de toekomst is een aanscherping van de EPC-eis te realiseren door gebruik te maken van technieken die op dit moment voor woningen worden ontwikkeld.

Inhoudsopgave	Pagina
1. INLEIDING.....	7
2. INVENTARISATIE	8
2.1 Bouwbesluit 2003 en energiezuinigheid woonwagens	8
2.2 Woonwagengebouwers	8
2.2.1 Algemeen	8
2.2.2 Bouwvormen.....	9
2.2.3 Energiezuinigheid	9
2.3 Gemeenten.....	11
2.4 Overige partijen	11
2.5 Conclusies inventarisatie	12
2.5.1 Bouwvormen.....	12
2.5.2 Energiezuinigheid	12
2.5.3 Handhaving	13
3. GEHANTEERDE UITGANGSPUNTEN, KANTTEKENINGEN EN GESCHIKTHEID NEN 5128... 14	
3.1 Uitgangspunten EPC-berekening referentiewoonwagens (uitgangssituatie)	14
3.1.1 Modelling.....	14
3.1.2 Bouwkundig.....	14
3.1.3 Installatietechnisch	15
3.2 Kanttekeningen NEN 5128	16
3.2.1 Warmteverlies begane grondvloer.....	16
3.2.2 Thermisch comfort.....	17
3.2.3 Conclusies toepasbaarheid NEN 5128	18
3.2.4 Technische belemmeringen	19
3.2.5 Correctiefactor C _{epc}	20
4. HUIDIGE EPC VAN WOONWAGENS	20
5. REGELEFFECTSTUDIE.....	21
5.1 Maatregelen	21
5.1.1 Variant 1: verhogen warmteweerstand	21
5.1.2 Variant 2: oriëntatie.....	22
5.1.3 Variant 3: zelfregelende roosters.....	22
5.1.4 Variant 4: toepassen zonwering	23
5.1.5 Variant 5: toepassen vloerverwarming.....	23
5.1.6 Variant 6: toepassen gebalanceerde ventilatie.....	24
5.2 Maatregelenpakketten	24
5.3 Energiebesparing	25
5.3.1 Besparing uitgedrukt in euro's	26
5.3.2 Kosten maatregelen.....	26

5.3.3	Terugverdientijd.....	26
5.4	Binnenmilieu.....	27
5.5	Milieubelasting.....	28
5.6	Administratieve lasten.....	28
5.7	Conclusies regeleffectoets.....	29
6.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	30

Bijlage 1: Plattegronden, gevelaanzichten en details van de drie woonwagens

1. Inleiding

In opdracht van VROM is door DGMR Bouw B.V. een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheid tot invoering van een EPC-eis voor woonwagens als onderdeel van het wijzigingspakket 3 Bouwbesluit 2003.

Momenteel wordt in het Bouwbesluit 2003 voor woonwagens een minimale thermische isolatie-index of warmteweerstand voorgeschreven. Dit betekent dat voor woonwagens nog geen prestatievoorschrift is opgenomen. In dit onderzoek is onderzocht of het mogelijk is om voor nieuw te bouwen woonwagens ook een energieprestatie-eis voor te schrijven.

Voor dit onderzoek is in eerste instantie de energetische kwaliteit van de huidige nieuwbouwpraktijk van woonwagens vastgesteld. Op basis van deze inventarisatie is vervolgens onderzocht in hoeverre de NEN 5128 geschikt is om de EPC voor woonwagens te bepalen. Hiervoor is op basis van de huidige nieuwbouwpraktijk van woonwagens de EPC voor woonwagens vastgesteld en onderzocht wat het effect is van verschillende maatregelen. Tot slot is er een indicatie gegeven van de globale kosten en baten van de maatregelenpakketten.

2. Inventarisatie

In dit hoofdstuk worden de eerste resultaten van de inventarisatie van de huidige nieuwbouwpraktijk gegeven. Deze inventarisatie is uitgevoerd op basis van informatie die ontvangen is van verschillende woonwagenbouwers, gemeenten en een projectbureau.

2.1 Bouwbesluit 2003 en energiezuinigheid woonwagens

In het Bouwbesluit 2003 (hoofdstuk 5) worden de volgende eisen gesteld met betrekking tot de energiezuinigheid van woonwagens:

Thermische isolatie

Methode 1

- warmteweerstand dichte delen, $R_c \geq 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ en;
- warmtedoorgangscoefficiënt transparante delen en deuren, $U \leq 4.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ en;
- oppervlakte transparante delen en deuren $\leq 50\%$ van het gebruiksoppervlakte.

Methode 2

- thermische isolatie-index, $I_t \geq 8$.

Luchtdoorlatendheid

- luchtdoorlatendheid $q_{v,10;kar} \leq 200 \text{ dm}^3/\text{s}$ per 500 m^3 netto gebouwinhoud.

2.2 Woonwagenbouwers

Bij verschillende woonwagenbouwers (Donkervoort, Kraaijkamp, Tuinte mobi-home) zijn gegevens met betrekking tot de huidige nieuwbouwpraktijk van woonwagens opgevraagd. Hieronder wordt in het kort ingegaan op de gegevens met betrekking tot de energetische kwaliteit, de verschillende bouwvormen en de aantallen die gebouwd worden.

Opgemerkt wordt dat Donkervoort en Kraaijkamp zijn aangesloten bij de vereniging certificaathouders verplaatsbare woonruimten. Tezamen met de overheid (VROM) en de certificerende instelling BV Kwaliteitsverklaringen Bouw (BKB) is door deze vereniging een Nationale Beoordelingsrichtlijn (BRL 2101) ontwikkeld.

2.2.1 Algemeen

Donkervoort geeft aan circa 100 woonwagens per jaar te bouwen. Opdrachtgevers zijn met name woningbouwcorporaties en gemeenten, deze zijn wel steeds minder vaak opdrachtgever. Niet of nauwelijks particuliere opdrachtgevers, deze gaan vaker naar de niet-gecertificeerde bouwers. De woonwagens worden bijna altijd gebouwd volgens de minimale eisen van het Bouwbesluit/ niet meer dan Bouwbesluit-eis. Aangegeven wordt dat op verzoek beter dan Bouwbesluit-eis gebouwd kan worden.

Kraaijkamp geeft aan circa 35 tot 40 woonwagens per jaar te bouwen. Het betreft vervangende nieuwbouw, renovatie en uitbreiding van woonwagencentra. Opdrachtgevers zijn meestal gemeenten en woningbouwcorporaties. Niet of nauwelijks particuliere opdrachtgevers, deze gaan vaak naar de bouwers op de kampen zelf (niet-gecertificeerd).

Tuinte mobi-home geeft aan circa 25 tot 30 woonwagens per jaar te bouwen. Opdrachtgevers zijn gemeenten en woningbouwcorporaties, voorheen ook veel particuliere opdrachtgevers. Sinds deelname aan SEV onderzoek 'Meer wonen dan wagens' vooral veel voor gemeenten, woningbouwcorporaties of commerciële bureaus die gemeenten en woningbouwcorporaties vertegenwoordigen.

2.2.2 Bouwvormen

Donkervoort geeft aan dat er steeds meer vraag is naar dubbele woonwagens (breedte > 5 m, vanwege transport in twee delen te vervoeren) met een breedte van circa 6 of 7 m en een lengte variërend van circa 12 tot 16 m. Het betreft circa 75 tot 80% van de woonwagens die gebouwd worden. Circa 20 tot 25% betreft de enkele woonwagen met een breedte variërend van circa 3.5 tot 4.5 m en een lengte variërend van circa 12 tot 16 m. Het aantal gestapelde woonwagens, (tweelaags) is gering (circa 5%). De gestapelde woonwagen komt vrijwel alleen voor in de uitvoering van een dubbele woonwagen met afmetingen van (b x l) 6 x 12 m en een schuin dak.

De L-vormige woonwagens komen nauwelijks meer voor. Ook erkers komen nauwelijks meer voor. Koppelwagens, dit zijn enkele woonwagens met een zijaanbouw, komen ook weinig voor. Meestal wordt dan gekozen voor een dubbele woonwagen met een gunstiger prijs/ kwaliteit verhouding. Ook is deze woonwagen bouwtechnisch eenvoudiger en goedkoper.

Ook Kraaijkamp geeft aan dat er steeds meer vraag is naar dubbele woonwagens. Kraaijkamp krijgt vooralsnog geen verzoeken voor meerlaagse woonwagens.

2.2.3 Energiezuinigheid

Bouwkundig

In het KOMO-attest met productcertificaat van Donkervoort (nr. 20255/94 met wijzigingsblad 20255/01) en Kraaijkamp (nr. IKB1136/05) wordt met betrekking tot de energiezuinigheid aangegeven, dat niet wordt voldaan aan de eis met betrekking tot de warmteweerstand van de dichte delen ($R_c \geq 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$). Aan de thermische isolatie-index ($I_t > 8$) en de luchtdoorlatendheid $q_{v,10;kar} \leq 200 \text{ dm}^3/\text{s}$ per 500 m^3) voor de gehele woonwagen wordt echter wel voldaan. Hiermee wordt voldaan aan de eisen uit het Bouwbesluit.

Conform het attest bestaan de dichte geveldelen uit HSB-elementen met de volgende opbouw (van binnen naar buiten, maten uit attest Donkervoort):

- binnenbeplating, triplex met een dikte van 10 mm;
- dampremmende folie;
- houten stijl- en regelwerk, stijlen h.o.h. circa 400 mm (houtpercentage circa 12.5%) gevuld met minerale wol met een dikte van 90 mm;
- triplex met een dikte van 10 mm;
- waterkerende laag;
- gevelbekleding (eventueel op geventileerde spouw).

Op basis van bovenstaande gegevens bedraagt de warmteweerstand voor de gevel $R_c = 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$.

In de vloerconstructie wordt 120 mm minerale wol toegepast, hiermee wordt een $R_c \geq 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ gerealiseerd. In de dakconstructie wordt 30 mm PUR ($\lambda \leq 0.027 \text{ W/mK}$) toegepast, de warmteweerstand van het dak zal $R_c \leq 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ zijn.

Aangegeven wordt dat wel wordt voldaan aan de thermische isolatie-index ($I_t \geq 8$).

Door Donkervoort wordt aangegeven dat standaard dubbelglas wordt toegepast. Op verzoek kan HR⁺⁺-beglazing worden toegepast. Een zonwering is geen standaard maatregel. Op verzoek is het mogelijk een zonwering toe te passen. Dit vraagt wel een verzwaring van de constructie. Wanneer een 'zonwering' wordt toegepast is dit meestal in de vorm van rolluiken.

Kraaijkamp geeft aan in de gevel 100 mm minerale wol toe te passen. Bij een warm dak wordt in de dakconstructie 40 mm PU (thermisch gelijk aan 70 mm minerale wol) toegepast, bij een koud dak wordt 120 mm minerale wol toegepast. De ervaring is dat standaard wordt uitgegaan van de minimale eisen uit het Bouwbesluit. Indien gewenst, is extra isolatie mogelijk. Hier is momenteel (nog) nauwelijks vraag naar. Aangegeven wordt dat extra isolatie in de toekomst wellicht standaard toegepast zal worden.

Voor beglazing wordt uitgegaan van HR⁺⁺-beglazing met kunststof kozijnen (95%).

Tuinte mobi-home geeft aan te voldoen aan zowel de eis met betrekking tot de warmteweerstand van de dichte delen ($R_c \geq 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$) als aan de eis met betrekking tot de thermische isolatie-index ($I_t > 8$).

In opdracht van gemeente Enschede wordt momenteel gewerkt aan een project waarbij voor de warmteweerstand een R_c van $2.5 \text{ m}^2\text{K/W}$ wordt toegepast. Voor de thermische isolatie in de gevel en het dak wordt 120 mm (in plaats van 90 mm) minerale wol toegepast. In de vloerconstructie wordt $2 \times 90 \text{ mm}$ minerale wol toegepast. Voor de beglazing in dit project wordt uitgegaan van HR⁺⁺-beglazing.

Door de bouwers wordt aangegeven dat de onderafzetting ('plint') niet geïsoleerd is. Dit blijkt ook uit de toegezonden tekeningen.

Installatietechnisch

Als installatieconcept (combinatie van verwarmen en ventileren) geven alle woonwagenbouwers aan dat er standaard een HR-combiketel met ventilatieroosters wordt toegepast. Indien leidingen onder de vloer zijn opgenomen dan zijn deze geïsoleerd.

Door Donkervoort wordt aangegeven dat de gasmeter meestal in de sanitaire unit buiten de woonwagen is geplaatst.

Kraaijkamp geeft aan dat in een lopend project voor de gemeente Zwolle gebalanceerde ventilatie (mechanische toe- en afvoer) toegepast zal worden.

In dit project is (nog) geen warmteterugwinning voorzien. Naar verwachting zal dit nog wel toegepast gaan worden. De ventilatiekanalen zijn voorzien in de spantconstructie boven het plafond. Ook wordt in dit project uitgegaan van een verhoogde thermische isolatie.

2.3 Gemeenten

Naast de woonwagenbouwers is ook contact opgenomen met een aantal gemeenten om inzicht te krijgen in de wijze waarop de energiezuinigheid van woonwagens gehandhaafd wordt. Uit de van de gemeente Zeist en Utrecht ontvangen stukken voor de bouwaanvraag blijkt, dat niet of nauwelijks aandacht wordt geschonken aan de energiezuinigheid van de woonwagens. Eén van de gemeenten stelt ook vraagtekens bij het nut van dit voorliggende onderzoek. Aangegeven wordt dat de praktijk uitwijst dat veel woonwagens in eigen beheer gebouwd worden en dat de bewoners eigenzinnig zijn in hun bouwwijze.

Door de gemeente Enschede wordt een project bestaande uit 20 woonwagens (vervangende nieuwbouw) gerealiseerd. Voor de thermische isolatie is als eis $R_c \geq 2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ gesteld. Na realisatie draagt de gemeente de woonwagens over aan een woningbouwcorporatie, die als eigenaar/beheerder zal optreden. Door de gemeente is aangegeven dat er ook toezicht wordt gehouden op de bouwplaats.

In de gemeente Den Haag staan ongeveer 300 woonwagens, 10% daarvan is gemeentelijk bezit en wordt verhuurd, de rest van de woonwagens is eigendom van de bewoner. Door de gemeente wordt aangegeven dat er in het verleden onvoldoende werd gehandhaafd, waardoor de afdeling woonwageng zaken geconfronteerd wordt met 90% illegale bouw. Er wordt nu aangeschreven en wanneer de woonwagen voldoet aan de eisen vindt achteraf een legalisatie plaats.

Voor de bouwvergunningen die achteraf worden aangevraagd, staat op tekening een warmteweerstand $R_c \geq 2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$, HR⁺⁺-glas en ventilatie conform NEN 1087 aangegeven. Het is niet mogelijk om dit achteraf te controleren zonder een deel van de woonwagen te slopen. De controle op de standplaats beperkt zich tot de afmetingen van de woonwagen.

Wie de woonwagen bouwt is vaak niet bekend, aangegeven wordt dat deze wordt overgenomen van een ander of dat deze via internet wordt gekocht. Dit kan beschouwd worden als een bestaande woonwagen. Wanneer het om nieuwbouw gaat, wordt de standaard woonwagen/ basis bij één van de woonwagenbouwers gekocht. Hier worden vervolgens uit- en aanbouwen op gerealiseerd. Ook dit kan beschouwd worden als een bestaande woonwagen.

Door de gemeente wordt aangegeven dat de woonwagens in het algemeen redelijk geïsoleerd zijn, voorzien zijn van dubbel glas of HR⁺⁺-glas. Extra aandacht voor energiezuinigheid is er niet, aangegeven wordt dat dit niet leeft bij de mensen.

2.4 Overige partijen

Projectbureau Woonwagens Leiden (PWL) is in opdracht van de gemeente Leiden bezig met vervangende nieuwbouw van een aantal woonwagens. Het kamp Trekvaartplein bestaat uit 137 woonwagens. Het grootste deel is particulier eigendom. De gemeente is eigenaar van 15 woonwagens. Hiervoor is vervangende nieuwbouw voorzien. Ook streeft de gemeente er naar om de eigenaars uit te kopen om die woonwagens ook te vervangen door nieuwe woonwagens. Na reconstructie draagt de gemeente de woonwagens over aan een woningbouwcorporatie. Met deze corporatie zijn afspraken (convenant afgesloten) gemaakt over de kwaliteit van de nieuwe woonwagens.

Met betrekking tot de energiezuinigheid wordt aangegeven dat hier extra eisen gesteld zullen worden in de vorm van een EPC-eis. Deze eis zal in overleg met de bouwers (Donkervoort en Kraaijkamp als marktleiders) worden vastgesteld.

Met betrekking tot de installaties wordt door PWL aangegeven dat bewoners bij voorkeur de CV-ketel geplaatst willen hebben in een aparte berging. Via leidingen in de grond wordt de warmte naar de woning getransporteerd. Deze voorkeur komt volgens PWL voort uit de angst voor gas/ koolmonoxidevergiftiging in de woning. Ook wordt aangegeven dat bewoners voorkeur hebben voor heteluchtverwarming. In de praktijk blijkt echter dat bij nieuwbouw heteluchtverwarming niet wordt toegepast omdat heteluchtverwarming vanwege het benodigde kanalsysteem relatief duur is. Ook is bij heteluchtverwarming vaak nog een geiser noodzakelijk voor het warmwater.

Wanneer gemeenten of woningbouwcorporaties betrokken zijn, wordt gekozen voor het toepassen van HR-combiketels. Door PWL wordt aanbevolen gebruik te maken van de mogelijkheid tot huur van deze ketels. Met deze constructie kan het beheer en onderhoud van de ketels goed geregeld worden.

Door PWL wordt ook aangegeven dat achteraf door de bewoners vaak een airco in de woonwagen wordt geplaatst. Standaard zit deze niet in de woonwagen.

2.5 Conclusies inventarisatie

Uit de inventarisatie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

2.5.1 Bouwvormen

- de meest voorkomende nieuw gebouwde woonwagens zijn de enkele en de dubbele woonwagens met verblijfsruimten op één laag;
- meerlaagse woonwagens met twee lagen verblijfsruimten komen (nog) niet veel voor, wel wordt aangegeven dat hier steeds meer vraag naar is;
- L-vormige woonwagens worden nauwelijks meer gebouwd. Meestal wordt dan gekozen voor een dubbele woonwagen met een gunstigere prijs/ kwaliteit verhouding. Ook is deze woonwagen bouwtechnisch eenvoudiger en goedkoper.

2.5.2 Energiezuinigheid

- met betrekking tot de energiezuinigheid wordt standaard uitgegaan van de eisen uit het Bouwbesluit ($R_c \geq 2 \text{ m}^2\text{K/W}$ of $I_t \geq 8$). Op verzoek is het mogelijk een verhoogde thermische isolatie toe te passen;
- de bouwwijze is houtskeletbouw (hsb) met dubbel of HR⁺⁺-beglazing in houten of kunststof kozijnen;
- standaard is er geen zonwering voorzien, op verzoek is het mogelijk een zonwering toe te passen;
- voor verwarming en warmtapwater wordt een HR-combiketel in of bij de woonwagen geplaatst;

- voor ventilatie wordt uitgegaan van natuurlijke toevoer via roosters in de gevel en mechanische afvoer;
- standaard is er geen koeling aanwezig, wel wordt er door bewoners achteraf vaak een airco geplaatst;
- omdat de woonwagens geprefabriceerd worden, is het mogelijk een zorgvuldige detaillering en uitvoering te realiseren;
- de woonwagenbouwers staan niet afwijzend tegenover het invoeren van een EPC-eis voor woonwagens. Bij gemeenten zijn zowel voor- als tegenstanders voor het invoeren van een EPC-eis voor woonwagens.

2.5.3 Handhaving

- uit de ontvangen bouwaanvraagstukken blijkt dat er niet of nauwelijks aandacht wordt besteed aan de energiezuinigheid;
- ook aan de handhaving op de bouwplaats wordt niet veel aandacht besteed. Omdat het grootste deel van de bouw plaats vindt in de fabriek is het ook de vraag in hoeverre dit noodzakelijk is. Daarnaast mag er van uitgegaan worden dat voor de woonwagens die gebouwd worden volgens de KOMO-attesten, er sprake is van voldoende kwaliteitsborging.

3. Gehanteerde uitgangspunten, kanttekeningen en geschiktheid NEN 5128

Op basis van de resultaten van de inventarisatie is onderzocht of de NEN 5128 geschikt is als bepalingsmethode voor de energiezuinigheid van woonwagens. Hiervoor zijn de drie verschillende uitvoeringen van woonwagens ingevoerd in de NPR 5129 V2.02.

Het betreft de volgende uitvoeringen van woonwagens (referentiewoonwagens):

- A. enkele woonwagen
afmetingen (l x b) 15 x 4.3 m
verhouding gebruiksoppervlakte/verliesoppervlakte (A_g/A_v) = 0.28;
- B. dubbele woonwagen
afmetingen (l x b) 16 x 6 m
verhouding gebruiksoppervlakte/verliesoppervlakte (A_g/A_v) = 0.30;
- C. dubbele woonwagen meerlaags
afmetingen (l x b) 12 x 6 m
verhouding gebruiksoppervlakte/verliesoppervlakte (A_g/A_v) = 0.42.

Opgemerkt wordt dat de lengte- en breedtematen van woonwagens in praktijk kunnen afwijken. Het effect hiervan op de EPC is nihil.

Uit de verhouding gebruiksoppervlakte/verliesoppervlakte blijkt dat het verliesoppervlak relatief groot is in verhouding tot het gebruiksoppervlak. Reden hiervoor is dat de (gering verhoogde) begane grondvloer volledig mee wordt genomen in de bepaling van het verliesoppervlak. Een woonwagen zal dan ook in vergelijking tot een grondgebonden woning relatief veel energie gebruiken voor verwarming.

In de bijlage zijn de plattegronden, gevelaanzichten en details van deze drie referentiewoonwagens opgenomen.

3.1 Uitgangspunten EPC-berekening referentiewoonwagens (uitgangssituatie)

3.1.1 Modelling

De referentiewoonwagens bestaan uit één of twee verdiepingen. Voor de EPC-berekening is elke verdieping als één verwarmde zone gemodelleerd, conform NEN 5128.

De thermische schil loopt over de uitwendige scheidingsconstructie.

Voor de oriëntatie is uitgegaan van de gevel met de voordeur op het westen.

3.1.2 Bouwkundig

Bij de dichte constructiedelen van de referentiewoonwagens zijn de oppervlakten van de verschillende scheidingsconstructies bepaald conform NEN 1068:2001/A3:2004.

Voor alle dichte delen is uitgegaan van:

- dichte geveldelen (hsb met 90 mm minerale wol): warmteweerstand $R_c = 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- begane grondvloer (hsb met 120 mm minerale wol): $R_c = 2.5 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- dak (dakplaten 30 mm PUR): $R_c = 1.2 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Alhoewel de R_c van het dak kleiner dan $2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ is, wordt toch voldaan aan de eisen uit het Bouwbesluit omdat de thermische isolatie-index, $I_t \geq 8$.

Voor alle gevelopeningen (ramen en deuren) is uitgegaan van:

- warmtedoorgangscoefficiënt van de ramen $U_{\text{raam}} \leq 1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (houten of kunststof kozijnen met HR⁺⁺-glas met U_{glas} maximaal $1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- zontoetredingsfactor ZTA $\geq 60\%$;
- warmtedoorgangscoefficiënt van de ongeïsoleerde (houten) deuren $U_{\text{deur}} = 3.4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Met betrekking tot de transmissieverliezen is uitgegaan van de uitgebreide methode voor de lineaire koudebruggen. Daarbij is uitgegaan van de SBR details voor houtskeletbouw. De detaillering van de woonwagens is niet identiek aan de SBR-detaillering. In de SBR-details wordt meer isolatiemateriaal toegepast dan bij de woonwagens het geval is. Daar staat tegenover dat de meeste woonwagens onder geconditioneerde omstandigheden in een fabriek worden gebouwd en daardoor een goede afwerking kunnen bereiken. Voor de zekerheid is met een toeslag van 25% bovenop de rekenwaardes uit de SBR details gerekend.

Bij de bouw van woonwagens wordt veel gebruik gemaakt van 'standaard' details. Overwogen zou kunnen worden koudebrugberekeningen uit te voeren om zo het warmteverlies van de woonwagens nauwkeurig te berekenen. Omdat de thermische isolatie van de woonwagens relatief gering is, zal het goed isoleren van de koudebruggen een relatief groot (gunstig) effect hebben.

Voor de infiltratie (ongewenste natuurlijke luchttoevoer) is uitgegaan van $q_{v,10} = 1.00 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 gebruiksoppervlakte. Overeenkomstig de richtwaarde zoals gegeven bij natuurlijke toe- en mechanische afvoer. Dit betekent wel dat de woonwagens goed luchtdicht moet zijn uitgevoerd. Omdat woonwagens onder geconditioneerde omstandigheden worden gebouwd zal dit naar verwachting gerealiseerd kunnen worden.

Met het oog op zomercomfort is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:

- geen buitenzonwering;
- gebouwmassa: volledig houtskeletbouw.

3.1.3 Installatietechnisch

Verwarming en tapwater

Voor verwarming en warm tapwater is uitgegaan van een HR-combiketel met radiatorenverwarming. Voor het tapwater is in eerste instantie uitgegaan van HR_{ww} en CW-klasse 3.

Er is uitgegaan van de werkelijke leidinglengten voor de afstand van de ketel tot het tappunt voor bad en aanrecht.

Ventilatie

Voor ventilatie is uitgegaan van mechanische afzuiging (natuurlijke toe- en mechanische afvoer), waarbij lucht wordt toegevoerd via ventilatieroosters in de gevel. De ventilatorenenergie is bepaald volgens de forfaitaire methode uit NEN 5128, waarbij is uitgegaan van wisselstroomventilatoren.

Verlichting

Ten aanzien van verlichting is de forfaitaire berekeningsmethode uit de norm aangehouden, waarbij van een vast energiegebruik per m² wordt uitgegaan.

3.2 Kanttekeningen NEN 5128

3.2.1 Warmteverlies begane grondvloer

De NEN 1068 waarin de warmteverliesberekening beschreven staat, bevat geen rekenmethodiek die specifiek toegespitst is op woonwagens. Het warmteverlies via de begane grondvloer van een woonwagen moet op dit moment dus bij benadering berekend worden.

Hiervoor zijn drie opties:

1. buitenlucht;
2. onverwarmde ruimte (AOR);
3. kruipruimte.

1. Buitenlucht

Door de bouwers is aangegeven dat de onderafzetting ('plint') niet geïsoleerd is. Voor het warmteverlies via de begane grond is in eerste instantie uitgegaan van warmteverlies naar de buitenlucht. Dit is fysisch niet helemaal correct. De ruimte onder de begane grondvloer is niet geïsoleerd maar betreft wel een afgesloten ruimte. De ruimte onder de woonwagens als 'buiten' aanmerken is dus een veilige benadering.

2. Aangrenzend onverwarmde ruimte (AOR)

Onderzocht is wat het effect op de EPC is wanneer deze ruimte als aangrenzend onverwarmde ruimte wordt beschouwd, waarbij de ruimte onder de woonwagen nauwelijks geïsoleerd is. Opgemerkt wordt dat de koudebruggen van de aangrenzende onverwarmde ruimte buiten beschouwing zijn gelaten. Vanwege het ontbreken van isolatie zal het effect van deze koudebruggen verwaarloosbaar zijn. Vraag is of de onderafzetting als aangrenzende onverwarmde ruimte (buffer) beschouwd mag worden.

Wanneer de onderafzetting als AOR (in plaats van buiten) wordt beschouwd geeft dit een verbetering van de EPC van circa 0.04.

3. Kruipruimte

Ook is onderzocht wat het effect is als de ruimte onder de woonwagen als kruipruimte wordt beschouwd. Vraag is wel of deze ruimte (boven het maaiveld) als kruipruimte beschouwd kan worden. Opgemerkt wordt dat bij de berekening van de lineaire koudebruggen ter plaatse van de begane grondvloer het positieve effect van het grondpakket buiten beschouwing is gelaten

($\psi;gr = 0.001 \text{ W/mK}$). Ook is er van uitgegaan dat de kruipruimte niet geventileerd wordt ($Eps = 0.0001 \text{ m}^2/\text{m}$).

Wanneer de onderafzetting als kruipruimte (in plaats van als AOR) wordt beschouwd dan geeft dit een verdere verbetering van de EPC van circa 0.04.

De onderafzetting als kruipruimte beschouwen in plaats van als AOR is dus gunstiger voor de EPC. De reden hiervoor is dat wanneer de onderafzetting als kruipruimte wordt beschouwd het positieve effect van het grondpakket op het warmteverlies van de begane grondvloer wel wordt meegenomen. Dit is niet het geval bij de onderafzetting als AOR.

Opgemerkt wordt dat het ventileren van de onderafzetting, beschouwd als kruipruimte, een relatief groot effect heeft op de EPC. Wanneer voor de ventilatie van de onderafzetting wordt uitgegaan van $Eps = 0.0012 \text{ m}^2/\text{m}$ (standaardwaarde NEN 1068) dan neemt de EPC met circa 0.04 toe. Hiermee wordt het 'gunstige' effect van het beschouwen van de onderafzetting als kruipruimte volledig teniet gedaan.

Door de woonwagenbouwers wordt aangegeven dat de onderafzetting gering geventileerd wordt vanwege mogelijk vocht in deze ruimte. Opgemerkt wordt dat wanneer de bodem van de woonwagen voldoende lucht- en vochtdicht is deze ventilatie niet noodzakelijk is.

Isoleren AOR

Onderzocht is wat het effect is als de onderafzetting, beschouwd als AOR, geïsoleerd wordt. Voor de isolatie van de onderafzetting is uitgegaan van een R_c van $2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$. In eerste instantie is alleen de plint geïsoleerd.

Wanneer de onderafzetting als AOR wordt beschouwd, geeft het isoleren van de plint een verbetering van de EPC van circa 0.02 (ten opzichte van een ongeïsoleerde AOR).

Het effect van het aanbrengen van isolatie ($R_c = 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$) op de vloer van de onderafzetting heeft een verwaarloosbaar effect op de EPC. In verband met de verplaatsbaarheid van de woonwagens is het ook de vraag in hoeverre dit mogelijk/gewenst is.

Conclusie

De onderafzetting beschouwd als buitenlucht geeft een veilige conservatieve inschatting. Het verdient aanbeveling om in de toekomst NEN 1068 op dit specifieke punt aan te passen.

3.2.2 Thermisch comfort

In de NEN 5128 wordt op basis van de koelbehoefte in de maand juli (TO_{juli}) een indicatie gegeven van het risico op oververhitting.

Opvallend is dat op basis van de genoemde uitgangspunten voor alle woonwagens een laag tot matig risico op oververhitting wordt gegeven.

Vanwege het lichte bouwtype (hsb) en de afwezigheid van een buitenzonwering zou een grotere kans op oververhitting verwacht worden. Echter door de relatief geringe isolatie is het warmteverlies ook in de zomer relatief groot waardoor in de EPC-berekening een geringere kans op oververhitting wordt gegeven. Wanneer de thermische isolatie van het dak verhoogd wordt, heeft dit weliswaar een gunstig effect op de EPC maar wordt in het rekenprogramma aangegeven dat het risico op oververhitting ook toeneemt. Het verhogen van de thermische isolatie van het dak werkt dan als belemmering voor het afvoeren van warmte uit de woonwagen. Vraag is in hoeverre de koelbehoefte die in de NEN 5128 wordt berekend realistisch is. Door PWL is ook aangegeven dat bewoners achteraf vaak een airco plaatsen in de woonwagen.

Omdat de EPC-berekening slechts een indicatie geeft en niet zozeer bedoeld is om de kans op oververhitting te berekenen, is dit nader onderzocht met behulp van het programma VA114. Dit is een Vabi-rekenprogramma waarmee temperatuuroverschrijdingsberekeningen worden gemaakt. Uit deze berekening blijkt dat er onafhankelijk van de thermische isolatie van het dak, zoals verwacht, sprake is van relatief hoge binnentemperaturen in de woonwagen.

Conclusie

Gesteld kan worden dat de indicatie voor oververhitting in de EPC-berekening voor woonwagens niet realistisch is en dat de koelbehoefte wordt onderschat. Op basis van deze koelbehoefte wordt, bij afwezigheid van een koelinstallatie, een fictief energiegebruik voor zomercomfort berekend. Een te laag berekend energiegebruik voor zomercomfort leidt tot een lagere EPC.

Bij een volgende wijziging van de norm wordt aanbevolen de zomercomfortberekening specifiek voor woonwagens te herzien.

3.2.3 Conclusies toepasbaarheid NEN 5128

De NEN 5128 als bepalingsmethode en NPR 5129 als rekenprogramma is in het algemeen goed toepasbaar voor woonwagens.

Wat betreft de modellering zal een woonwagen bijna altijd (met uitzondering van de meerlaagse woonwagens) als een één zone model worden gemodelleerd. In het kader van de energiezuinigheid en vanwege de 'standaard' detaillering is het bouwkundig aan te bevelen om uit te gaan van de uitgebreide methode voor de berekening van het transmissieverlies voor lineaire koudebruggen. Overwogen zou kunnen worden koudebrugberekeningen uit te voeren om zo het warmteverlies van de woonwagens nauwkeurig te berekenen. Omdat de thermische isolatie van de woonwagens relatief gering is, zal het goed isoleren van de koudebruggen een relatief groot (gunstig) effect hebben.

Installatietechnisch wordt er 'standaard' uitgegaan van een eenvoudige installatie, natuurlijke toename mechanische afvoer in combinatie met een combiketel voor verwarming (met radiatoren) en warmtapwater. Dit alles levert geen problemen bij toepassing van de NEN 5128 voor woonwagens.

Aandachtspunten zijn wel de berekening van het warmteverlies via de begane grondvloer en het thermisch comfort.

- *warmteverlies begane grondvloer*: de NEN 1068 is niet geschikt om het warmteverlies ter plaatse van een (gering) verhoogde begane grondvloer te berekenen. In dit onderzoek zijn verschillende varianten voor de onderafzetting onderzocht (zie 3.2.1). Omdat dit in de norm onvoldoende is afgevangen, wordt in dit onderzoek vooralsnog uitgegaan van de veilige/conservatieve benadering waarbij de verhoogde begane grondvloer grenst aan buitenlucht. Bij een actualisatie van NEN 1068 moet dit aspect meegenomen worden;
- *oververhitting*: de indicatie voor oververhitting in de EPC-berekening lijkt niet realistisch voor woonwagens. Het risico op oververhitting is groter dan de norm aangeeft, achteraf wordt er door bewoners ook vaak een airco geplaatst. In de NEN 5128 wordt de koelbehoefte voor woonwagens onderschat. Bij een actualisatie van NEN 5128 moet dit aspect naar onze mening meegenomen worden.

3.2.4 Technische belemmeringen

De technische belemmeringen ten aanzien van het stellen van een EPC-eis voor woonwagens hebben onder andere betrekking op de verplaatsbaarheid van de woonwagens.

Bij het verplaatsen van een woonwagen is sprake van bestaande bouw, hiervoor geldt geen EPC-eis. Wel geldt in dat geval altijd het reeds verkregen niveau als ondergrens. Dat betekent dat als een woonwagen moet voldoen aan een EPC-eis, ook na verplaatsing nog voldaan moet worden aan deze EPC-eis.

- *oriëntatie*: wanneer een woonwagen wordt verplaatst, kan de oriëntatie wijzigen (effect op de EPC verslechtering van 0.01 tot 0.05). In dit onderzoek wordt verder uitgegaan van de meest ongunstige oriëntatie, immers als deze voldoet dan voldoet ook alle andere oriëntaties. Hierdoor kan energiezuinigheid van de woonwagen locatieafhankelijk worden bepaald;
- *zonwering*: het toepassen van zonwering zou een goede maatregel kunnen zijn ter verbetering van de EPC. Het effect van zonwering kan afhankelijk zijn van de oriëntatie van de woonwagen. De enkele en de dubbele woonwagen die als referentie in dit onderzoek zijn gebruikt laten dit echter niet zien (de verbetering van de EPC is voor alle oriëntaties ongeveer gelijk), de dubbele woonwagen met meerdere lagen wel. In dit onderzoek wordt verder uitgegaan van de meest ongunstige situatie, zonder zonwering. Hierdoor kan de energiezuinigheid van alle woonwagens locatieafhankelijk worden bepaald. Daarbij wordt ook opgemerkt dat voor het toepassen van een zonwering een verzwaring van de constructie nodig is;
- *installatieconcept*: wanneer een woonwagen wordt verplaatst zou het installatieconcept (HR combi naar bijvoorbeeld aansluiting op stadsverwarmingsnet) kunnen wijzigen. Vraag is in hoeverre dit voorkomt en als dit het geval is, hoe hiermee omgegaan dient te worden. Voorgesteld wordt om bij de vaststelling van de EPC-eis uit te gaan van de 'standaard' installatie, een HR combiketel. Wanneer gerekend wordt met de uitgebreide methode voor het systeemrendement heeft stadsverwarming (externe warmtelevering) ten opzichte van een HR combiketel een gunstig effect op de EPC. Daarnaast is de mogelijkheid om stadsverwarming toe te passen afhankelijk van de locatie.

Een andere beperking betreft het verder isoleren van de gevels van een woonwagen. Wanneer de gevels van een woonwagen beter geïsoleerd worden dan momenteel standaard dan betekent dit dat de gebruiksoppervlakte afneemt. Een woonwagen wordt zo ontworpen dat deze nog net over de weg vervoerd kan worden. Het is dus niet mogelijk om bij een verhoging van de isolatiedikte naar 'buiten' toe te groeien. Ter indicatie: een verhoging van de R_c van 2.0 naar 2.5 levert een circa 1 m² kleinere woonwagen. Alternatief is andere isolatiematerialen toe te passen die een betere lambda-waarde hebben.

3.2.5 Correctiefactor C_{epc}

In de NEN 5128 is de correctiefactor C_{epc} opgenomen. Deze correctiefactor zorgt er voor dat bij een normverandering *gemiddeld* de nieuwe EPC gelijk blijft aan de huidige EPC. Bij de vaststelling van de laatste normherziening is uitgegaan van een woonfunctie met buitenzonwering en het bouwtype traditioneel/ gemengd zwaar. Zowel de buitenzonwering als het bouwtype traditioneel/ gemengd zwaar zijn niet van toepassing op de 'standaard' woonwagen. Indien een EPC-eis voor woonwagens verplicht wordt gesteld op basis van de huidige NEN 5128 dan moet bij een volgende wijziging van de norm ook rekening gehouden worden met de karakteristieken van een standaard woonwagen bij het vaststellen van de correctiefactor C_{epc}.

4. Huidige EPC van woonwagens

In hoofdstuk 3.1 zijn de bouwkundige en installatietechnische uitgangspunten met betrekking tot de energetische kwaliteit van de huidige nieuwbouwpraktijk van woonwagens beschreven. Op basis van deze uitgangspunten is de EPC voor de verschillende uitvoeringen van de referentiewoonwagens met NPR 5129 V2.02 berekend. Voor de volledigheid is ook de jaarlijkse CO₂-emissie gegeven.

Tabel 1

EPC voor huidige referentiewoonwagens

uitvoering woonwagen	A _g /A _v	EPC	CO ₂ -emissie [kg/ jaar]
A. enkele woonwagen	0.28	1.49	3012
B. dubbele woonwagen	0.30	1.45	4347
C. dubbele woonwagen, meerlaags	0.42	1.34	4515

De EPC voor een op basis van de huidige nieuwbouwpraktijk 'standaard' woonwagen bedraagt circa 1.35 -1.50.

5. Regeleffectstudie

Op basis van de huidige nieuwbouwpraktijk bedraagt de EPC voor woonwagens 1.35-1.50. Er zijn nog maatregelen mogelijk om de EPC te verbeteren. Om een indicatie te geven van de mogelijkheden is aan de hand van een aantal maatregelen het effect op de EPC bepaald. Met deze maatregelen zijn vervolgens een tweetal maatregelenpakketten samengesteld. Voor deze maatregelenpakketten zijn de kosten en baten bepaald.

Nadrukkelijk wordt opgemerkt dat het hier gaat om een eerste indicatie, dit betekent dat de kosten globaal zijn ingeschat. Voor de overige aspecten uit de regeleffecttoets is een globale beoordeling gegeven.

5.1 Maatregelen

5.1.1 Variant 1: verhogen warmteweerstand

$$R_c \geq 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$$

In het Bouwbesluit wordt voor de warmteweerstand van de dichte delen van een woonwagen een $R_c \geq 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ gesteld. Op basis van de door een aantal woonwagenbouwers aangegeven dakopbouw wordt hier niet aan voldaan. Omdat in de KOMO-attesten aangegeven wordt dat wordt voldaan aan de thermische isolatie index, $I_t \geq 8$, moet worden aangenomen dat wordt voldaan aan de eisen met betrekking tot de energiezuinigheid uit het Bouwbesluit.

Onderzocht is wat het effect op de EPC is wanneer voor alle dichte delen een $R_c \geq 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ wordt toegepast. Dit betekent een verhoging van de R_c van het dak.

Tabel 2

EPC bij R_c dak 2.0 m²K/W

uitvoering woonwagen	EPC
A. enkele woonwagen	1.36
B. dubbele woonwagen	1.32
C. dubbele woonwagen, meerlaags	1.21

Uit de tabel blijkt dat het verhogen van de R_c van het dak naar 2.0 m²K/W een verbetering van de EPC van circa 0.12 geeft.

De huidige eis in het Bouwbesluit voor de thermische isolatie is een $R_c \geq 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ of een $I_t \geq 8$. Wanneer een EPC-eis voor woonwagens wordt ingevoerd, is het waarschijnlijk dat de eis wordt beperkt tot een $R_c \geq 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ voor alle dichte delen en dat de I_t -eis komt te vervallen. Daarom is deze variant als basis gebruikt voor de berekeningen van de varianten 2 t/m 6.

R_c ≥ 2.5 m²K/W

In het Bouwbesluit wordt voor de warmteweerstand van de dichte delen van een woonfunctie of woongebouw een $R_c \geq 2.5 \text{ m}^2\text{K/W}$ gesteld. Onderzocht is wat het effect op de EPC is wanneer voor alle dichte delen een $R_c \geq 2.5 \text{ m}^2\text{K/W}$ wordt toegepast. Dit betekent een verhoging van de R_c van de gevels en het dak wat neerkomt op circa 120 mm minerale wol in de gevel en dak.

Het verhogen van de R_c van 2.0 naar $2.5 \text{ m}^2\text{K/W}$ geeft een verbetering van de EPC van circa 0.08.

Opgemerkt wordt dat het verhogen van de R_c een dikkere isolatielaag geeft. In verband met transport liggen de buitenmaten van een woonwagen vast. Dit betekent ruimteverlies in de woonwagen. Bij een R_c van $2.5 \text{ m}^2\text{K/W}$ in de gevel betekent dit een verlies van ruim 1 m^2 , bij een R_c -waarde van $3.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ in de gevel betekent dit een verlies van circa 2 m^2 . Dit is natuurlijk ook afhankelijk van de thermische kwaliteit (lambda-waarde) van het isolatiemateriaal.

Ramen

In de berekening wordt uitgegaan van HR⁺⁺-beglazing. Toepassen van normaal dubbelglas ($U_{\text{glas}} = 2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$) in plaats van HR⁺⁺-glas ($U_{\text{glas}} = 1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$) geeft een verslechtering van de EPC van circa 0.10.

Koudebruggen

Met betrekking tot transmissieverliezen wordt uitgegaan van de uitgebreide methode voor de lineaire koudebruggen. Ten opzichte van de forfaitaire methode geeft de uitgebreide methode voor de lineaire koudebruggen een verbetering van de EPC van circa 0.06. Wanneer het effect van de lineaire koudebruggen helemaal verwaarloosd wordt (rekenen met de uitgebreide methode zonder koudebruggen in te voeren) is het effect op de EPC circa 0.10. Naar verwachting zal het effect van het nauwkeurig berekenen van de koudebruggen circa 0.08 bedragen.

5.1.2 Variant 2: oriëntatie

In eerste instantie is er voor de oriëntatie van uitgegaan dat de gevel met de voordeur op het westen ligt. Voor de EPC is dit de meest ongunstige oriëntatie. De meest gunstige oriëntatie is wanneer de gevel met de voordeur op het zuiden is georiënteerd, dit geeft een verbetering van de EPC van circa 0.05. Een noord- en oostoriëntatie geven ten opzichte van een westoriëntatie een verbetering van circa 0.03.

Opgemerkt wordt dat het effect op de EPC voor de meerlaagse woonwagen het kleinst is. Reden hiervoor is dat voor deze woonwagen het raamoppervlak in verhouding tot het verliesoppervlak relatief klein is.

5.1.3 Variant 3: zelfregelende roosters

Onderzocht is wat het effect op de EPC is wanneer zelfregelende roosters worden toegepast. Uitgangspunt is een R_c voor alle dichte delen $\geq 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ (zie variant 1).

Het toepassen van zelfregelende roosters geeft (ten opzichte van gewone roosters) een verbetering van de EPC van circa 0.02.

Naast zelfregelende roosters is het mogelijk om voor de mechanische ventilatie gebruik te maken van gelijkstroomventilatoren in plaats van wisselstroomventilatoren. Dit geeft een extra verbetering van de EPC van circa 0.02.

5.1.4 Variant 4: toepassen zonwering

Standaard wordt er geen zonwering toegepast. Door de woonwagenbouwers wordt aangegeven dat het op verzoek mogelijk is een zonwering toe te passen. Door het toepassen van zonwering zal in de zomer minder warmte de woonwagen binnenkomen via de glasoppervlakken. Dit is gunstig voor de EPC. Het plaatsen van zonwering heeft alleen effect voor ramen die zijn gericht op het zuiden, oosten of westen. Het precieze effect hangt naast de oriëntatie ook af van de grootte van het glasoppervlak. Onderzocht is wat het effect op de EPC is wanneer voor alle ramen met een oriëntatie op het zuiden, oosten of westen een zonwering wordt toegepast.

Voor de enkele en de dubbele woonwagen is het effect van het plaatsen van zonwering onafhankelijk van de oriëntatie van de woonwagen ongeveer gelijk. Toepassen van een zonwering geeft een verbetering van circa 0.02. Voor de dubbele woonwagen met meerdere lagen is het effect wel afhankelijk van de oriëntatie. Dit komt omdat deze woonwagen, naast een veel kleiner glasoppervlak, een minder gelijke verdeling heeft van de ramen over de verschillende gevels.

Opgemerkt wordt dat het plaatsen van zonwering aan de buitenkant van de woonwagen afhankelijk van het type zonwering vraagt om een versteviging van de constructie. Bij het toepassen van een markies zal het stijf- en regelwerk verzaamd moeten worden. Bij het toepassen van screens is dit niet nodig. Wanneer de zonwering achteraf geplaatst wordt dient aan de buitenzijde van de gevel een constructie aangebracht te worden waaraan de zonwering bevestigd kan worden.

Eventuele voorzieningen zijn relatief eenvoudig mee te nemen/ aan te brengen. De kosten voor het toepassen van een zonwering zijn afhankelijk van het type zonwering (screens, makiezen, uitvalscheren).

5.1.5 Variant 5: toepassen vloerverwarming

Vloerverwarming is een laag temperatuur verwarmingssysteem. Door de lagere temperatuur van het verwarmingssysteem kan energie bespaard worden. Daarnaast wordt laag temperatuurverwarming als comfortabel beschouwd.

Een nadeel van vloerverwarming is de traagheid van het systeem. Vloerverwarming is daarom voornamelijk gunstig in een woning met veel thermische massa (bouwtype traditioneel, gemengd zwaar). Aangezien voor woonwagens houtskeletbouw gangbaar is, is het toepassen van vloerverwarming geen logische keuze. Daarnaast zou de warmteweerstand van de begane grondvloer hoger moeten zijn om onnodig warmteverlies te voorkomen.

Toepassen van vloerverwarming geeft (ten opzichte van radiatoren) een verbetering van de EPC van circa 0.05 geeft.

5.1.6 Variant 6: toepassen gebalanceerde ventilatie

In plaats van ventilatie via natuurlijke toevoer en mechanische afvoer kan ook gebalanceerde ventilatie worden toegepast. Hierbij is het noodzakelijk dat de woonwagens goed luchtdicht worden gebouwd. Aangezien de woonwagens prefab worden gemaakt, wordt verwacht dat dit geen probleem is. Er is uitgegaan van gebalanceerde ventilatie met HR-warmteterugwinning (rendement 95%) en gelijkstroomventilatoren. De warmteterugwinning is voorzien van een bypass.

Aandachtspunten bij het toepassen van gebalanceerde ventilatie zijn het geluidsniveau van de warmteterugwinunit en het inpassen van de ventilatiekanalen. Voor de enkele en de dubbele woonwagen is het wellicht mogelijk om de ventilatiekanalen boven het plafond te laten lopen in de spantconstructie. Voor de meerlaagse woonwagen zal hiervoor verder moeten worden gekeken voor een oplossing.

Toepassen van gebalanceerde ventilatie geeft (ten opzichte van natuurlijke toe- en mechanische afvoer) een verbetering van de EPC van circa 0,20.

Gezien de huidige weerstand tegen dit systeem is dit systeem vooralsnog niet meegenomen in dit onderzoek. Bij een toekomstige aanscherping kan dit systeem mogelijk worden ingezet.

5.2 Maatregelenpakketten

Er worden twee maatregelenpakketten voorgesteld om de EPC te verlagen ten opzichte van de huidige nieuwbouwpraktijk. Uitgangspunt bij het bepalen van deze pakketten is dat de te nemen maatregelen realistisch zijn. De pakketten bestaan uit de volgende maatregelen:

Tabel 3

inhoud van de maatregelenpakketten

maatregelen	pakket 1	pakket 2
Rc dak verhogen van 1.2 naar 2.0 m ² K/W	x	
Rc dak verhogen naar van 1.2 naar 2.5 m ² K/W		x
Rc wanden verhogen van 2.0 naar 2.5 m ² K/W		x
zelfregelende roosters toepassen	x	x
gelijkstroommotor voor ventilator toepassen	x	x

De invloed van een gelijkstroomventilator op de EPC is niet heel groot. Leveranciers van ventilatoren geven aan dat gelijkstroomventilatoren in toenemende mate worden toegepast in woningen. Deze maatregel is daarom wel meegenomen in het pakket.

De invloed van deze maatregelenpakketten op de EPC is berekend ten opzichte van de huidige situatie van de drie referentiewoonwagens (zie voor uitvoering hoofdstuk 4). Met deze pakketten wordt de volgende EPC gerealiseerd:

Tabel 4

EPC bij verschillende maatregelenpakketten

uitvoering woonwagen	EPC uitgangssituatie	EPC pakket 1	EPC pakket 2
A. enkele woonwagen	1.49	1.33	1.24
B. dubbele woonwagen	1.45	1.28	1.21
C. dubbele woonwagen, meerlaags	1.34	1.17	1.10

5.3 Energiebesparing

Door het toepassen van de maatregelenpakketten wordt een energiebesparing bereikt. Een deel van de energiebesparing wordt bereikt door een verminderd elektriciteitsgebruik door het toepassen van gelijkstroomventilatoren, een ander deel door een lager aardgasgebruik als gevolg van betere isolatie.

Voor de drie referentiewoonwagens is op basis van de EPC-berekening bepaald hoeveel energie per jaar bespaard wordt door het toepassen van de verschillende pakketten ten opzichte van de huidige situatie.

Tabel 5

Jaarlijks gebouwgebonden elektriciteitsverbruik (kWh) volgens NEN 5128*

uitvoering woonwagen	huidige situatie [kWh]	maatregelenpakket 1 [kWh]	maatregelenpakket 2 [kWh]
A. enkele woonwagen	714	650	650
B. dubbele woonwagen	1092	993	993
C. dubbele woonwagen, meerlaags	1350	1228	1228

* excl. fictief energiegebruik voor zomercomfort

Tabel 6

Jaarlijks gebouwgebonden gasverbruik (m³ gas) volgens NEN 5128*

uitvoering woonwagen	huidige situatie [m ³ gas]	maatregelenpakket 1 [m ³ gas]	maatregelenpakket 2 [m ³ gas]
A. enkele woonwagen	1299	1138	1049
B. dubbele woonwagen	1855	1611	1488
C. dubbele woonwagen, meerlaags	1857	1601	1477

* excl. fictief energiegebruik voor zomercomfort

Het verschil tussen pakket 1 en 2 is een verbeterde isolatie van de woonwagen. Dit geeft geen besparing op het elektriciteitsverbruik (tabel 5) maar wel op het aardgasverbruik (tabel 6).

Omdat het energiegebruik voor zomercomfort een fictief energiegebruik is, is dit energiegebruik buiten beschouwing gelaten. Bij afwezigheid van een koelinstallatie wordt een energiegebruik voor zomercomfort in rekening gebracht. Doel hiervan is dat al bij het ontwerp aandacht wordt besteed aan het minimaliseren van de koelbehoefte en daarmee het achteraf installeren van een koelinstallatie (airco).

5.3.1 Besparing uitgedrukt in euro's

Met behulp van de prijzen voor elektriciteit en aardgas kan de besparing in geld worden uitgedrukt. Hiervoor zijn de prijzen gebruikt die SenterNovem hanteert. Voor elektriciteit is dit € 0.2249 per kWh, voor aardgas € 0.6673 per m³ (inclusief btw).

Tabel 7

Energiebesparing per jaar uitgedrukt in euro's*

uitvoering woonwagen	maatregelenpakket 1			maatregelenpakket 2		
	elektriciteit	aardgas	totaal	elektriciteit	aardgas	Totaal
A. enkele woonwagen	€ 14,39	€ 107,43	€ 121,82	€ 14,39	€ 166,83	€ 181,22
B. dubbele woonwagen	€ 22,27	€ 162,82	€ 185,09	€ 22,27	€ 244,90	€ 267,17
C. dubbele woonwagen, meerlaags	€ 27,44	€ 170,82	€ 198,26	€ 27,44	€ 253,57	€ 281,01

* excl. fictief energiegebruik voor zomercomfort

5.3.2 Kosten maatregelen

De kosten van de verschillende maatregelen zijn bij leveranciers opgevraagd. Opgemerkt wordt dat de kosten afhankelijk zijn van het isolatiemateriaal en type rooster en ventilator. Omdat voor het verhogen van de thermische isolatie in de gevel een aanpassing van het stijl en regelwerk nodig is, zijn de kosten voor het isoleren van de gevel hoger dan voor het isoleren van het dak. De kosten zoals weergegeven zijn globaal ingeschat.

Tabel 8

Meerkosten maatregelen (incl. btw)

maatregel	kosten in euro's
isoleren dak (Rc van 1.2 naar 2.0/ 2.5)	€ 2,50 per m ²
isoleren wanden, incl. aanpassen wandconstructie (Rc van 2.0 naar 2.5 m ² K/W)	€ 7,00 per m ²
zelfregelende roosters	€ 15,00 per meter
gelijkstroomventilator	€ 100,00

5.3.3 Terugverdientijd

Op basis van de energiebesparing en de kosten van de maatregelen is de terugverdientijd voor de twee maatregelenpakketten berekend.

Voor de bouwkundige maatregelen zijn op basis van het dak- en geveloppervlak de meerkosten bepaald. Voor de installatietechnische maatregelen zijn de meerkosten bepaald uitgaande van één gelijkstroomventilator.

Voor de zelfregelende roosters is uitgegaan van het aantal roosters dat op de tekeningen is weergegeven. In de enkele woonwagen worden zes roosters toegepast, in de dubbele woonwagen acht en in de dubbele meerlaags woonwagen worden negen roosters toegepast. Per rooster is uitgegaan van € 15,--.

Tabel 9

Terugverdientijd maatregelenpakket 1

uitvoering woonwagen	meerkosten [€]	energiebesparing [€]	terugverdientijd [jaren]
A. enkele woonwagen	€ 352,75	€ 121,82	2.9
B. dubbele woonwagen	€ 473,50	€ 185,09	2.6
C. dubbele woonwagen, meerlaags	€ 483,00	€ 198,26	2.4

Tabel 10

Terugverdientijd maatregelenpakket 2

uitvoering woonwagen	meerkosten [€]	energiebesparing [€]	terugverdientijd [jaren]
A. enkele woonwagen	€ 835,05	€ 181,22	4.6
B. dubbele woonwagen	€ 1040,50	€ 267,17	3.9
C. dubbele woonwagen, meerlaags	€ 1044,40	€ 281,01	3.7

De terugverdientijd voor maatregelenpakket 1 bedraagt 2.5 tot 3.0 jaar, voor maatregelenpakket 2 bedraagt de terugverdientijd 3.5 tot 4.5 jaar. Hierbij is uitgegaan van een vaste energieprijzen.

De energieprijzen spelen een grote rol bij het al dan niet kostenneutraal zijn van maatregelen. De energieprijzen zijn onder meer afhankelijk van de olieprijs. De verwachtingen hierover lopen sterk uiteen. Daarom zijn twee scenario's doorgerekend waarin een vaste stijging van de energieprijzen wordt aangenomen. Deze stijgingen zijn 4 en 8% (zie ook DGMR rapport E.2005.0139.00.R001-4 d.d. 15-09-2005, Haalbaarheidsstudie aanscherping EPC-eisen utiliteitsbouw).

Bij een stijging van de energieprijzen met 4% wordt de terugverdientijd voor maatregelenpakket 1 met circa 1 tot 2.5 maand verkort, voor maatregelenpakket 2 wordt de terugverdientijd met 3.5 tot 6 maanden verkort. Bij een stijging van de energieprijzen met 8% wordt de terugverdientijd voor maatregelenpakket 1 met circa 2 tot 5 maanden verkort, voor maatregelenpakket 2 wordt de terugverdientijd met 6 tot 11 maanden verkort.

Het effect van het stijgen van de energieprijzen is het grootst voor woonwagen A (met de langste terugverdientijd).

5.4 Binnenmilieu

Door het toepassen van betere isolatie zal het comfort verbeterd worden omdat er minder energie hoeft te worden gebruikt om de woonwagens te verwarmen.

Uit berekeningen blijkt dat de kans op oververhitting in de zomer wel toeneemt, dit is een belangrijk aandachtspunt. Vanwege de lichte bouw (houtskeletbouw) en een relatief groot glasoppervlak is de binnentemperatuur in de woonwagens relatief hoog.

Wanneer door het verhogen van de thermische isolatie de kans op oververhitting verder toeneemt, wordt aanbevolen om hier in het bouwkundig ontwerp al rekening mee te houden (zonwering, zwaardere bouw).

Door het toepassen van zelfregelende roosters is sprake van een constante lucht volumestroom (winddruk onafhankelijk) in de woonwagen. Hierdoor ervaren bewoners minder overlast van tocht.

5.5 Milieubelasting

Voor het beoordelen van de milieubelasting is gekeken naar de gevolgen voor de CO₂-uitstoot van het toepassen van de verschillende maatregelenpakketten.

Tabel 11

Jaarlijkse CO₂ reductie

uitvoering woonwagen	huidige situatie, CO ₂ -uitstoot in kg	maatregelenpakket 1, CO ₂ -uitstoot in kg	maatregelenpakket 2, CO ₂ -uitstoot in kg
A. enkele woonwagen	3012	2652 (-12%)	2473 (-18%)
B. dubbele woonwagen	4347	3794 (-13%)	3553 (-18 %)
C. dubbele woonwagen, meerlaags	4515	3924 (-13%)	3682 (-18 %)

Voor beide maatregelenpakketten geldt dat een reductie in zowel elektriciteitsverbruik als aardgasverbruik wordt gerealiseerd. Ten opzichte van de huidige situatie geeft dit een aanzienlijke reductie in CO₂-uitstoot.

Volgens gegevens van VROM waren er in 2001 9.618 standplaatsen in Nederland waar ongeveer 9.000 woonwagens gebruik van maakten. De verwachting is dat er in de periode tot 2010 nog 950 standplaatsen bijgebouwd worden.

Volgens opgave van de woonwagenbouwers worden er per jaar circa 165 woonwagens gebouwd. Wanneer een EPC-eis van 1.3 voor woonwagens zal worden geïntroduceerd dan betekent dit dat jaarlijks 86 ton CO₂ minder uitgestoten wordt.

5.6 Administratieve lasten

Door het rekenen met werkelijke waarden in plaats van forfaitaire waarden zal waarschijnlijk meer tijd nodig zijn voor het maken en toetsen van de EPC-berekening. Wanneer standaarddetails worden opgesteld voor woonwagens (bijvoorbeeld aanvulling op bestaande SBR-details) zijn deze lasten te minimaliseren.

Voor de gecertificeerde of gestandaardiseerde woonwagens kan eenmalig een EPC-berekening worden opgesteld, die opgenomen wordt in het KOMO-attest. Voor alle woonwagens die volgens dit attest worden gebouwd, kan voor de energiezuinigheid volstaan worden met een verwijzing naar het attest. De kosten voor het opstellen van de EPC-berekening voor deze gecertificeerde of gestandaardiseerde woonwagens wordt voorgesteld, worden geraamd op € 250,- tot € 500,-, inclusief btw (vergelijkbaar de kosten voor het opstellen van een EPC-berekening voor een woning).

Voor varianten op deze woonwagens dient met een EPC-berekening opnieuw aangetoond te worden dat met varianten wordt voldaan aan een EPC.

5.7 Conclusies regeleffecttoets

Er zijn twee maatregelenpakketten samengesteld waarmee de EPC voor woonwagens verlaagd kan worden. Beide maatregelenpakketten zijn goed realiseerbaar en robuust. Pakket 1 bestaat uit het verder isoleren van de dichte geveldelen tot een $R_c \geq 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$, het toepassen van zelfregelende roosters en een gelijkstroomventilator. Pakket 2 is een uitbreiding van pakket 1 waarbij de dichte geveldelen verder geïsoleerd worden tot een $R_c \geq 2.5 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Aandachtspunt hierbij is het ruimteverlies in de woonwagen. Dit is natuurlijk ook afhankelijk van de thermische kwaliteit van het isolatiemateriaal.

Op basis van de energiebesparing en een globale inschatting van de kosten is voor beide maatregelenpakketten de terugverdientijd voor de woonwagens bepaald.

De terugverdientijd voor maatregelenpakket 1 bedraagt 2.5 tot 3.0 jaar, voor maatregelenpakket 2 bedraagt de terugverdientijd 3.5 tot 4.5 jaar.

De CO₂-uitstoot wordt bij beide maatregelenpakketten aanzienlijk verminderd.

Een punt van aandacht is oververhitting in de zomer.

6. Conclusies en aanbevelingen

Het is mogelijk om een EPC-eis in te voeren voor woonwagens. Op basis van de huidige nieuwbouwpraktijk bedraagt de EPC voor woonwagens 1.35-1.50.

Gebleken is dat de NEN 5128 als bepalingsmethode en NPR 5129 als rekenprogramma in het algemeen goed toepasbaar zijn voor woonwagens.

Er zijn enkele beperkingen bij het berekenen van de EPC voor woonwagens in de NEN 5128 en in de NEN 1068. In de NEN 5128 wordt het energiegebruik voor zomercomfort onderschat, in de praktijk zal het risico op oververhitting en daarmee de koelbehoefte groter zijn dan de norm aangeeft. De EPC wordt hier onvoldoende gecorrigeerd. In de NEN 1068 wordt de berekening van het warmteverlies ter plaatse van een verhoogde begane grond vloer onvoldoende afgevangen. Vooral nog is uitgegaan van de veilige/conservatieve benadering waarbij de verhoogde begane grondvloer grenst aan buitenlucht.

Het verdient aanbeveling om bij de geplande herzieningen van deze normen specifiek aandacht te besteden aan de berekening van woonwagens.

De technische belemmeringen van het stellen van EPC-eisen aan woonwagens hebben betrekking op de verplaatsbaarheid van de woonwagens waardoor de oriëntatie kan wijzigen. Vooral nog is uitgegaan van de meest ongunstige oriëntatie.

Als basis voor het vaststellen van een eerste EPC-eis is gerekend met een $R_c \geq 2.0 \text{ m}^2\text{K/W}$ voor de dichte geveldelen (conform huidige Bouwbesluit). Wanneer een EPC-eis gesteld wordt aan woonwagens kan de eis voor de thermische isolatie-index komen te vervallen.

Een EPC van 0.8 voor woonwagens is niet realistisch. Verwacht wordt dat binnen de technische randvoorwaarden in eerste instantie een EPC-eis van 1.3 voor woonwagens goed te realiseren is. De terugverdientijd om hieraan te voldoen is minder dan 4.5 jaar.

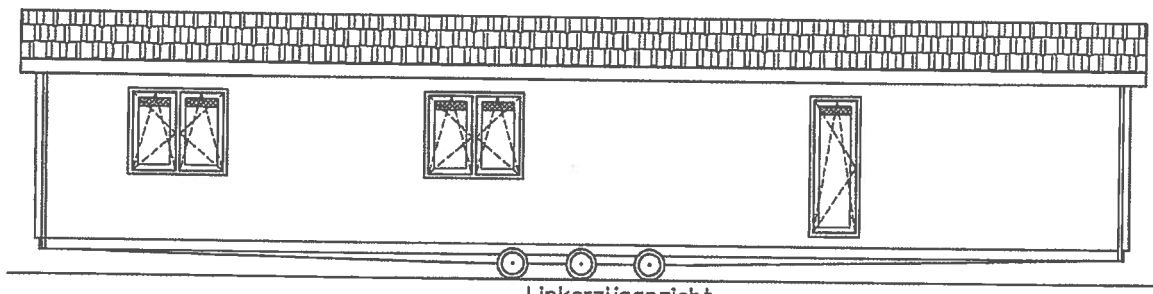
Met behulp van een relatief beperkt maatregelenpakket (maatregelenpakket 1) zullen de meeste woonwagens hieraan voldoen. Het is mogelijk dat de enkele woonwagens met een oriëntatie op het westen net boven de eis uitkomt. Door toepassen van een betere isolatie van het dak ($R_c = 2.5 \text{ m}^2\text{K/W}$) kan een EPC-eis van 1.3 wel worden gerealiseerd.

In de toekomst is een verdere verbetering van de EPC-eis te realiseren door gebruik te maken van technieken die op dit moment voor woningen worden ontwikkeld. Voorwaarde is dan wel dat eerst NEN 5128 en NEN 1068 beter toegespitst worden op woonwagens.

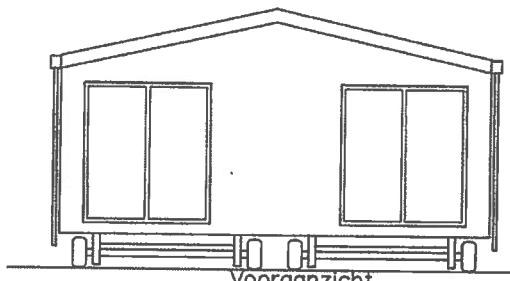
Den Haag, 15 mei 2007

Bijlage 1

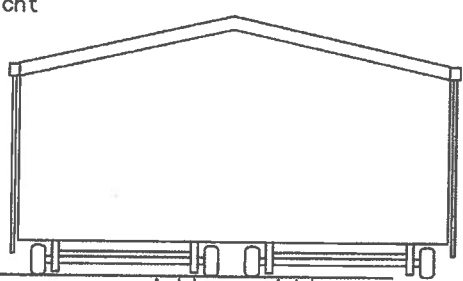
Plattegronden, gevelaanzichten en details van de drie woonwagens



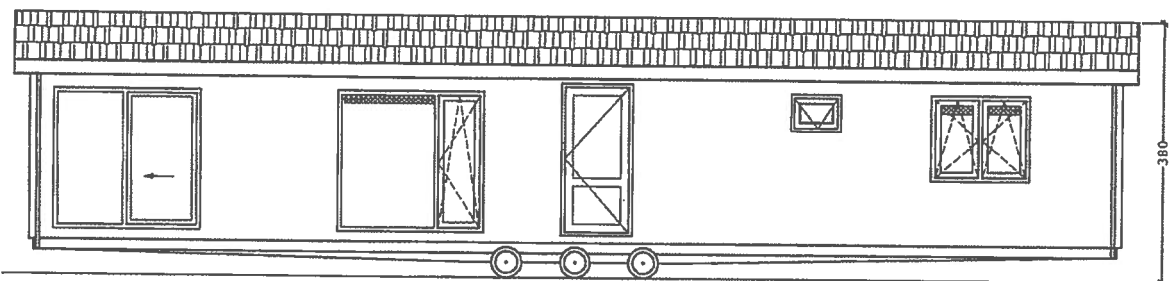
Linkerzijanzicht



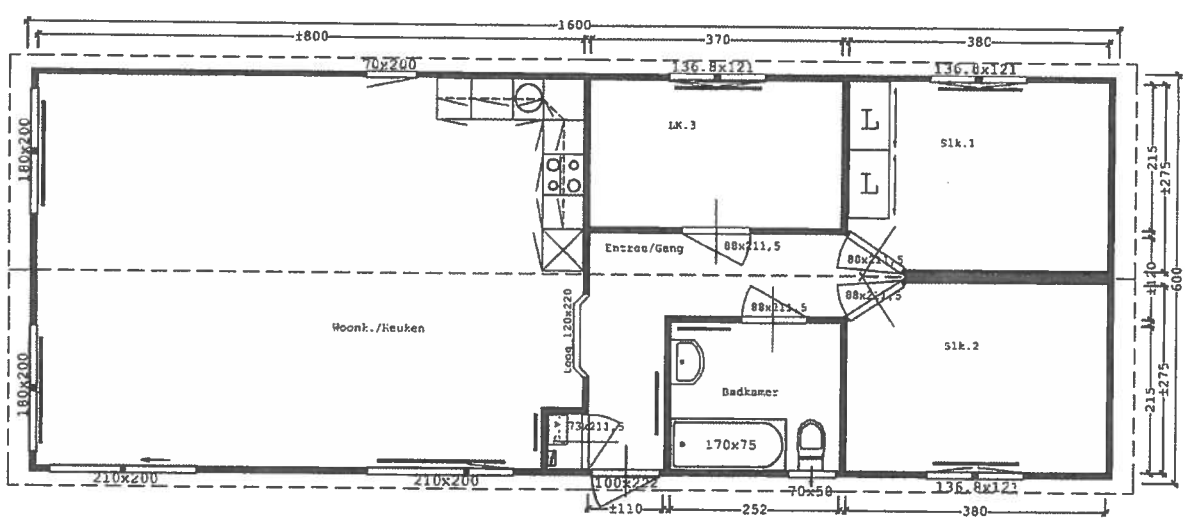
Vooraanzicht

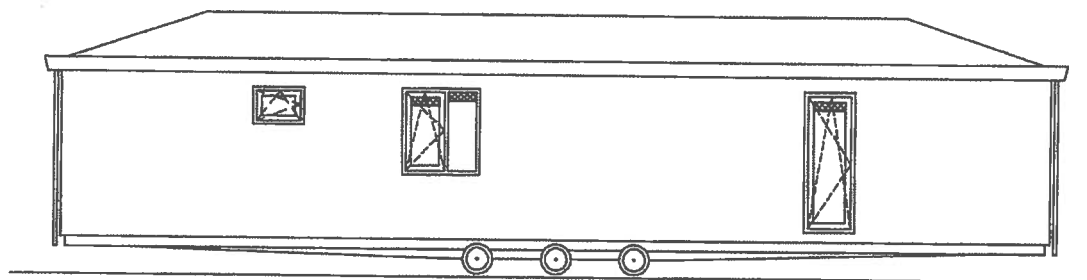


Achteraanzicht

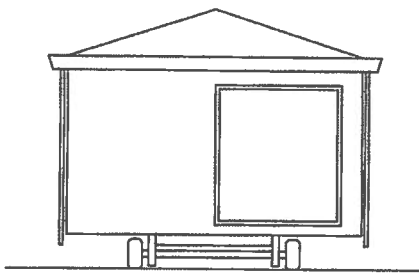


Rechterzijanzicht

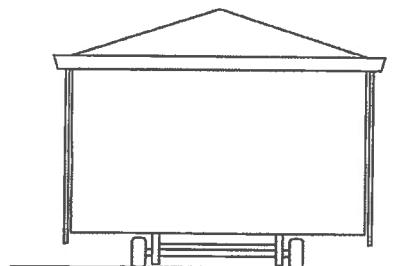




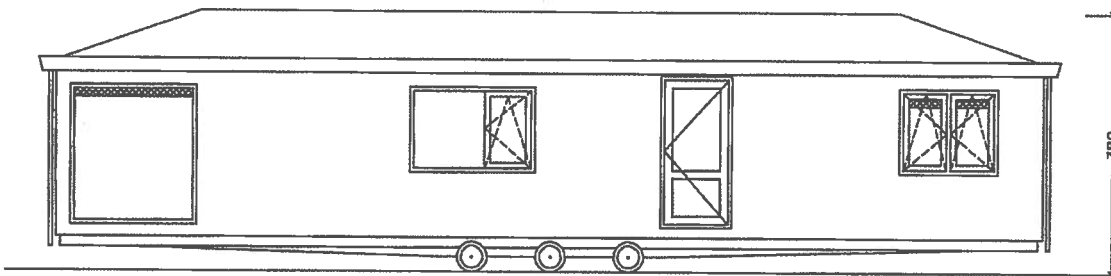
linkerzijanzicht



vooraanzicht



achteraanzicht



rechterzijanzicht

