

TNO Bouw

BBI
Schoemakerstraat 97
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T 015 269 69 00
F 015 269 52 99

TNO-rapport

93-BBI-R1007

**Basisdocument bepalingmethode energieprestatie
woningen**

Datum 14 september 1993

Auteur(s) H.A.L. van Dijk
m.m.v. W.F. de Gids
J. Oldengarm

Exemplaarnummer
Oplage
Aantal pagina's 110
Aantal bijlagen 3
Opdrachtgever
Projectnaam
Projectnummer 3.26.3.3863

Alle rechten voorbehouden.

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

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

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

© 2001 TNO

INHOUDSOPGAVE**pagina**

1.	INLEIDING	6
1.1	Nationale bouwregelgeving en energieprestatienormering	6
1.2	Stand van zaken, Europees en nationaal	7
1.3	Basisdocument	8
2.	UITGANGSPUNTEN	10
2.1	Hoofdingrediënten	10
2.2	Toetsing van de energieprestatie: keuze tussen meet- of rekenmethode	12
2.3	Algemene uitgangspunten	13
2.3.1	Criteria	13
2.3.2	Uitgangspunten t.a.v. randvoorwaarden	14
2.3.3	Vrije indeelbaarheid	15
3.	GLOBALE INTRODUCTIE REKENMETHODE	17
3.1	Introductie	17
3.2	Basisformules rekenmethode	17
3.3	Berekening warmteverlies en warmtewinst	19
3.4	Berekeningsprocedure	21
4.	UITWERKING KEUZEN PER INGREDIËNT	22
4.1	Inleiding	22
4.2	Benuttingsfactor en periodeduur	22
4.2.1	Benuttingsfactor	22
4.2.2	Maand- of seizoenberekeningen	27
4.2.3	Aard van de binnentemperatuur	29
4.2.4	Globale indicatie thermisch comfort	30
4.3	Woning-grootte	30
4.4	Temperatuurzones	31

4.4.1	Inleiding	31
4.4.2	Invloedsfactoren	32
4.4.3	PrEN 832	32
4.4.4	Indeling in vertrekken	33
4.4.5	Woning als één zone of onverwarmde ruimte apart	37
4.4.6	Weegfactor b voor onverwarmde zone in een woning	38
4.4.7	Keuze binnentemperatuur	40
4.4.7.1	Inleiding	40
4.4.7.2	Resultaten inventarisatie	40
4.4.7.3	Standaard bewonersgedrag	42
4.4.7.4	Resulterende temperatuur	45
4.4.7.5	Samenvatting	45
4.4.7.6	Vertaalslag tot normtekst	46
4.5	Bepaling warmtedoorgangscoefficiënt, algemeen	49
4.5.1	Warmtetransmissie ramen en deuren	49
4.5.2	Warmte-transmissie niet-transparante constructies	54
4.5.3	Koudebruggen	54
4.5.3.1	Inleiding	54
4.5.3.2	Aansluitings-koudebruggen	54
4.5.3.3	Constructieve koudebruggen	55
4.5.4	Temperatuur aangrenzende ruimte buiten de woning	55
4.6	Ventilatie	59
4.6.1	Bepaling warmteverlies door ventilatie	59
4.6.1.1	Algemeen	59
4.6.2	Uitgangspunten ter bepaling van de luchtvolumestroom	60
4.6.2.1	Inleiding	60
4.6.2.2	Minimum ventilatie	60
4.6.2.3	Maximum luchtdoorlatendheid	61
4.6.2.4	Te kiezen rekenwaarde voor luchtdoorlatendheid q_{v10}	62
4.6.3	Bepaling luchtvolumestroom t.b.v. energieprestatie-	

	normering	64
	4.6.3.1 Inleiding	64
	4.6.3.2 Invloedsfactoren natuurlijke ventilatie	65
	4.6.3.3 Gevoeligheid	67
	4.6.3.4 Keuzen t.a.v. de parameters voor infiltratie	68
	4.6.3.4 Gebruik natuurlijke ventilatievoorzieningen	72
	4.6.3.5 Luchtwisseling tussen ruimten	73
	4.6.3.6 Mechanische ventilatie	74
	4.6.4 Gevoeligheid voor q_{v10} -waarde	77
4.7	Binnenkomende zonnewarmte	78
4.7	Invloed beschaduwning	79
	4.7.1 Inleiding	79
	4.7.2 Directe en diffuse zonnestraling	80
	4.7.3 Belemmeringshoek	80
	4.7.4 Gevoeligheid	81
	4.7.5 Per seizoen of per maand	82
	4.7.6 Verdeling van de omgeving	83
	4.7.7 Uitkragingen	84
	4.7.8 Zonneboiler	84
	4.7.9 Bepaling belemmeringshoek per sector	84
	4.7.10 Norm versus praktijk	85
	4.7.11 Vergelijking met berekeningsmethode equivalente daglichtoppervlakte	85
	4.7.12 Obstakels buiten perceelgrens	86
4.8	Nachtverlaging en invloed massa van het gebouw	87
4.9	Installatie voor ruimteverwarming	88
4.10	Installatie voor tapwaterverwarming	88
4.11	Hulp-energie	89
4.12	Zonneënergiesysteem	89
	4.12.1. Berekeningen	89
	4.12.2 Erratum in het normontwerp	94
	4.12.3 Voorbeeldberekening	95

4.13	Interne warmte	97
4.14	Klimaatzones	98
4.14	Eenheid	98
4.15	De energie prestatie-eis	98
4.15.1	Inleiding	98
4.15.2	Invloed van de woning-grootte op de energiezuinigheid	99
4.15.3	Invloed van de woningvorm	100
4.15.4	Scheiding met binnenruimten met andere functies	102
4.15.5	Energiegebruik voor warm tapwaterbereiding	104
4.15.6	De energieprestatiecoëfficiënt	105
4.15.7	Mogelijk alternatief zonder correctie voor verliesoppervlakte	107
LITERATUUR		110
BIJLAGEN		

1. INLEIDING

1.1 Nationale bouwregelgeving en energieprestatienormering

In het kader van de deregulering van de bouwregelgeving is het Bouwbesluit ingevoerd ter vervanging van de gemeentelijke bouwverordeningen voorzover het de bouw- en woontechnische voorschriften betreft.

In het kader van een betere bescherming van het milieu is een Milieubeleidsplan opgesteld en door de Tweede Kamer aanvaard waarin onder meer aandacht wordt gevraagd voor een zuinig energieverbruik. In het actiepunt DBB1 van de rapportage Duurzaam Bouwen staat het voornemen tot het spoedig invoeren van een energie prestatienorm, waartoe normen zullen worden ontwikkeld.

Door verschillende bureaus zijn en worden studies verricht om te komen tot het beperken van energieverbruik van onderdelen van constructies en toestellen die in de bouw worden gebruikt en van bouwwerken als geheel onder andere door planologische ingrepen. Omdat het de regelgever niet zozeer is te doen om het in detail voorschrijven waaraan verschillende onderdelen tenminste dienen te voldoen doch veeleer om te waarborgen dat het geheel in een gerealiseerde situatie een zuinig gebruik oplevert is er behoefte aan het vastleggen van een minimum eis op gebouwniveau. Alvorens tot een dergelijke normstelling te komen dient een eenduidige bepalingsmethode te worden ontwikkeld waarmee de beoogde eigenschap c.q. grootte kan worden bepaald.

Vanwege het voornemen een dergelijke eis in het Bouwbesluit op te nemen dient deze bepalingsmethode in een Nederlandse norm te zijn opgenomen.

In opdracht van de Hoofdafdeling Onderzoek Woningbouw en Kwaliteitszorg van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) is een Normalisatieplan Energieprestatie Woningen en Woongebouwen opgesteld (TNO rapporten B-91-0904 en B-91-1074), waarin in hoofdlijnen de vorm van de energieprestatienorm geschetst. In dit plan is ook aangegeven waar nog keuzen gemaakt moeten worden, alsmede waar de leemten in kennis zich bevinden en hoe deze kunnen worden opgevuld. In de NNI normsubcommissie 351.74.15 'Bepaling energieprestatie woningen en woongebouwen' is dit plan besproken.

Vervolgens is door TNO-Bouw in opdracht van VROM en in overleg met de genoemde NNI commissie de energieprestatienorm uitgewerkt.

Het onderhavige rapport is samengesteld uit een compilatie van voortgangsrapporten die ten behoeve van de besluitvorming aan de normsubcommissie werden voorgelegd. Zie ook 1.3.

1.2 Stand van zaken, Europees en nationaal

Op Europees niveau en in Nederland op nationaal niveau wordt momenteel gewerkt aan de totstandkoming van normering op het gebied van de energieprestatie van gebouwen. In Europa is onlangs het normontwerp PrEN 832 [1] ter openbare kritiek uitgebracht. In Nederland zijn in mei respectievelijk juni 1993 ter openbare kritiek (als zgn. groene versie) gepubliceerd:

voor woningen en logiesgebouwen: het ontwerp van NEN 5128 [2]

voor utiliteitsgebouwen: het ontwerp van NEN 2916 [3]

In dit rapport zal NEN 2916 verder buiten beschouwing blijven, omdat deze methode qua bepaling van de warmtebehoefte geen nieuwe elementen bevat die niet ook in de andere methoden zijn terug te vinden. Op een aantal punten is de warmtebehoefteberekening in NEN 2916 ook vereenvoudigd (b.v.: beschaduwings, zonneënergie). In NEN 2916 zijn daarentegen een aantal voor utiliteitsgebouwen typische installatietechnische elementen verder uitgewerkt.

Het genoemde ontwerp van de Europese norm betreft een methode met veel vrijheidsgraden voor eigen invulling. Het beoogde gebruik van de methode is dan ook ruim:

- als basis voor nationale regelgeving;
- bij optimalisering van een ontwerp ten aanzien van energie prestatie;
- om energiebesparende maatregelen bij bestaande gebouwen te beoordelen;
- om op macro-niveau energiegebruiksgegevens te genereren aan de hand van berekeningen aan representatieve gebouwen.

Ten tijde van het schrijven van dit basisdocument zijn afspraken gemaakt om PrEN

832 op korte termijn (najaar 1993) te herschrijven, waarbij vooral de nu nog vrijblijvende keuzemogelijkheden meer aan banden zullen worden gelegd.

De Nederlandse methode, neergelegd in het normontwerp NEN 5128 is qua opzet vergelijkbaar met PrEN 832, doch is meer uitgewerkt en laat geen ruimte voor meerdere interpretaties. Deze methode is dan ook opgezet in het kader van nationale bouwregelgeving.

1.3 Basisdocument

Het onderhavige rapport, het 'Basisdocument', is samengesteld uit een compilatie van voortgangsrapporten die ten behoeve van de menings- en besluitvorming aan de normsubcommissie werden voorgelegd tijdens de uitwerking van de energiestatienorm NEN 5128. Bij de verwerking tot het Basisdocument is de inhoud zoveel mogelijk aangepast aan de uiteindelijke vorm en inhoud van het ontwerp NEN 5128, zonder overigens in dit opzicht volmaaktheid na te streven.

In de normtekst zelf zijn eveneens her en der uitgebreide toelichtingen te vinden. Deze zijn in het Basisdocument niet nog eens herhaald.

In zijn algemeenheid geldt, dat dit Basisdocument steeds in combinatie met het normontwerp NEN 5128 gelezen moet worden.

In het hiernavolgende worden eerst de belangrijkste uitgangspunten gepresenteerd die bij de ontwikkeling van de Nederlandse energiestatienorm zijn gehanteerd (hoofdstuk 2).

Vervolgens wordt het principe geschetst waarop de rekenmethoden in PrEN 832 en in NEN 5128 zijn gebaseerd (hoofdstuk 3).

Overigens is hetzelfde principe ook gebruikt bij de door TNO ontwikkelde correlatiemethode TCM-heat [4]. De eveneens door TNO-Bouw ontwikkelde methode neergelegd in ISSO publicatie 16 ([5]) is tot op zekere hoogte ook in dit rijtje in te passen en wordt daarom in het betreffende hoofdstuk ook aangehaald.

In hoofdstuk 4 worden achtereenvolgens een aantal aspecten besproken die een rol hebben gespeeld bij de ontwikkeling van NEN 5128.

Aangezien dit basisdocument achtergronden schetst ten aanzien van het proces van de totstandkoming van het normontwerp NEN 5128 is het mogelijk dat bepaalde gegevens zoals aannamen, symbolen, e.d. niet geheel overeenstemmen met de uiteindelijke versie van het normontwerp. Indien er tegenstrijdigheden voorkomen, is hetgeen in het normontwerp staat uiteraard bepalend.

2. UITGANGSPUNTEN

2.1 Hoofdingrediënten

Als hoofdingrediënten kunnen een aantal invloedsfactoren en daarmee samenhangende energiestromen worden beschreven.

De volgende vijf factoren oefenen invloed uit op het energiegebruik:

INVLOEDSFACTOREN:

Planologische aspecten:

bijvoorbeeld oriëntatie, omgevingsinvloed op bezonning en windbelasting.

Gebouweigenschappen:

bijvoorbeeld isolatie, luchtdichtheid, oppervlak, ruimte-indeling.

Installatiekenmerken:

bijvoorbeeld soort, plaats, rendement, regeling en hulpenergiegebruik van verwarmingsinstallatie (ruimteverwarming, tapwater) en mechanische ventilatie.

Buitenklimaat:

bijvoorbeeld temperatuur, zonnestraling, wind.

Gebruik van het gebouw:

bijvoorbeeld instelling temperatuur, ventilatie, zonwering, interne warmteproductie.

Hiermee samenhangend kunnen de volgende warmte- en andere energiestromen worden gedefinieerd:

ENERGIESTROMEN:

Warmtetransmissie:

invloed van warmtetransmissie door ramen, gevels, daken, vloeren op het energiegebruik voor verwarming.

Ventilatie en warmteverlies door ventilatie:

invloed van ventilatie op het energiegebruik voor verwarming; bij het ventilatiewarmteverlies spelen zowel infiltratie als bewuste ventilatie en eventuele warmteterugwinning een rol.

Zontoetreding:

invloed zontoetreding door ramen of daglichtopeningen op het energiegebruik voor verwarming.

NB: invloed daglichttoetreding op energiegebruik voor verlichting wordt niet meegenomen.

Interne warmteproductie:

invloed interne warmteproductie op het energiegebruik voor verwarming.

Warm tapwaterverbruik:

energiegebruik voor verwarming van tapwater.

Installatieverliezen:

invloed rendement van de verwarmingsinstallatie en de warmwatervoorziening op het energiegebruik.

Hulp-energie voor installatie(s):

eventueel energiegebruik voor waakvlam, pomp en/of ventilator.

Primaire energie-omzetting:

eventueel energiegebruik bij omzetting van primaire energie naar de gebruikte

energiedrager (b.v. elektriciteit: verlies centrale en transport).

2.2 Toetsing van de energieprestatie: keuze tussen meet- of rekenmethode

Directe meting van het energiegebruik in de praktijk zou de meest elegante toetsingsmethode zijn, uit het oogpunt van het principe dat een prestatie zo direct mogelijk aan het gerealiseerde bouwwerk plaatsvindt: de prestatie wordt getoetst op de plaats waar en onder omstandigheden waaronder de prestatie wordt geleverd.

Deze methode stuit evenwel op de volgende evidente bezwaren:

- de woning dient over een lange periode bewoond te zijn door standaard bewoners met een standaard bewonersgedrag;
en omgeven door een standaard buitenklimaat;
de methode is dus duur en traag;
- verouderingsaspecten kunnen niet worden meegenomen (b.v. bouwvocht, kierdichting).

Daarnaast geldt als bijkomend nadeel dat correcties pas achteraf kunnen worden aangebracht.

Een verkorte meting van het energiegebruik in de praktijk met omrekening naar standaard bewonersgedrag en standaard buitenklimaat zou in principe mogelijk zijn, indien gebruik wordt gemaakt van geavanceerde identificatietechnieken, die momenteel in ontwikkeling zijn.

Dit zou althans het eerste bezwaar kunnen ondervangen.

Echter, ook dan is de methode betrekkelijk duur en blijven de andere nadelen van kracht. Wel zou deze methode al wel enig inzicht in de samenstelling van de energiestromen kunnen geven.

De toetsing van de energieprestatie vindt dan ook plaats aan de hand van een **rekenmethode**.

Dit sluit niet uit, dat na oplevering metingen kunnen worden uitgevoerd; maar de waarde van deze metingen in het licht van de toetsing van de prestatie beperkt zich tot toetsing van elementen die niet op basis van het ontwerp zijn te toetsen.

Naast controle op uitvoeringsfouten (b.v. isolatie), beperkt zich dit in feite tot de bepaling van de luchtdoorlatendheid (q_{v10} -waarde).

2.3 Algemene uitgangspunten

2.3.1 Criteria

Technische ingrediënten zijn primair geselecteerd op grond van het criterium: de mate waarop zij invloed uit kunnen oefenen op het energiegebruik.

Daarnaast zijn de volgende criteria meegewogen, die met name te maken hebben met de criteria die aan een prestatie-eis in het kader van het Bouwbesluit worden gesteld.

Deze criteria gelden op vergelijkbare wijze voor de bepalingsmethode.

De prestatie-eis moet immers meetbaar en controleerbaar zijn met behulp van de bepalingsmethode.

- de methode moet zoveel mogelijk (rechts)zekerheid en (rechts)gelijkheid bieden; er mogen dus bijvoorbeeld geen subjectieve elementen in voorkomen.
- de methode moet ondubbelzinnig zijn; elk gebruikt begrip moet dus eenduidig gedefinieerd zijn of gedefinieerd kunnen worden; ook betekent dit dat zij geen verwijzingen mag bevatten naar bepalingsmethoden of rekenwaarden die op hun beurt niet voldoen aan de hier genoemde criteria;
- de methode moet oplossings-ongebonden, dus zo min mogelijk vrijheidsbeperkend en innovatie-belemmerend zijn; dit betekent bijvoorbeeld dat de norm geschikt moet zijn voor uiteenlopende woningvormen en energiebesparende opties; maar ook: dat aan de in het Bouwbesluit gegeven vrijheden met betrekking tot de indeling van de woning zo weinig mogelijk afbreuk wordt gedaan;
- een stap verdergaand kan men hieruit afleiden dat de bepalingsmethode de mogelijkheid moet bieden om van het gelijkwaardigheidsbeginsel gebruik te maken op component-niveau; hiertoe is het nodig dat de bepalingsmethode doorzichtig moet zijn, zodat bijvoorbeeld gemotiveerd kan worden waarom een van de in de methode vastgelegde afwijkende rekenwaarde gelijkwaardig is;
- de structuur van de energieprestatienorm in het kader van het Bouwbesluit

moet voldoen aan zekere richtlijnen.

Daarnaast spelen een secundaire rol:

- beschikbaarheid en ervaring;
bij een methode die reeds daadwerkelijk als bestaande methode in gebruik is voor de bepaling van het energiegebruik van woningen kan gebruik worden gemaakt van de bestaande ervaring in de praktijk.
- toegankelijkheid;
gezocht wordt naar een methode waarbij het aantal grootheden waarvan de waarde door berekening, meting of beproeving moet worden bepaald minimaal is.

Het criterium van doorzichtigheid betekent dat gezocht is naar een methode waarbij zoveel mogelijk de fysische relaties in beeld blijven.

Hierdoor wordt bovendien de flexibiliteit, dus toepasbaarheid, gediend; een fysische relatie zal over het algemeen een groter geldigheidsgebied hebben dan een 'ad hoc' correctiefactor.

Wat betreft het aspect eenvoud van de methode kan een onderscheid worden gemaakt tussen het aantal en de aard van de gevraagde invoergegevens en het aantal rekenkundige bewerkingen (operaties) dat moet worden uitgevoerd met de invoergegevens en door de methode voorgeschreven standaardgegevens.

Indien het aantal invoergegevens beduidend kleiner is dan het aantal operaties, kan er van worden uitgegaan dat de gebruiker zal zoeken naar een geautomatiseerde versie (b.v. een "spreadsheet", menugestuurd programma, e.d.).

In dat geval is een methode die nauwkeuriger of breder toepasbaar is doordat meer (bijvoorbeeld herhaalde) bewerkingen op hetzelfde aantal invoergegevens worden gevraagd niet in het nadeel.

2.3.2 Uitgangspunten t.a.v. randvoorwaarden

Uitgangspunt bij de invulling van de methode is een berekend energiegebruik dat zo dicht mogelijk het gemiddelde benadert, dat in de praktijk voor de betreffende woning

kan worden verwacht.

Het bovengenoemde uitgangspunt betekent ten aanzien van het buitenklimaat dat *in principe* gekozen wordt voor rekenwaarden die representatief zijn voor een gemiddeld jaar ter plaatse.

Voor de rekenwaarden met betrekking tot het gebruik van de woning (bewonersgedrag) geldt vergelijkbaar:

de uitkomsten van de berekening dienen zo reëel mogelijk overeen te komen met het te verwachten gemiddeld gebruik.

De methode zal anderzijds (eis van oplossings-ongebonden!), althans in principe, de mogelijkheid moeten bieden om in voorkomende gevallen door het gebouw of de installatie afgedwongen energiezuinig gebruik de plaats te laten innemen van het in de berekening genormeerde gemiddelde gebruik. Men zou hierbij kunnen denken aan bijvoorbeeld automatisch bediende luiken. Anderzijds moet worden voorkomen dat de energieprestatie zo sterk afhankelijk wordt van bepaalde bijzondere voorzieningen, dat bij uitvallen van die voorziening geen alternatieve mogelijkheden aanwezig zijn om zonder extreme inspanning de grondslag voor de verleende bouwvergunning te kunnen handhaven. Dit heeft mede een rol gespeeld bijvoorbeeld bij het in rekening brengen van lokale verwarming.

2.3.3 Vrije indeelbaarheid

Bij de indeling van de woning of het woongebouw verwarmde en onverwarmde zones dient rekening te worden gehouden met de beperkingen die het Bouwbesluit oplegt ten aanzien van deze indeling.

Het Bouwbesluit laat niet toe, dat de uitkomst van een bepalingsmethode afhankelijk is van een scheidingsconstructie die er in het kader van de vrije indeelbaarheid niet hoeft te zijn. Dit betreft niet-dragende of anderszins verplichte (b.v. toilet, badruimte) scheidingsconstructies.

Eén en nader is vooral van belang voor de verkeersruimten: hal, gang, trappenhuis. Deze ruimten kunnen dus doorgaans niet een temperatuurzone vormen die afwijkt van de aangrenzende verblijfsruimten.

Wel kan het effect van een lagere temperatuur in gang en trappenhuis verrekend

worden met een verlaging van de rekenwaarde voor de temperatuur van de verwarmde zone als geheel.

NB: in verband met de mogelijkheid tot vluchten uit een woning bij brand zijn in het Bouwbesluit wel eisen opgenomen ten aanzien van de weerstand tegen branddoorslag en -overslag tussen ruimten op verschillende bouwlagen. Dit houdt in dat er scheidingen moeten zijn tussen verblijfsruimten op verschillende bouwlagen en tussen een verblijfsruimte en een andere ruimte op een niet-aangrenzende bouwlaag.

De situering, bijvoorbeeld aan de bovenzijde of onderzijde van het trappenhuis, laat de wetgever echter vrij.

3. GLOBALE INTRODUCTIE REKENMETHODE

3.1 Introductie

In de volgende paragrafen worden de basisformules en het globale schema gegeven van de rekenmethode.

We gebruiken hierbij zoveel mogelijk de symbolen en indices uit het normontwerp NEN 5128.

3.2 Basisformules rekenmethode

Voor een periode met vaste lengte (bijvoorbeeld een maand) wordt -in principe met de hand- het transmissie- en ventilatie-warmteverlies berekend, alsmede de zontoetreding en warmte van interne bronnen (verlichting, personen, apparatuur).

Aldus ontstaat een term Q_{verl} : het totale warmteverlies en een term Q_{winst} : het totaal aan binnenkomende warmte.

De wijze waarop dit gebeurt wordt in 3.3 geschetst.

De warmtebehoefte, Q_{wb} , is het verschil tussen Q_{verl} en Q_{winst} , met voor de warmtewinst een correctiefactor voor dynamisch gedrag: de benuttingsfactor η (utilization factor) voor warmtewinst.

Immers: van de gedurende de beschouwde periode binnenkomende warmte van zon en interne bronnen zal een gedeelte op een 'ongelegen' moment binnenkomen, wanneer er geen behoefte is aan deze warmte; hetzij omdat de warmtevraag klein is (weinig warmteverlies), of omdat er een te groot aanbod aan warmte is (teveel zon en/of interne warmte).

De over een langere periode (b.v. een maand) gemiddelde benuttingsfactor is dan ook een functie van de verhouding tussen de genoemde binnenkomende warmte (Q_{winst}) en de warmteverliesposten ventilatie en warmtetransmissie (Q_{verl}). Deze verhouding wordt de Winst/Verlies Verhouding ('gain-load ratio'), γ , genoemd.

Daarnaast speelt de gebouwmassa een rol: bij een grotere gebouwmassa (of beter:

grotere gebouwtraagheid) zullen bijvoorbeeld pieken in aanbod van zonnewarmte beter worden opgevangen en minder snel leiden tot overtollige warmte.

In PrEN 832 en NEN 5128 zien we dan ook de volgende formule:

De basis-formule:

$$Q_{wb} = Q_{verl} - \eta \cdot Q_{winst} \quad (1)$$

Q_{wb} warmtebehoefte voor betreffende periode

Q_{verl} warmteverlies door transmissie en ventilatie gerekend vanaf het minimaal gewenste temperatuurniveau (thermostaatstand)

Q_{winst} binnenkomende warmte van zon en interne bronnen (verlichting/apparatuur/personen);

η benuttingsfactor van de binnenkomende warmte.

Wat nog ontbreekt om de warmtebehoefte te kunnen bepalen, is de juiste relatie tussen de benuttingsfactor en de Winst/Verlies Verhouding en thermische traagheid.

Relaties van deze aard zijn afgeleid uit dynamische berekeningen met een complex gebouwssimulatiemodel. Uit dergelijke berekeningen volgt immers de 'ware' warmtebehoefte, die ingevuld in (1) de waarde voor η oplevert voor de gegeven situatie (lees: Q_{verl} , Q_{winst} en gebouwtraagheid). Door een voldoende groot aantal berekeningen uit te voeren ontstaan curven van η als functie van γ bij bepaalde traagheid van het gebouw. Zie paragraaf 4.2.

Als duur van de beschouwde periode geldt in PrEN 832 een maand, maar een berekening op seizoenbasis is ook mogelijk, voor situaties waarin de lengte van het stookseizoen bekend is. PrEN 832 geeft hiervoor een bepalings-methode.

De gegeven relaties voor de benuttingsfactor zijn onlosmakelijk verbonden met de aangenomen periodeduur. Indien bijvoorbeeld bij een seizoenberekening de periode (het stookseizoen) langer gekozen wordt, dan neemt de totale hoeveelheid over deze periode

binnenkomende zonnewarmte veel sterker toe dan de behoefte daaraan. De benuttingsfactor zal dus voor deze langere periode lager zijn.

PrEN 832 geeft ook een methode om op basis van de eigenschappen van de constructies de tijdconstante als maat voor de gebouwtraagheid te berekenen. De tijdconstante wordt grofweg bepaald door de verhouding tussen de massa en het specifieke warmteverlies van het gebouw of de beschouwde zone van het gebouw.

ISSO 16 ([5]) is een berekening op seizoenbasis. In ISSO 16 is gekozen voor een vaste benuttingsfactor, plus een (eveneens vaste) correctiefactor voor de warmteverliezen. Het geldigheidsgebied is daardoor begrensd, doch de drempel voor gebruik ligt lager.

TCM-heat ([4]) gaat uit van maandberekeningen. De wiskundige formule voor de benuttingsfactor in TCM-heat wijkt af van de formule in PrEN 832, doch de ligging van de curven is vergelijkbaar; TCM-heat heeft echter aparte formules voor gebouwen met zware en gebouwen met lichte massa en voor situaties met en zonder nachtverlaging van de thermostaat. De traagheid van het gebouw zit dus niet in de formule zelf.

De verschillen in benuttingsfactor zijn betrekkelijk gering. Daarom zijn er slechts twee categorieën onderscheiden qua gebouwmassa:

- zwaar (steenachtig);
- licht (houtskeletbouw).

3.3 Berekening warmteverlies en warmtewinst

De beschreven methoden zijn wat betreft de bepaling van de warmteverliezen Q_{verl} en warmtewinst Q_{winst} qua opzet gelijk. Onder weglating van details:

Het warmteverlies:

$$Q_{\text{verl}} = H_{\text{verl}} \cdot (T_{\text{i,set}} - T_{\text{e}}) \cdot dt \quad (2)$$

met:

$$H_{\text{verl}} = H_{\text{tr}} + H_{\text{vent}}$$

H_{verl}	som van verliescoëfficiënten voor transmissie en ventilatie
$T_{i,\text{set}}$	minimaal gewenste binnentemperatuur (thermostaatstand);
T_e	gemiddelde buitentemperatuur;
dt	tijd.

Transmissie:

H_{tr}	som van $(U \cdot A)_k$ voor constructies k die de woning afscheiden van de omgeving
U	U-waarde constructie k
A	oppervlakte constructie k

Ventilatie :

$$H_{\text{vent}} = \rho \cdot c_p \cdot q$$

ρ	soortelijke dichtheid lucht
c_p	warmtecapaciteit lucht
q	debiet van de binnenkomende ventilatielucht

Binnenkomende warmte:

$$Q_{\text{winst}} = Q_{\text{zon}} + Q_{\text{int}} \quad (3)$$

Q_{zon}	binnenkomende zonne-warmte
Q_{int}	warmte afgegeven aan vertrek door interne bronnen (verlichting, personen, apparatuur)

Binnenkomende zonne-warmte:

$$Q_{\text{zon}} \quad \text{som van } (A \cdot ZTA)_k \cdot Q_{\text{zon},j} \text{ voor ramen } k \text{ met oriëntatie } j$$

A	oppervlakte raam k
ZTA	zontoetredingsfactor raam k
$Q_{zon,j}$	opvallende zonne-straling oriëntatie j

Warmte interne bronnen:

Q_{int}	som warmte-afgifte interne bronnen
-----------	------------------------------------

3.4 Berekeningsprocedure

De werkwijze is globaal als volgt:

- a) bereken Q_{winst} en Q_{verl} ;
- b) bepaal η aan de hand van de $\eta(\gamma)$ curve;
- c) bereken Q_{wb} uit Q_{winst} , Q_{verl} en η volgens vergelijking (1).

Vanuit de berekende warmtebehoefte kan het energiegebruik worden afgeleid door deling door verbrandingswaarde en installatie-rendement:

$$Q_{verw} = Q_{wb} / (H \cdot \eta_{inst}) \quad (4)$$

Q_{verw}	energiegebruik voor verwarming
H	verbrandingswaarde
η_{inst}	gebruiksrendement verwarmingsinstallatie

4. UITWERKING KEUZEN PER INGREDIËNT

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de verschillende aspecten en ingrediënten van de bepalingmethode, alsmede van de energieprestatie-eis besproken. Veel van de keuzen die geleid hebben tot het Ontwerp NEN 5128 zijn tot stand gekomen op basis van overwegingen en berekeningen die in diverse notities en rapporten aan de normcommissie ter overweging werden voorgelegd en hier in dit hoofdstuk zijn bijeengebracht.

4.2 Benuttingsfactor en periodeduur

4.2.1 Benuttingsfactor

Om met vergelijking (1) in hoofdstuk 3 de warmtebehoefte te kunnen bepalen, dient de relatie tussen de benuttingsfactor en de Winst/Verlies Verhouding en thermische traagheid bekend te zijn. Bovendien dient gekozen te worden tussen een berekening per maand of per seizoen. Bij keuze voor een seizoenberekening dient de lengte van het seizoen voor de berekening vastgesteld te worden.

Relaties voor de benuttingsfactor als functie van de Winst/Verlies Verhouding en thermische traagheid zijn afgeleid uit dynamische berekeningen met een complex gebouwsimulatiemodel. Uit dergelijke berekeningen volgt immers de 'ware' warmtebehoefte, die ingevuld in (1) de waarde voor η oplevert voor de gegeven situatie (lees: Q_{verl} , Q_{winst} en gebouwtraagheid). Door een voldoende groot aantal berekeningen uit te voeren ontstaan curven van η als functie van γ bij bepaalde traagheid van het gebouw.

Als duur van de beschouwde periode geldt in PrEN 832 een maand, maar een berekening op seizoenbasis is ook mogelijk, voor situaties waarin de lengte van het stookseizoen bekend is. PrEN 832 geeft hiervoor een bepalingmethode.

De gegeven relaties voor de benuttingsfactor zijn onlosmakelijk verbonden met de

aangenomen periodeduur. Indien bijvoorbeeld bij een seizoenberekening de periode (het stookseizoen) langer gekozen wordt, dan neemt de totale hoeveelheid over deze periode binnenkomende zonnewarmte veel sterker toe dan de behoefte daaraan. De benuttingsfactor zal dus voor deze langere periode lager zijn.

PrEN 832 geeft ook een methode om op basis van de eigenschappen van de constructies de tijdconstante als maat voor de gebouwtraagheid te berekenen. De tijdconstante wordt grofweg bepaald door de verhouding tussen de massa en het specifieke warmteverlies van het gebouw of de beschouwde zone van het gebouw.

In **PrEN 832** worden de volgende curven gegeven:

voor γ niet gelijk aan 1:

$$\eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{(a+1)}} \quad (5)$$

voor $\gamma = 1$:

$$\eta = \frac{a}{1+a}$$

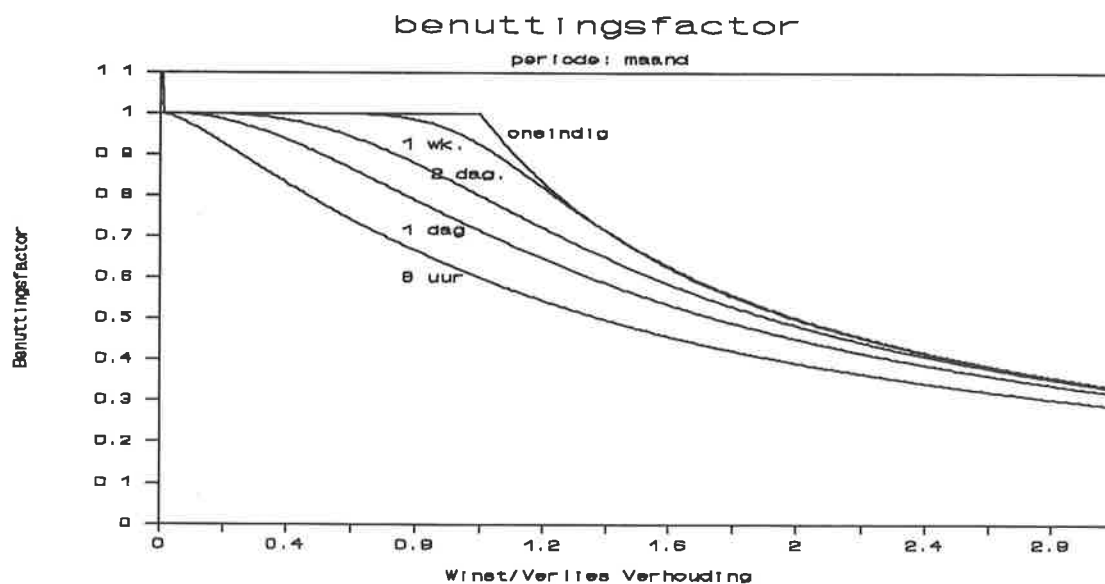
waarin a : een numerieke parameter die afhangt van de tijdconstante van het gebouw, volgens:

$$a = a_0 + \tau/\tau_0$$

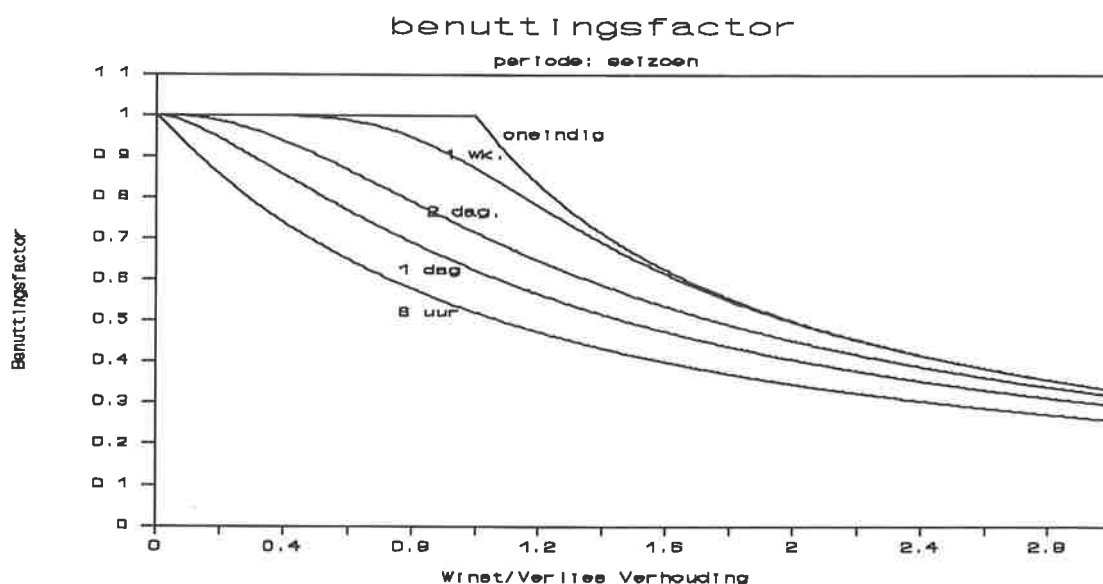
De waarden voor a_0 en τ_0 zijn:

periodelengte	a_0	τ_0
		(h)
maand	1	16
seizoen	0,8	28

Zie figuren 1 en 2 voor de benuttingsfactor voor maand- respectievelijk seizoenberekeningen.



Figuur 1 Benuttingsfactor uit PrEN 832 voor maandberekeningen



Figuur 2 Benuttingsfactor uit PrEN 832 voor seizoenberekeningen

TCM-heat ([4]) gaat uit van maandberekeningen. De wiskundige formule voor de benuttingsfactor in TCM-heat wijkt af van de formule in PrEN 832, doch de ligging van de curven is vergelijkbaar; TCM-heat heeft echter aparte formules voor gebouwen met zware en gebouwen met lichte massa en voor situaties met en zonder nachtverlaging van de thermostaat. De traagheid van het gebouw zit dus niet in de formule zelf.

De verschillen in benuttingsfactor zijn betrekkelijk gering. Daarom zijn er slechts twee categorieën onderscheiden qua gebouwmassa:

- zwaar (steenachtig);
- licht (houtskeletbouw).

De formule die TCM-heat hanteert bevat twee parameters, K en D genoemd, waarvan de waarde afhangt van de categorie:

bijvoorbeeld voor situaties met nachtverlaging van de thermostaat:

zwaar (steenachtig): $K=1,36$ $D=0,29$

licht (houtskeletbouw): $K=1,22$ $D=0,13$

De formule luidt:

$$\eta = 1 - \exp\{-K/(\gamma \cdot D)\} \quad (6)$$

doch indien hieruit volgt dat η groter is dan 1 (situatie met 100 procent benutting):

$$\eta = 1$$

of indien η groter is dan $1/\gamma$ (situatie met warmtebehoefte nul):

$$\eta = 1/\gamma$$

De parameters K en D die de ligging van de curve bepalen zijn gebaseerd op reeksen berekeningen die ook ten grondslag hebben gelegen aan de ontwikkeling van de eenvoudige rekenmethode ISSO 16 ([4]).

ISSO 16 ([5]) is een berekening op seizoenbasis. In ISSO 16 is gekozen voor een vaste benuttingsfactor, plus een (eveneens vaste) correctiefactor voor de warmteverliezen. Het geldigheidsgebied is daardoor begrensd, doch de drempel voor gebruik ligt lager.

Er is een duidelijke relatie tussen de TCM-heat methode en PrEN 832.

Voor een woning met bepaalde bouwwijze (dus massa) is de tijdconstante van de woning afhankelijk van het specifieke warmteverlies. Wanneer PrEN 832 wordt gevolgd, moet dus in feite voor iedere situatie apart de tijdconstante worden bepaald.

Fysisch is deze aanpak overigens wel beter; bovendien laat de formulering in het normontwerp PrEN 832 meer vrijheid toe bij de berekening.

De TCM-heat curve die geldt voor een steenachtige woning (categorie a1 in TCM-heat) valt nagenoeg samen met de PrEN 832-curve die geldt voor een woning met een tijdconstante van 84 uur.

NB: een nadere beschouwing heeft overigens geleid tot de keuze van de PrEN curve die geldt voor een tijdconstante van 120 uur, zie Ontwerp NEN 5128, bijlage B3.

Evenzo blijkt de TCM-heat curve die geldt voor een houtskelet-woning (categorie a3 in TCM-heat) nagenoeg samen te vallen met de PrEN 832-curve die geldt voor een

woning met tijdconstante van 36 uur.

Zie tabel 1.

Tabel 1 *Vergelijking benuttingsfactor TCM-heat en PrEN 832*

winst/verlies- verhouding	benuttingsfactor			
	zware woning		lichte woning	
	TCM-heat	PrEN 832	TCM-heat	PrEN 832
0	1	1	1	1
0,5	1,00	0,99	0,96	0,95
1,0	0,85	0,86	0,77	0,75
1,5	0,68	0,65	0,59	0,59
2,5	*	*	0,40	0,40
3,5	*	*	*	*

*: warmtebehoefte tot nul gereduceerd.

Hierbij zijn de curven vergeleken die gelden voor **maandberekeningen**.

4.2.2 Maand- of seizoenberekeningen

In principe zou eenzelfde formule voor de benuttingsfactor ook gebruikt kunnen worden voor **seizoenberekeningen**, mits de periodelengte daarvan strikt wordt vastgelegd. Hierboven werd reeds aangegeven dat PrEN 832 hiertoe de mogelijkheid biedt.

Ook voor de formule in TCM-heat kunnen K en D waarden afgeleid worden die gelden voor een geheel stookseizoen. In navolging van de periode die vanaf de ontwikkeling van ISSO 16 is gekozen, nemen we als vaste periode 1 oktober tot en met 30 april. Een kortere periode zou betekenen dat een deel van de periode dat nog verwarming nodig is uit het zicht verdwijnt. Een langere periode zou betekenen dat weken met veel zontoetreding en weinig tot geen warmtebehoefte relatief veel gaan bijdragen aan de warmtehuishouding over de beschouwde periode. Een andere keuze van de lengte van

de beschouwde periode is hiermee niet ondenkbaar, maar men moet zich realiseren dat 'per definitie' een andere keuze van de periode leidt tot een andere ligging van de benuttingsfactorcurve.

Voor de categorie a1 ('zware' woningen met nachtverlaging) zijn een aantal berekeningen uitgevoerd met TCM-heat. De maanduitkomsten voor Q_{wb} , Q_{verl} en Q_{winst} zijn gesommeerd over de 7 maanden van de beschouwde periode. Vervolgens is de η_{7mnd} curve afgeleid uit de vergelijking $\Sigma Q_{wb} = \Sigma Q_{verl} - \eta_{7mnd} \cdot \Sigma Q_{winst}$.

Resultaat is een curve met de parameterwaarden: $K=1,237$ en $D=0,1183$.

Een aantal berekeningen werd uitgevoerd aan woningen met uiteenlopende warmtehuishouding qua warmteverlies, zon en interne warmte om te zien waar de met de 'jaarmethode' berekende jaarlijkse warmtebehoefte ontoelaatbaar gaat afwijken van de uitkomst bereikt met de maandmethode.

Voor de beschouwde situaties blijkt de afwijking verwaarloosbaar te zijn, behalve voor situaties met lage warmtebehoefte gecombineerd met een sterk ongelijke verdeling van de warmtebehoefte over verschillende zones. Bijvoorbeeld: waar de berekening per maand voor een slaapverdieping in enkele (winter-)maanden nog wél warmtebehoefte te zien geeft, geeft de jaarberekening aan dat de warmtebehoefte nul is; dit wordt veroorzaakt door de uitmiddeling van warmteverlies en -winst over de gehele periode. Ook in die situaties bedraagt de absolute afwijking ten hoogste zo'n 60 m³ gas.

Conclusie: er is voor het merendeel van de voorkomende gevallen geen rechtvaardiging voor een energieprestatieberekening op maandbasis. Voor het ontwerp NEN 5128 is dan ook gekozen voor een berekening op seizoenbasis.

Overigens zou een maandberekening alleen een aantal repetities van eenzelfde berekening betekenen, hetgeen bij een geautomatiseerde versie door de gebruiker niet eens opgemerkt zou hoeven te worden. Voor berekeningen buiten de sfeer van de regelgeving zou een maandberekening in bepaalde gevallen opportuun kunnen zijn; voor maandberekeningen zijn slechts geringe aanpassingen van de formules nodig.

Voor het ontwerp NEN 5128 is overigens niet gekozen voor de TCM-heat formule,

maar voor de PrEN formule voor de benuttingsfactor, omwille van de internationale harmonisatie en omdat hierbij met één formule de gehele curve kan worden beschreven (behoudens het punt $\gamma=1$). Uiteindelijk is overigens in de normtekst de formule vervangen door tabelwaarden.

Voor het ontwerp NEN 5128 is ook gekozen voor een vaste (forfaitaire) waarde voor de tijdconstante: 120 uur. Zie hierover meer in de paragraaf over de invloed van de gebouwmassa.

4.2.3 Aard van de binnentemperatuur

Het warmteverlies wordt berekend vanaf de minimaal ingestelde temperatuur in de betreffende verwarmde zone. Dit betekent dat een stijging van de binnentemperatuur door zonne-warmte of interne bronnen niet hierin is meegenomen.

In feite zijn in vergelijking (1) twee termen weggelaten die elkaar opheffen (gelijk aan elkaar zijn):

1. de overtollige, onbenut binnenkomende warmte; dit is de warmte die niet heeft geleid tot vermindering van de warmte-afgifte van de verwarmingsinstallatie:
$$(1-\eta) \cdot Q_{\text{winst}}$$
2. de extra warmteverliezen door stijging van de binnentemperatuur t.g.v. de overtollige warmte:
$$H_{\text{verl}} \cdot (T_{\text{i,gemidd.}} - T_{\text{i,set}})$$

Bij de berekening van de warmtetransmissie en ventilatie van een *aangrenzende zone* is strikt genomen deze gemiddelde temperatuur nodig, als randconditie om het warmteverlies van of naar de betreffende zone te kunnen berekenen.

In TCM-heat wordt deze dan ook 'apart' berekend uit de zojuist gepresenteerde gelijkstelling:

$$T_{\text{i,gemidd.}} = T_{\text{i,set}} + (1-\eta) \cdot Q_{\text{winst}} / (H_{\text{verl}} \cdot dt) \quad (7)$$

In PrEN 832 en in NEN 5128 wordt in voorkomende gevallen een benadering

toegepast, waarbij de warmteuitwisseling tussen verschillende verwarmde zones plaats vindt op basis van de minimum temperatuur in de aangrenzende ruimte, in plaats van de (mogelijk hogere) gemiddelde temperatuur.

4.2.4 Globale indicatie thermisch comfort

De aldus berekende gemiddelde binnentemperatuur geeft als bijproduct een eerste indicatie van het thermisch comfort: indien teveel warmte binnenkomt van zon en/of interne bronnen die niet wordt gebruikt voor het terugdringen van de warmtebehoefte dan komt dit in de berekening tot uiting in de hoge waarde voor de gemiddelde binnentemperatuur.

Dit is direct gerelateerd aan het thermisch comfort.

Voor een nauwkeurige indicatie ten aanzien van het thermisch comfort is uiteraard het werkelijke dynamisch verloop van de binnentemperatuur van belang.

4.3 Woning-grootte

Een grotere woning heeft bij gelijke bouwvorm en uitvoering een groter warmteverliesoppervlakte, meer ventilatie en infiltratie. Indien we bedenken dat bijvoorbeeld ook een studentencomplex als één woning kan worden opgegeven, dan is duidelijk dat ook de interne warmteproductie en gebruik aan warmtapwater gerelateerd dient te worden aan de grootte van de woning.

Daartegenover staat dat de prestatie-eis ook op één of andere wijze rekening dient te houden met de grootte van de woning.

In het Ontwerp NEN 5128 is de grootte van de woning gebaseerd op de gebruiksoppervlakte (NEN 2580;1991) en de oppervlakte aan verblijfsgebieden. Het volume komt niet in de bepalingsmethode voor. Deze keuze sluit goed aan bij het Bouwbesluit. De gebruiksoppervlakte is een goede maat voor de 'bruikbare grootte' van de woning. De oppervlakte aan verblijfsgebieden is een goede maat voor de 'verwarmde ruimten' van de woning. Bij de bespreking van aspecten als ventilatie, interne warmteproductie en de energieprestatie-eis wordt één en ander nader geconcretiseerd.

4.4 Temperatuurzones

4.4.1 Inleiding

Eén van de meest ingrijpende beslissingen ten aanzien van de ontwikkeling van de bepalingsmethode voor de energiestatistiek van woningen en woongebouwen is de indeling in temperatuurzones.

Immers, de indeling van de woning in zones met een verschillende temperatuur betekent:

- de invoering van definities van de zones;
- de vaststelling van de warmte-uitwisseling tussen de zones;
- bij verwarmde zones: de vaststelling van de gewenste temperatuur;
- bij onverwarmde zones: de bepaling van de 'evenwichtstemperatuur';
- bij onregelmatig verwarmde zones: de bepaling van de gemiddelde temperatuur;
NB: bij schaars verwarmde zones: een combinatie van gewenste en evenwichtstemperatuur;
- de bepaling van de warmtebehoefte per zone op basis van de warmteverliezen, onderlinge warmte-uitwisseling en binnenkomende warmte van zon en interne bronnen;
en in dit kader de vaststelling van de benuttingsfactor γ .

Het is duidelijk dat deze factoren de bepalingsmethode aanzienlijk kunnen compliceren. Een bijkomend punt van overweging is, dat sommige factoren, ook voor de beschrijving van een 'gemiddelde' situatie, niet met grote nauwkeurigheid bekend zijn.

Al met al voldoende aanleiding om aan de indeling van de woning of het woongebouw in temperatuurzones ruime aandacht te besteden, gericht op de ontwikkeling van een methode die zo eenvoudig mogelijk is, en evenwichtig ten aanzien van de nauwkeurigheid en de invloed van verschillende ingrediënten.

4.4.2 Invloedsfactoren

Met betrekking tot de indeling van de woning of het woongebouw in temperatuurzones zijn de volgende factoren van belang:

Ook als voor verschillende vertrekken in de woning dezelfde gewenste temperatuur geldt, kan de werkelijke temperatuur per vertrek verschillen ten gevolge van een overschot aan binnenkomende warmte van zon en/of interne bronnen.

Een deel van de woning blijft onverwarmd. Hoe bepalen we de warmteverliezen naar dit deel van de woning.

Een deel van de woning wordt slechts ten dele verwarmd (slaapvertrekken). Wat is de gewenste temperatuur in deze vertrekken en hoe verrekenen we de warmte die vanuit de woonzone overvloeit.

In de volgende paragrafen wordt aan deze aspecten aandacht besteed.

Tevens wordt nagegaan wat de PrEN 832 voor mogelijke oplossingen biedt.

4.4.3 PrEN 832

In het normontwerp PrEN 832 wordt een onderscheid gemaakt tussen verwarmde en onverwarmde zones.

Voor een situatie met verwarmde zones op verschillende gewenste temperatuur worden twee methoden aanbevolen:

- a) wanneer de gewenste temperatuur meer dan 4 K verschilt of de warmtewinst (zon en interne warmte) sterk ongelijk is verdeeld:
aparte berekening per zone (meer-zone berekening);
- b) in andere gevallen: een één-zone benadering, met als gewenste temperatuur (thermostaat-instelling) het gemiddelde van de instellingen van elke zone, gewogen naar het specifieke warmteverlies van elke zone.

De warmteverliezen worden bepaald over de scheidingsconstructies van de (betreffende) verwarmde zone.

Onverwarmde zones worden dus tot de omgeving gerekend.

Voor scheidingsconstructies naar onverwarmde zones zonder zon of interne warmte wordt het warmteverlies berekend door de gecombineerde specifieke

warmteverliescoëfficiënt te bepalen van de inwendige scheidingsconstructie tussen verwarmde en onverwarmde zone en uitwendige scheidingsconstructie tussen onverwarmde zone en buiten.

Onverwarmde zones waarvan de temperatuur door zon of interne warmtebronnen positief wordt beïnvloed blijven buiten beschouwing. In een informatieve annex wordt voor serres een methode gegeven, gebaseerd op het principe van een gewogen toekenning van de in de serre binnenkomende zonnewarmte aan de woning, afhankelijk van de verhouding van de warmteverliescoëfficiënten van serre naar buiten en van woning naar serre.

Bij toepassing van deze voorgestelde aanpak in het kader van energieprestatie normering verdienen de volgende punten nadere aandacht:

- 1) voor de keuze tussen meer-zone of enkele zone berekening op basis van het criterium van de ongelijke verdeling van de warmtewinst over de zones ontbreekt een kwantitatieve grenswaarde;
- 2) een verdeling in verschillende zones vergroot alleen de nauwkeurigheid indien ook de warmte-uitwisseling tussen verwarmde zones en de warmteverliezen van verwarmde naar onverwarmde zones meegenomen worden. Dit maakt bepaling van de specifieke warmteverliescoëfficiënten van de inwendige scheidingsconstructies noodzakelijk.

Met name het laatste is voor woningen relevant.

In de volgende paragrafen komen deze punten terug. Hierbij is naar een uitwerking gezocht die het beste aansluit bij de Nederlandse situatie.

4.4.4 Indeling in vertrekken

Een overvloed aan zonnewarmte, tezamen met interne warmte in één vertrek leidt ertoe, dat maar een deel ervan leidt tot reductie van de warmtebehoefte; de rest is overtollig en leidt tot te hoge binnentemperatuur. In de tijd gemiddeld is de temperatuur in het betreffende vertrek dan hoger dan gewenst en we spreken van een niet volledige benutting van de binnenkomende warmte van zon en interne bronnen.

Aan deze benutting kennen we het uit hoofdstuk 3 reeds bekende begrip 'de benuttingsfactor' toe: de mate waarin, over de tijd gemiddeld deze bronnen nuttig zijn in het terugdringen van de warmtebehoefte die door een installatie moet worden gedekt. Berekeningen aan de NOVEM referentiewoning (doorzontype, [6], zie ook bijlage D van het normontwerp NEN 5128) kunnen de invloed van de benuttingsfactor illustreren. Wij hebben hier van de referentiewoning het slaapvertrek op het zuiden gekozen. Om vermenging met andere factoren te vermijden is de warmte-uitwisseling met andere ruimten in de woning in dit voorbeeld onderdrukt.

Tabel 2 Illustratie benuttingsfactor van zon en interne warmte op vertrekniveau

Situatie:	slaapvertrek;		
Oriëntatie:	Zuid;		
Minimumtemp.:	17 °C (etm.gemiddeld)		
periode (geselec- teerde maanden)	gemidd. temp. (°C)	benuttings- factor zon en interne warmte	bijdrage aan jaarlijkse warmtebehoefte (in %)
lichte woning:			
....			
maart	17,9	0,89	10
april	19,2	0,75	5
mei	21,4	0,52	1
....			
oktober	19,0	0,70	3
zware woning:			
....			
maart	17,3	0,97	9
april	18,3	0,85	3
mei	21,0	0,56	0
....			
oktober	18,3	0,80	1

Voor de slaapvertrekken op het noorden is de benuttingsfactor in dezelfde perioden steeds maximaal (=1,00).

In het algemeen kan men stellen dat, tenminste voor vertrekken met dezelfde gewenste temperatuur, een grotere warmte-uitwisseling tussen vertrekken altijd leidt tot een betere benutting.

In het gegeven voorbeeld dus bij een grote warmte-uitwisseling tussen de slaapvertrekken aan de noord- en zuidzijde van de woning.

Dus een berekening waarbij dergelijke vertrekken samengenomen worden zal in principe leiden tot te optimistische uitkomsten.

Om dit te illustreren hebben we hetzelfde voorbeeld berekend op twee manieren:

- a. slaapvertrekken aan de noord- en zuidzijde apart;
- b. slaapvertrekken aan de noord- en zuidzijde gecombineerd.

Tabel 3 Illustratie warmtebehoefte op vertrekniveau en gecombineerd

	jaarlijkse warmtebehoefte (MJ)		
	Zuid-zijde	Noord-zijde	samen
lichte woning:			
vertrekken apart	3349	4864	8213
vertrekken samen	-	-	7990
verschil			(-3 %)
zware woning:			
vertrekken apart	3134	4803	7937
vertrekken samen	-	-	7696
verschil			(-3 %)

De warmtebehoefte berekend met beide vertrekken samengenomen is slechts zo'n 3 procent te laag in vergelijking met de som van de warmtebehoeften van de vertrekken apart.

Het effect is betrekkelijk gering omdat in de mid-wintermaanden de benutting zonder meer 100 procent is (vergelijk tabel 2); terwijl aan de randen van het stookseizoen de warmtebehoefte te gering is om veel invloed uit te oefenen op het jaartotaal (zie tabel 2, april en oktober). Resteren de tussenliggende maanden, wanneer de warmtebehoefte nog vrij groot is, maar de benutting van zon en interne warmte niet meer 100 procent.

Het gegeven voorbeeld beschrijft overigens slechts een gemiddelde situatie en zeker geen situatie waar gestreefd is naar een maximale invang van zonnewarmte. Daar staat tegenover, dat het gegeven voorbeeld is gebaseerd op de veronderstelling dat er in het geheel geen uitwisseling plaatsvindt tussen de vertrekken. Veelal zal een deel van de overtollige warmte door transmissie, mogelijk ondersteund door ventilatie, overvloeien naar de andere ruimte(-n).

Voor de praktische uitvoerbaarheid spelen de volgende factoren eveneens een belangrijke rol:

Het principe van de vrije indeelbaarheid laat maar op beperkte schaal een indeling op vertrekniveau toe.

Voor de bepaling van de warmte-uitwisseling tussen individuele vertrekken zijn de warmtedoorgangscoefficienten en oppervlakten nodig van de betrokken inwendige scheidingsconstructies, alsmede een inschatting van de ventilatie-uitwisseling.

Conclusie:

op grond van de ongunstige verhouding tussen uitvoerbaarheid en invloed op het energiegebruik zijn in het normontwerp NEN 5128 vertrekken met dezelfde gewenste temperatuur samengenomen tot één temperatuurzone.

Resteert nog een discussie omtrent het eventuele onderscheid tussen woon- en slaapkamers. Deze discussie wordt gevoerd onder de titel: keuze van de binnentemperatuur

voor de berekening (4.4.7).

4.4.5 Woning als één zone of onverwarmde ruimte apart

Ondanks het feit dat er doorgaans een vrij grote mate van warmteuitwisseling plaatsvindt tussen verwarmde en onverwarmde ruimten, treden bij een berekening waarbij de gehele woning als één temperatuurzone wordt opgevat te grote afwijkingen op ten opzichte van een berekening die wél rekening houdt met de lagere temperatuur en dus de geringere warmteverliezen van onverwarmde ruimten.

Een onderscheid is nodig voor onverwarmde ruimten die thermisch duidelijk zijn *gescheiden* van de rest van de woning (bijv. een *buiten de geïsoleerde schil* gelegen berging, serre (afhankelijk van de uitvoering!)) en ruimten die *binnen de geïsoleerde schil* liggen (bijv. zolderberging).

Onverwarmde ruimten die thermisch duidelijk zijn *gescheiden* van de rest van de woning worden voor de berekening als *buiten de woning* gelegen beschouwd. Uiteraard dient één en ander zorgvuldig, eenduidig en oplossingsonafhankelijk te worden geformuleerd. Deze formulering is te vinden in de tekst van het normontwerp (4.3.3.2.: begrenzing van de woning).

Voor de ruimten die *binnen de geïsoleerde schil* liggen wordt de berekening uitgevoerd alsof de ruimte verwarmd is, doch met toevoeging van een *weegfactor* (*b*) kleiner dan 1 die aangeeft dat het warmteverlies minder is ten gevolge van de in die ruimte heersende lagere temperatuur. Uiteraard geldt ook nu dat een zorgvuldige, eenduidige en oplossingsonafhankelijke formulering nodig is om niet in conflict te raken met de randvoorwaarden die door de regelgeving worden gesteld. Zo zullen verblijfsruimten nooit in een onverwarmde zone mogen worden gesitueerd en zal een scheiding tussen verwarmde en onverwarmde zone nooit kunnen worden aangegeven ter plaatse van een niet-verplichte scheidingsconstructie (vrije indeelbaarheid!). Zie tekst normontwerp (5.4 Indeling in temperatuurzones).

4.4.6 Weegfactor b voor onverwarmde zone in een woning

Een onverwarmde zone kan volgens PrEN 832 mee worden genomen door als warmteverlies van deze zone naar de omgeving de volgende formule te hanteren:

$$Q_{\text{verl;onverw}} = H_{\text{verl}} \cdot (T_{i,\text{set}} - T_e) \cdot dt \quad (8a)$$

$$\text{met: } H_{\text{verl}} = \frac{H_{\text{int}} \cdot H_{\text{ext}}}{H_{\text{int}} + H_{\text{ext}}} \quad (8b)$$

waarin:

H_{int} is de warmteverliescoëfficiënt van verwarmde zone naar de onverwarmde ruimte

H_{ext} is de warmteverliescoëfficiënt van onverwarmde zone naar buiten

$T_{i,\text{set}}$ is de minimaal ingestelde temperatuur in de aangrenzende verwarmde zone

Deze formule is te begrijpen indien men de warmtebalans voor de betreffende zone uitschrijft.

Formule (8b) is ook te schrijven als:

$$H_{\text{verl}} = H_{\text{ext}} \cdot \frac{H_{\text{int}}}{H_{\text{int}} + H_{\text{ext}}} \quad (8c)$$

waarbij het tweede deel van het rechterlid is te lezen als een **weegfactor (b)** voor het feit dat de ruimte onverwarmd is:

$$Q_{\text{verl;onverw}} = b \cdot H_{\text{ext}} \cdot (T_{i,\text{set}} - T_e) \cdot dt \quad (9a)$$

$$\text{met } b = \frac{H_{\text{int}}}{H_{\text{int}} + H_{\text{ext}}} \quad (9b)$$

In NEN 5128 wordt vergelijking (9) gebruikt in plaats van (8); de uitkomsten zijn uiteraard niet verschillend. Het voordeel van (9) is echter, dat deze weegfactor ook te gebruiken is om de in de onverwarmde ruimte binnenkomende zonnewarmte en warmte van interne bronnen mee te wegen:

In NEN 5128:

$$Q_{\text{winst;onverw}} = b \cdot (Q_{\text{zon}} + Q_{\text{int}}) \quad (10)$$

Eén en ander is weer af te leiden door de warmtebalans uit te schrijven. Men kan de werking van de weegfactor intuïtief begrijpen door zich het volgende voor te stellen: de binnenkomende warmte leidt tot een temperatuurstijging van de onverwarmde ruimte. Deze extra warmte verdwijnt daardoor ten dele weer naar buiten, zonder effect op de warmtehuishouding van de aangrenzende verwarmde ruimten; voor het resterende deel leidt deze extra warmte tot een terugdringen van het warmteverlies vanuit de aangrenzende verwarmde ruimte. Hoe gemakkelijker de interne warmteuitwisseling (H_{int}), in verhouding tot het externe warmteverlies (H_{ext}), des te meer zal de warmte ten goede komen aan terugdringen van de warmtebehoefte in de aangrenzende verwarmde ruimte (b dicht bij 1).

De weegfactor is opgebouwd uit twee elementen: H_{ext} en H_{int} .

De bepaling van eerstgenoemd element is een regulier onderdeel van de bepaling van de transmissie- en ventilatieverliezen van de woning.

De bepaling van de specifieke warmteverliezen tussen verwarmde en onverwarmde ruimte is echter gecompliceerder.

Er is voor gekozen om met forfaitaire waarden voor de warmte-uitwisseling te rekenen, d.w.z. een forfaitaire U-waarde van $U=2,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (zie NEN 5128, 5.11.1), plus

een forfaitaire warmteuitwisseling door ventilatie (zie NEN 5128, 5.13).

Indien men kan aantonen dat de zonescheiding in een woning in werkelijkheid een betere thermische scheiding bezit (bijvoorbeeld: isolatie van de vloer van de zolderberging), dan mag men uiteraard daarmee rekenen in plaats van de forfaitaire waarden.

4.4.7 Keuze binnentemperatuur

4.4.7.1 Inleiding

In [7] is een inventarisatie gemaakt van gemeten gemiddelde binnentemperaturen en temperatuurinstellingen.

Als grondslag voor de berekeningen zoeken we naar de *minimum*temperatuur die in een bepaalde ruimte wordt gevraagd.

Gemeten *gemiddelde* temperaturen kunnen daarom niet zonder meer als uitgangspunt voor berekeningen worden gebruikt, daar zij in zekere mate beïnvloed zijn door bij tijd en wijle teveel aan binnenkomende warmte van zon en interne bronnen en, met name bij slaapkamers, door warmte die overvloeit uit aangrenzende warmere ruimten.

Hetzelfde geldt voor de temperatuurregeling: radiatoren staan dicht omdat de gewenste minimumtemperatuur zonder verwarming bereikt wordt; dit kan iets zeggen over de gewenste temperatuur of over de mate van warmte-uitwisseling met wèl verwarmde vertrekken.

4.4.7.2 Resultaten inventarisatie

De resultaten van de inventarisatie [7] ten aanzien van de binnentemperaturen kunnen als volgt worden samengevat:

Woonkamer:

de kamerthermostaat staat gemiddeld op dag/avond/nacht=19/20/14,5 C.

De radiatoren cq het inblaasrooster staan altijd open.

De gemiddelde etmaaltemperatuur is circa 18,5 C.

Open keuken:

de temperatuur waarop de radiator geregeld wordt, de begrenzingstemperatuur voor verwarming, is gemiddeld 18,0 C,

bij een gemiddelde etmaaltemperatuur van circa 18,5 C.

Gesloten keuken:

de begrenzingstemperatuur voor verwarming is gemiddeld 17,5 C.

Bij radiatorverwarming komt de gemiddelde temperatuur 0,5 K lager uit dan de woonkamertemperatuur.

Entree:

de begrenzingstemperatuur voor verwarming is gemiddeld 17,0 C, bij een gemiddelde etmaaltemperatuur van circa 17,5 C.

Slaapkamer:

De begrenzingstemperatuur voor verwarming is gemiddeld 15,5 C, bij een gemiddelde etmaaltemperatuur van circa 16,0 C.

De spreiding in temperaturen is echter groot.

Bij matige buitentemperaturen wordt 75 % van de slaapkamers niet verwarmd.

Bij koud weer gelden de volgende cijfers voor gebruik van radiatoren in de slaapkamer:

10 a 20 % staat open

30 % staat open of is wisselend open of dicht

50 a 40 % is dicht

Bij luchtverwarming met mengkleppen in de slaapkamers wordt duidelijk meer verwarmd dan bij radiatorverwarming:

40 % open

10 % wisselend

50 % dicht

Er is nauwelijks onderscheid geconstateerd tussen hoofdslaapkamer en andere slaapkamers.

Badkamer:

De begrenzings temperatuur voor verwarming is gemiddeld 16,5 C, bij een gemiddelde etmaaltemperatuur van circa 17,0 C.

De spreiding in gebruik is groot.

Zolder:

Het aantal gegevens over het gebruik van zolders is gering.

Uit een klein aantal gegevens voor een zolder met radiator volgt een begrenzings temperatuur voor verwarming van gemiddeld 13,0 C, bij een gemiddelde etmaaltemperatuur van circa 13,5 C.

4.4.7.3 Standaard bewonersgedrag

Uit bovenstaande gegevens wordt het volgende standaard bewonersgedrag afgeleid:

Woonkamer:

temperatuurinstelling: dag/avond/nacht=19/20/14,5 C

Keuken:

het onderscheid tussen gesloten en open keuken is gering.

Aangenomen wordt dat de keuken dezelfde temperatuurinstelling heeft als de woonkamer.

Dit heeft als bijkomend effect dat geen inbreuk wordt gedaan aan de vrije indeelbaarheid.

Entree en gang:

Voor de entree zou op grond van [7] een circa 1 K lagere temperatuur gekozen moeten worden dan in de woonkamer.

In verband met de vrije indeelbaarheid wordt de volgende regel aangehouden:

indien ruimten als entree of gang door een dragende of verplichte constructie geheel gescheiden zijn van een verblijfsgebied worden zij als onverwarmd beschouwd.

In andere gevallen wordt de temperatuurinstelling in die ruimten gelijk gekozen aan die

van de aangrenzende verblijfsruimte(n).

Een verplichte constructie is bijvoorbeeld de scheidingsconstructie rond toilet of badkamer.

Men zou kunnen overwegen om de ingestelde temperatuur van de woonkamer plus entree en gang met een forfaitaire waarde te corrigeren voor de lagere temperatuur in deze ruimten. Er is voor gekozen om dit **niet** te doen; in veel gevallen is sprake van een vrijwel inpandige entree en gang, waarvoor de correctie verwaarloosbaar is. In afwijkende situaties, met bijvoorbeeld een groot glasvlak in entree of gang, blijft het op grond van de vrije indeelbaarheid mogelijk dat bestaande scheidingen met verblijfsruimten vervallen met de bijbehorende gevolgen voor de minimum binnentemperatuur.

Slaapkamer:

Het wisselende gebruik van de slaapkamers laat zich niet op voorhand vertalen in een gemiddelde, gematigde temperatuurinstelling.

Een *gemiddelde*, gematigde temperatuurinstelling betekent namelijk in veel situaties, dat er reeds voldoende zonnewarmte en warmte vanuit de woonkamer binnenkomt, zodat er niet verwarmd hoeft te worden.

Bij een *wisselende* temperatuurinstelling is sprake van een vrije daling van de temperatuur tot een lage evenwichtstemperatuur, afgewisseld met situaties waarop een hoge temperatuur wordt gevraagd. Deze hoge temperatuur zal doorgaans niet door warmte van de zon en overvloeien van warmte uit de woonkamer kunnen worden bereikt.

Uiteraard kan de situatie met wisselende temperatuurinstelling *benaderd* worden door een situatie met een bepaalde gemiddelde temperatuur. De vraag is dan welke temperatuur hiervoor gekozen moet worden om dezelfde warmtebehoefte te krijgen als bij wisselend gebruik.

Zoals uit het voorgaande duidelijk zal zijn hangt deze temperatuur af van factoren als de mate van warmte-uitwisseling met de woonkamer.

Er wordt dan ook in eerste instantie als uitgangspunt een gestyleerd standaard bewonersgedrag aangenomen waarin deze vertaalslag naar een gemiddelde

temperatuurinstelling nog niet is gemaakt en waarin woon- en slaapzone apart worden beschouwd, met de bijbehorende onderlinge warmteuitwisseling door transmissie en ventilatie.

Aan de hand van dynamische berekeningen wordt vervolgens een vertaling naar gemiddelde temperatuur gemaakt die geldt voor gebruikelijke situaties. Dit maakt het mogelijk voor bijzondere situaties na te gaan of een andere ("gelijkwaardige") vertaalslag van toepassing is. Dit zou bijvoorbeeld kunnen gelden voor situaties met compartimentering.

Hiertoe wordt de in [7] gegeven verdeling in verwarmd, wisselend verwarmd en onverwarmd gestyleerd tot een gebruikspatroon van 2 dagen per week verwarmd en 5 dagen onverwarmd. Hiermee wordt recht gedaan aan de gegeven spreiding in bewonersgedrag. Bovendien laat een dergelijk gedrag zich goed modelleren voor dynamische berekeningen.

Bij onverwarmd wordt overigens wel een ondergrens voor de temperatuur gehanteerd, ervan uitgaande dat de bewoners op een of andere manier een te lage temperatuur tegengaan, bijvoorbeeld ter voorkoming van overmatige condensvorming.

De minimum nachttemperatuur wordt lager gekozen dan in de woonkamer.

Dus:

2 dagen per week: dag/avond/nacht=19/20/10 C

5 dagen per week: dag/avond/nacht=14/14/10 C

Badkamer en toilet:

Gezien de grote spreiding in gebruik van verwarming in de badkamer en de geringe invloed op het totaal, wordt de badkamer meegenomen met het aangrenzende verblijfsgebied op dezelfde bouwlaag.

Hetzelfde geldt voor een toilet.

Zolder en andere berging:

Een zolder die niet als verblijfsgebied is gedefinieerd wordt als onverwarmd beschouwd.

Hetzelfde geldt voor elke andere berging, indien deze ruimte door een dragende of verplichte constructie geheel gescheiden is van een verblijfsgebied.

In andere gevallen wordt de temperatuurinstelling in die ruimte gelijk gekozen aan die van de aangrenzende verblijfsruimte(n).

Een verplichte constructie is bijvoorbeeld de scheidingsconstructie rond toilet of badkamer.

4.4.7.4 Resulterende temperatuur

De temperatuur waarop geregeld wordt is de zogenaamde resulterende temperatuur; deze temperatuur is een goede benadering voor de temperatuur die door de bewoners wordt gevoeld ('comfort-temperatuur').

De resulterende temperatuur wordt gedefinieerd door:

$$T_{\text{res}} = (T_{\text{lucht}} + T_{\text{stral}})/2 \quad (11)$$

waarin T_{stral} : de gemiddelde temperatuur van de naar het vertrek gekeerde oppervlakken van de scheidingsconstructies.

T_{lucht} : de gemiddelde luchttemperatuur in het vertrek

4.4.7.5 Samenvatting

In de woning of het woongebouw worden in eerste instantie de volgende soorten temperatuurzones onderscheiden:

zone 1: verwarmde zone, zone die overdag en 's avonds tot comfortniveau wordt verwarmd (woonfunctie);

zone 2: matig verwarmde zone, zone die wisselend wordt verwarmd (slaapfunctie, studie, hobby);

zone 3: onverwarmde zone (berging, e.d.).

De in de onderscheiden zones geldende minima voor de resulterende temperatuur zijn in het Ontwerp NEN 5128 te vinden in Bijlage C tabel C.1.

4.4.7.6 Vertaalslag tot normtekst

De in 4.4.7.3 gegeven minimumtemperaturen in de verschillende zones dienen nog vertaald te worden naar voor de norm bruikbare definities en rekenwaarden.

Zone-indeling:

Omdat doorgaans het effect van een apart beschouwen van de temperaturen in 'woonzone' en 'slaapzone' op de berekende warmtebehoefte gering is en niet zal leiden tot andere ontwerpbeslissingen worden in het normontwerp NEN 5128 de verwarmde en matig verwarmde zone samengenomen tot één temperatuurzone.

De grenzen tussen de aldus ontstane verwarmde zone en eventuele onverwarmde zones worden gekozen rond de verblijfsgebieden, waarbij ruimten die niet door middel van een dichte en vaste scheidingsconstructie geheel van een verblijfsgebied zijn gescheiden tot de betreffende verwarmde zone worden gerekend.

Vaste scheidingen zijn dragende scheidingsconstructies (vloeren, dragende wanden) of verplichte scheidingsconstructies (wanden toilet, badruimte, e.d.).

Voor situaties waarbij men zich moet baseren op de uitgangspunten omdat de bepaling-smethode als zodanig niet geschikt is (met een beroep de het Bouwbesluit begrip 'gelijkwaardigheid') speelt nog een complicatie mee: in het kader van de vrije indeelbaarheid zijn de begrippen woonkamer en slaapkamer onbekend: alleen het begrip verblijfsruimte is in dit kader gedefiniëerd. Voor die gevallen is als uitgangspunt vastgelegd dat in een woning tenminste 1/3 van het verblijfsgebied van de woning inclusief het evenredige deel van een gemeenschappelijk verblijfsgebied als woonzone dient te worden aangemerkt voor de berekening.

Voorbeeld: begane grondverdieping van een eengezinswoning.

Voor het normontwerp is de temperatuur van de verwarmde zone van waaruit het warmteverlies moet worden bepaald gebaseerd op de uitkomsten van een aantal dynamische berekeningen.

Bij de berekeningen is gekozen voor de NOVEM doorzon referentiewoning, de hoekwoning variant:

Tabel 4 Maandberekening

	januari			april			okt t/m apr
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	w.behoefte
							(MJ)
ESP	18,8	15,8	12,2	19,0	16,6	13,8	27396
EPN-m	19,0	16,5	12,4	19,0	16,5	13,5	25046

waarin:

T: gemiddelde temperatuur in zone 1 (b.g.), 2 (eerste verd.) en 3 (zolder)

ESP: dynamische berekening met het programma ESP

EPN-m: berekening volgens concept energie prestatienorm
maandelijkse berekening, met aparte zones

Met name de berekende temperaturen laten zien dat een exacte overeenstemming niet haalbaar is. Daarvoor zijn de specifieke kenmerken van een dynamische, uurlijkse berekening van te grote invloed. Vooral de traagheidseffecten, het effect van nachtverlaging en wisselend gebruik in zone 2 werken door op de warmtebehoefte en de gemiddelde temperatuur.

Een EPN berekening op seizoenbasis geeft het volgende beeld:

Tabel 5 Seizoenberekening

	oktober t/m april			okt t/m april
	T1	T2	T3	w. behoefte
				(MJ)
ESP	19,0	16,6	13,8	27396
EPN-j	19,0	16,5	13,4	25426

waarin:

T: gemiddelde temperatuur in zone 1 (b.g.), 2 (eerste verd.) en 3 (zolder)

ESP: dynamische berekening met het programma ESP

EPN-j: berekening volgens concept energie prestatienorm
seizoen berekening, met aparte zones

De jaarlijkse warmtebehoefte wijkt niet veel af van de maandelijkse berekening. De gemiddelde temperaturen komen goed overeen met de dynamische berekening.

Tenslotte nog een EPN berekening waarbij zone 1 en 2 zijn samengenomen, met een aangenomen minimumtemperatuur van 18,0 C:

Tabel 6 *Twee zones*

	oktober t/m april		okt t/m april
	T1 + T2	T3	w. behoefte
			(MJ)
ESP	17,8	13,8	27396
EPN-jz	18,0	14,5	26117

waarin:

- T: gemiddelde temperatuur in zone 1 (b.g.), 2 (eerste verd.) en 3 (zolder)
 ESP: dynamische berekening met het programma ESP
 EPN-jz: berekening volgens concept energie prestatienorm
 seizoen berekening, met gemengde zone 1 en 2

De berekende warmtebehoefte is nu iets hoger. De verliezen via de zolder zijn iets toegenomen, door de hogere temperatuur onder de zoldervloer.

NB: de berekende gemiddelde temperatuur kan bij de dynamische berekening lager uitkomen dan de minimumtemperatuur door het effect van nachtverlaging.

Bij de hier gepresenteerde EPN berekeningen is geen aparte correctie voor het effect van nachtverlaging toegepast, zodat dit effect in de minimumtemperatuur zelf moet worden verwerkt (zie ook aparte paragraaf over nachtverlaging).

Op basis hiervan is voor de temperatuur in de verwarmde zone voor de berekening van het warmteverlies de waarde 18 °C gekozen.

Voor de volledigheid nog een opmerking die verband houdt met de indeling in zones.

Onverwarmde zone (zone 3):

Zone 3 is in deze EPN berekeningen nog apart berekend. In een eerdere paragraaf werd reeds aangetoond dat deze aparte berekening vervangen kan worden door de warmteverliezen en warmtebronnen in zone 3 mee te nemen met een weegfactor, b. De uitkomsten zijn echter hetzelfde.

4.5 Bepaling warmtedoorgangscoefficiënt, algemeen**4.5.1 Warmtetransmissie ramen en deuren**Oppervlakte ramen en deuren

Er wordt uitgegaan van het totaal-oppervlak van het raam, inclusief kozijn.
De afmetingen voor een deur worden eveneens inclusief kozijn genomen.

U-waarde ramen en deuren

De U-waarde van ramen en deuren wordt gebaseerd op het totaal-oppervlak inclusief kozijn.

Binnenkort verschijnt een Europese Ontwerpnorm [8] met een eenvoudige berekening van de U-waarde van ramen als functie van U-waarde beglazing, U-waarde kozijn en afstandhouder beglazing.

Hieronder wordt de belangrijkste procedure uit dit document gepresenteerd en worden enkele getalwaarden afgeleid voor de U-waarde van ramen.

De U-waarde van een raam is volgens [8] gelijk aan:

$$U_{\text{raam}} = \frac{A_{\text{kozijn}} \cdot U_{\text{kozijn}} + A_{\text{glas}} \cdot U_{\text{glas}} + L_{\text{rand}} \cdot \Psi_{\text{rand}}}{(A_{\text{kozijn}} + A_{\text{glas}})} \quad (12)$$

waarin:

- A_{kozijn} : oppervlakte kozijn (m^2)
 A_{glas} : oppervlakte beglazing (m^2)
 U_{kozijn} : warmtedoorgangscoefficiënt kozijn ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
 U_{glas} : warmtedoorgangscoefficiënt beglazing ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
 L_{rand} : lengte rand beglazing (m)
 Ψ_{rand} : lineaire warmtedoorgangscoefficiënt rand glas (W/mK)

Het effect van de omranding hangt af van de combinatie van beglazing (met name de afstandhouder bij meervoudige beglazing) en het kozijn.

Getalwaarden voor U_{glas} zijn af te leiden uit [9].

In [8] zijn in een informatieve bijlage tabellarische waarden gegeven voor U_{kozijn} en zijn voor een groot aantal combinaties beglazing en kozijn de Ψ -waarden gegeven, opgesplitst in een aandeel Ψ_1 en een aandeel Ψ_2 .

Bij de afleiding van getalwaarden voor het Ontwerp NEN 5128 zijn een aantal uitgangspunten aangehouden:

Raamafmetingen:

Dit is van belang voor de verhouding glas/kozijn en de invloed van de rand.

Er is uitgegaan van vast kozijnaandeel van 25 %.

Raamsoorten:

Kozijn:

vergelijkbaar met NEN 1068, onderscheid in:

- kunststof/hout
- metaal, thermisch onderbroken
- overig

Als U-waarden zijn de meest ongunstige waarden uit [8] overgenomen.

Beglazing:

Enkelglas, dubbelglas, warmtereflecterend en argongevuld:

4 mm glas:

- enkel glas
- dubbel glas
- dubbel glas, warmtereflecterend
- dubbel glas, warmtereflecterend, argongevuld

Ten aanzien van de warmtereflecterende laag zijn twee waarden voor ϵ onderscheiden.

Rand:

omdat de spouwbreedte bij dubbelglas een grote invloed heeft op de U-waarde:

spouwbreedte 6 en 12 mm;

afstandhouder bij dubbelglas: metalen afstandhouder

Tabel 7a *Raamafmetingen*

raamafmetingen		kozijnbreedte
h	b	d
(m)	(m)	(m)
1.25	1.50	0.09

afgeleide grootheden:

Tabel 7b *Oppervlakte en omtrek*

oppervlakte			kozijn	omtrek glas rand
A	A	A	fractie	L
raam	glas	kozijn		
(m ²)	(m ²)	(m ²)	(-)	(m)
1.88	1.41	0.46	0.25	4.78

U- en Ψ -waarden van kozijn en rand ($W/(m^2K)$, $W/(mK)$):

Tabel 8a *Kozijn en rand*

kozijn	U_{kozijn}	Ψ_2
hout/kunststof	2,40	0,02
metaal onderbroken	3,80	0,04
overig	7,00	0,00

Tabel 8b *Glas en rand*

glas	U_{glas}	Ψ_1
e.glas	5,75	0,00

4/6/4	U_{glas}	Ψ_1
d.glas	3,28	0,01
w.refl. $\epsilon=0,10$	2,57	0,02
w.refl. $\epsilon=0,25$	2,78	0,02
argon+ $\epsilon=0,10$	2,11	0,02
argon+ $\epsilon=0,25$	2,38	0,02

4/12/4	U_{glas}	Ψ_1
d.glas	2,85	0,01
w.refl. $\epsilon=0,10$	1,81	0,02
w.refl. $\epsilon=0,25$	2,12	0,02
argon+ $\epsilon=0,10$	1,46	0,03
argon+ $\epsilon=0,25$	1,83	0,03

Het resultaat, de U-waarde van een raam inclusief randeffect en kozijn is gegeven in het ontwerp NEN 5128 (5.10.3.2, tabel 2).

Invloed nachtelijke isolatie ramen

In de norm is een aanwijzing opgenomen dat nachtelijke isolatie alleen in rekening mag worden gebracht indien aannemelijk gemaakt kan worden dat deze ook daadwerkelijk veelvuldig gebruikt wordt. Dit geldt bijvoorbeeld bij van binnenuit bedienbare luiken.

Voor de U-waarde van ramen met tijdelijke isolatie-voorzieningen wordt met een opmerking verwezen naar het concept van de CEN bepalingsmethode. Deze verwijzing is niet rechtstreeks vanuit de normtekst, aangezien de CEN methode nog geen definitieve status heeft.

4.5.2 Warmte-transmissie niet-transparante constructies

Oppervlakte

Bepalingswijze uit NEN 1068 overgenomen.

U-waarde

Wat betreft niet-transparante constructies wordt verwezen naar NEN 1068.

4.5.3 Koudebruggen

4.5.3.1 Inleiding

Ten aanzien van het warmteverlies bij koudebruggen is het van belang het volgende onderscheid te maken:

- koudebruggen, die gevormd worden door op elkaar aansluitende scheidingsconstructies, in de zin van NEN 1068. Dit type koudebruggen wordt hier verder aangeduid met "aansluitingskoudebruggen". Het zijn de details die bij de bepaling van de warmteweerstand volgens NEN 1068 buiten beschouwing blijven.
- koudebruggen, die deel uit maken van een scheidingsconstructie, op een wijze dat de thermische kwaliteit van de scheidingsconstructie beïnvloed wordt. Dit type koudebruggen wordt hier verder aangeduid met "constructieve koudebruggen".

4.5.3.2 Aansluitings-koudebruggen

In het Bouwbesluit wordt een eis gesteld aan de thermische kwaliteit van aansluitingskoudebruggen in verband met condensatie (minimale temperatuurfactor). Deze eis heeft geen directe relatie met het warmteverlies, doch in de praktijk zal het warmteverlies door constructies die aan de Bouwbesluit-eis voldoen veelal beperkt zijn. Uit enkele voorbeelden van berekeningen aan vloeraansluitingen wordt een indruk verkregen van de mogelijke orde van grootte: in de orde van 10 tot 15% van het totale

transmissiewarmteverlies. Een betrouwbare schatting kan alleen gemaakt worden op basis van berekeningen waarbij ook andere aansluitingen meegenomen worden.

Het bepalen van het warmteverlies via een aansluitingskoudebrug is sterk afhankelijk van de constructieve opbouw ter plaatse van de aansluiting en vergt een vrij complexe berekening.

Om deze redenen is besloten om aansluitingskoudebruggen niet in de energieprestatienormering mee te nemen.

4.5.3.3 Constructieve koudebruggen

Het betreft in dit verband scheidingsconstructies, geen raam of deur zijnde, die uit meer dan een sectie bestaan.

De vereenvoudigde rekenregels in NEN 1068 worden in de praktijk nauwelijks toegepast en kunnen vrij onnauwkeurig zijn.

In aanvulling op de vereenvoudigde rekenregels in NEN 1068 is een berekeningsmethode nodig die gebruik maakt van eindige differenties of eindige elementen. In sommige kwaliteitsverklaringen worden dergelijke numerieke methoden reeds gebruikt (bijv. Vecibin-beoordelingsrichtlijn voor vloerconstructies).

4.5.4 Temperatuur aangrenzende ruimte buiten de woning

Algemeen

Voor zover de **omgeving**, grenzend aan de woning bestaat uit besloten ruimten, is sprake van een geringer temperatuurverschil over de betreffende scheidingsconstructies in vergelijking met het temperatuurverschil over een scheidingsconstructie met de buitenlucht. Dit beïnvloedt de bepaling van de warmtetransmissie van de woning.

Het effect van de temperatuur in aangrenzende -niet tot de woning of het woongebouw behorende- ruimten op het warmteverlies door transmissie wordt verdisconteerd met

behulp van een **weegfactor, a**, met waarde kleiner of gelijk aan 1. De waarde van deze weegfactor is afhankelijk van de aard van de aangrenzende ruimte en van de mate van warmte-uitwisseling naar deze ruimte en van deze ruimte naar buiten.

Warmteverlies bij begane grond vloeren

Het gebied onder de begane grond vloer wordt opgevat als een aangrenzend buitengebied waar een bepaalde temperatuur heerst, vergelijkbaar met andere aangrenzende ruimten.

Het effect van funderingsisolatie wordt niet in rekening gebracht, omdat dit sterk afhangt van de detaillering van de aansluitingen.

Serres

In het normontwerp (5.10.4.5) is de mogelijkheid opgenomen om door de zon verwarmde ruimten, zoals serres, te beschouwen als een aparte, *aangrenzende onverwarmde ruimte*. Hiervoor wordt wederom een weegfactor afgeleid die aangeeft in welke mate het gemiddelde temperatuurverschil tussen woning en serre kleiner is dan het temperatuurverschil tussen woning en buitenlucht.

Voor de afleiding van deze weegfactor is een formule gegeven die is afgeleid van de volledige warmtebalans (transmissie, ventilatie en zontoetreding) voor de serre. Omdat het een onverwarmde ruimte betreft, zou de stationaire warmtebalans over het stookseizoen volstaan om de gemiddelde temperatuur van de serre af te leiden.

Toch is de in de serre binnenkomende zonnewarmte vermenigvuldigd met een **benuttingsfactor**. De aanpak vertoont hierdoor dus een sterke parallel met de aanpak zoals die voor de woning zelf geldt. Voor een *onverwarmde* ruimte als een serre kan men echter niet spreken van een minimumtemperatuurniveau en een daaruit afgeleide afweging van nuttige en overvloedige binnenkomende warmte, zoals bij verwarmde ruimten.

Wel kan men spreken over een maximumtemperatuur: indien de temperatuur in de serre hoger oploopt dan een bepaald maximum, dan zal de alsnog binnenkomende zonnewarmte niet worden gewaardeerd. De bewoners zullen bijvoorbeeld trachten deze

warmte te keren door extra ventilatie en/of te weren door middel van zonwering. De betreffende maximumtemperatuur is gesteld op 24 °C.

De benuttingsfactor is afgeleid voor deze bovengrens en gegeven als functie van de verhouding tussen warmtewinst en warmteverlies. Voor het warmteverlies geldt ook weer: voor een onverwarmde ruimte als een serre is geen sprake van een minimumtemperatuur waarop het warmteverlies kan worden gebaseerd zoals bij een verwarmde ruimte. Als 'maat' voor het warmteverlies is dan ook gekozen voor de bovengrens van de toegelaten temperatuur: 24 °C; men bedenke hierbij, dat de bepaling van de warmtewinst-warmteverliesverhouding uitsluitend gebruikt wordt om de bijbehorende benuttingsfactor terug te vinden.

De benuttingsfactor-curve wordt in principe afgeleid uit dynamische berekeningen. Bij de opstelling van de norm is echter gekozen voor een bestaande curve: de laagste van de reeds in PrEN 832 gegeven curven. Deze curve geldt voor ruimten met een geringe thermische massa; men bedenke hierbij wel, dat de in PrEN gegeven curven zijn bedoeld voor verwarmde ruimten en hier dus in een wat ander verband worden gebruikt.

Afleiding weegfactor voor serres

De weegfactor a wordt afgeleid van:

$$a = (\Theta_i - \Theta_a) / (\Theta_i - \Theta_e) \quad (13)$$

waarin:

Θ_i is gemiddelde binnentemperatuur voor verliesberekening (°C)

Θ_a is gemiddelde temperatuur serre cq aangrenzende ruimte (°C)

Θ_e is gemiddelde buitentemperatuur (°C)

De gemiddelde temperatuur in een serre of andere aangrenzende ruimte met zonnewarmte kan worden afgeleid uit de warmtebalans voor die ruimte:

$$H_{\text{int}} \cdot (\Theta_a - \Theta_i) dt + H_{\text{verl}} \cdot (\Theta_a - \Theta_e) dt = Q_{\text{zon}} \quad (14)$$

waarin:

- H_{int} is het specifieke warmteverlies van verwarmde ruimte naar betreffende aangrenzende onverwarmde ruimte (W/K)
- H_{verl} is het specifieke warmteverlies van betreffende onverwarmde aangrenzende ruimte naar buiten (W/K)
- dt is de periodeduur (Ms)
- Q_{zon} is de zonnearmte die de betreffende aangrenzende onverwarmde ruimte binnenkomt gedurende de beschouwde periode (1 okt. t/m 30 april) (MJ)

Op deze vergelijking passen we een correctie toe:

op sommige momenten gedurende de beschouwde periode kan de temperatuur in de serre cq aangrenzende ruimte, Θ_a , oplopen tot boven een aanvaardbare waarde. Het is niet redelijk om die bijdrage aan de gemiddelde temperatuur mee te laten wegen in de gemiddelde waarde van Θ_a .

Dit kan ook anders worden geformuleerd: een deel van de binnenkomende zon moet worden genegeerd bij de bepaling van de gemiddelde waarde voor Θ_a . Bewoners weren deze ongewenste zonnearmte door extra ventilatie van de betreffende ruimte en/of door gebruik van zonwerende voorzieningen.

Ofwel: niet Q_{zon} hoort in de warmtebalans, maar $\eta \cdot Q_{zon}$, om de gewenste Θ_a te krijgen:

$$H_{int} \cdot (\Theta_a - \Theta_i) dt + H_{verl} \cdot (\Theta_a - \Theta_e) dt = \eta \cdot Q_{zon} \quad (15)$$

waarin:

- η is de 'benuttingsfactor' van de zonnearmte in de betreffende aangrenzende onverwarmde ruimte (serre)

Hiermee kan worden afgeleid:

$$a = \{H_{verl} \cdot (\Theta_i - \Theta_e) dt - \eta Q_{zon}\} / \{(H_{verl} + H_{int}) \cdot (\Theta_i - \Theta_e) dt\} \quad (16)$$

(zie 5.10.4.5 in het Ontwerp NEN 5128)

Voor de waarde van de 'benuttingsfactor' is dezelfde waarde gekozen als voor een verwarmde ruimte. Dit levert een conservatieve uitkomst op, zolang de onverwarmde

aangrenzende ruimte (serre) gemiddeld een lagere temperatuur heeft dan een verwarmde ruimte.

Immers, de benuttingsfactor voor verwarmde ruimten gaat ervan uit dat zonnewarmte overtollig is zodra de binnentemperatuur boven de stookgrens uitkomt. De temperatuur waarbij bewoners de zonnewarmte in een serre gaan weren zal in het algemeen enigszins hoger liggen.

4.6 Ventilatie

4.6.1 Bepaling warmteverlies door ventilatie

4.6.1.1 Algemeen

Het warmteverlies door ventilatie wordt bepaald door de luchtvolumestroom, temperatuurverschil en warmteterugwinning.

In de rekenregels voor de bepaling van de totale luchtvolumestroom speelt de rekenwaarde voor de luchtdoorlatendheid, de q_{v10} waarde, een cruciale rol.

De warmteverlies-coëfficiënt voor ventilatie dient bepaald te worden uit:

$$H_v = \rho \cdot c_p \cdot q \quad [\text{W/K}] \quad (17)$$

Hoewel de term $\rho \cdot c_p$ enigszins afhankelijk is van de temperatuur wordt voorgesteld hiervoor een constante factor te nemen:

$$\rho = 1,2 \quad \text{kg/m}^3$$

$$c_p = 1000 \quad \text{J/(kg} \cdot \text{K)}$$

De verdere uitwerking van de rekenmethode komt dan uitsluitend neer op het bepalen van de luchtvolumestroom q .

De luchtvolumestroom voor de bepaling van het ventilatiewarmteverlies bestaat uit drie componenten:

- natuurlijke ventilatie en infiltratie door kieren en naden;

- mechanische ventilatie;
- gebruik van natuurlijke ventilatievoorzieningen; met name: spuien via draairamen, e.d..

De mate van infiltratie is afhankelijk van de luchtdoorlatendheid van de woning, uitgedrukt in de q_{v10} -waarde.

Opmerking: Elektriciteitsgebruik door ventilatoren wordt elders behandeld.

4.6.2 Uitgangspunten ter bepaling van de luchtvolumestroom

4.6.2.1 Inleiding

Het verdient aanbeveling bij het formuleren van het rekenvoorschrift zo veel mogelijk aan te sluiten op de voorschriften in het Bouwbesluit. Twee type voorschriften zijn daarbij van belang:

- a. voorschriften m.b.t. de luchtverversing van een verblijfsgebied (uit oogpunt van gezondheid);
- b. voorschriften m.b.t. de luchtdoorlatendheid van een woning (uit oogpunt van energiezuinigheid).

4.6.2.2 Minimum ventilatie

In de voorschriften met betrekking tot de luchtverversing worden minimale waarden voorgeschreven voor de capaciteit van ventilatievoorzieningen. Deze capaciteiten worden uitgedrukt in een volumestroom of in een volumestroom per m^2 oppervlakte van gebieden. De minimaal vereiste capaciteit aan ventilatievoorzieningen zijn vastgelegd per ruimte. Een ruimte kan zijn:

- een verblijfsgebied
- een verblijfsruimte

- een badruimte
- een toiletruimte
- overige ruimten (berging, garage, etc.)

Het Bouwbesluit kent geen slaapkamer of keuken. Wel is geregeld dat voor een verblijfsruimte, waarin zich een opstelplaats voor een kooktoestel bevindt, een extra capaciteit wordt verlangd.

De inrichting van de ventilatievoorzieningen moet voldoen aan de NEN 1087. Hierin zijn tevens de bepalingsmethoden opgenomen voor het controleren van de vereiste capaciteiten.

Uit de Bouwbesluit voorschriften kan op eenduidige wijze voor een woning de totaal benodigde (minimale) capaciteit van de luchtverversing worden afgeleid.

4.6.2.3 Maximum luchtdoorlatendheid

De voorschriften met betrekking tot de luchtdoorlatendheid van een woning (uit oogpunt van energiezuinigheid) betreft de luchtdoorlatendheid van een woning als geheel. Deze grootte wordt uitgedrukt in een volumestroom (q_{v10}) die optreedt bij een drukverschil van 10 Pa. In het Bouwbesluit wordt een maximale waarde voorgeschreven voor q_{v10} . Deze grenswaarde geldt voor een verblijfsgebied, toilet en badkamer. Er wordt geen onderscheid gemaakt naar grootte van de woning of het woongebouw. In een aanvullende Ministeriele Regeling Bouwbesluit wordt een link gelegd naar de indeling in rookcompartimenten.

Ook wordt geen onderscheid gemaakt tussen verschillende type ventilatiesystemen A,B,C en D uit de NEN 1087.

In de rekenregels voor de bepaling van de totale luchtvolumestroom speelt de rekenwaarde voor q_{v10} een cruciale rol.

De bovengrens in het Bouwbesluit verliest echter zijn huidige functie bij de invoering

van de Energieprestatienorm. Immers, de overweging die ten grondslag ligt aan deze bovengrens voor de q_{v10} waarde is die van energiezuinigheid. Aangezien het de regelgever niet te doen is om het stellen van aparte eisen aan afzonderlijke componenten verliest deze bovenwaarde zijn rechtvaardiging.

Eventueel kan wel worden overwogen een bovengrens te handhaven als een vangnet.

4.6.2.4 Te kiezen rekenwaarde voor luchtdoorlatendheid q_{v10}

Het is hoe dan ook nodig om een maximale q_{v10} waarde in de bouwaanvraag op te nemen. Deze waarde geldt dan als rekenwaarde. De q_{v10} waarde kan bij oplevering worden getoetst.

Het Bouwbesluit verwijst naar NEN 2686 voor een bepalingsmethode teneinde luchtdoorlatendheid bij oplevering te kunnen controleren.

In een opmerking in het normontwerp (zie NEN 5128 bij 5.12.6) wordt een handvat geboden voor reëel haalbare q_{v10} -waarden die men als rekenwaarden zou kunnen hanteren. Gebruik van deze rekenwaarden betekent overigens niet dat de waarde niet getoetst kan worden. Het zijn dus geen forfaitaire waarden.

Deze reëel haalbare q_{v10} -waarden zijn bovendien nodig om de hoogte van de eis te kunnen bepalen.

De huidige maximum-waarde in het Bouwbesluit is een te grove maat om als handvat te kunnen fungeren.

Er is een algemene relatie nodig tussen q_{v10} -waarde en de grootte van de ruimte(-n). Bijvoorbeeld om een q_{v10} -waarde van een gemeenschappelijk verblijfsgebied in een woongebouw te kunnen invoeren. Of om bij uitbreiding van de woning de te verwachten toename van de luchtdoorlatendheid van de woning te kunnen verdisconteren.

En er is behoefte aan een onderscheid naar soort ventilatiesysteem. Met name omdat bij

gebalanceerde ventilatie lagere q_{v10} -waarden nodig zijn ter beperking van het warmteverlies.

In NEN 2687 worden de volgende maximale q_{v10} -waarden gegeven:

woningen tot en met 250 m ³ volume:	100 dm ³ /s
tot en met 500 m ³ volume:	150 dm ³ /s
groter:	200 dm ³ /s

voor gebalanceerde ventilatie:

woningen tot en met 250 m ³ volume:	50 dm ³ /s
groter:	80 dm ³ /s

Het bouwbesluit kent slechts 200 dm³/s als maximum.

Het woningvolume wordt gerekend zonder niet-bewoonbare delen van zolders e.d.

Als maat voor de grootte van de ruimte nemen wij de gebruiksoppervlakte. In feite is er sprake van een gecompliceerde situatie waarbij het oppervlak aan uitwendige scheidingsconstructies een rol speelt, maar vooral ook dakaansluitingen en b.g.vloeren. Aan de luchtdichtheid van deze laatste stelt het Bouwbesluit overigens zodanige eisen dat de invloed daarvan minder belangrijk wordt.

We nemen als richtwaarde voor de maximale q_{v10} :

$$q_{v10} = 1,25 \cdot A_g \quad \text{dm}^3/\text{s} \quad (18a)$$

waarin:

A_g : gebruiksoppervlakte (m²)

Voor gebalanceerde ventilatie:

$$q_{v10} = 0,625 \cdot A_g \quad \text{dm}^3/\text{s} \quad (18b)$$

Voorbeeld:

NOVEM referentie-doorzonwoning:

$$A_g = 88,9 \text{ m}^2$$

$$q_{v10} = 111 \text{ dm}^3/\text{s}$$

resp.:

$$q_{v10} = 56 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Minimum-waarde q_{v10} :

Uit het oogpunt van gezondheid is voor systemen met natuurlijke toe- of afvoer een minimum-waarde voor q_{v10} gewenst die bij de berekening moet worden aangehouden.

We kiezen hiervoor de helft van de zojuist gegeven richtwaarden, omdat hiermee bereikt wordt dat de totale berekende lucht volumestroom door ventilatie ongeacht het toegepaste ventilatiesysteem boven een aanvaardbare ondergrens blijft.

4.6.3 Bepaling lucht volumestroom t.b.v. energieprestatienormering

4.6.3.1 Inleiding

Naast de q_{v10} -waarde is er een groot aantal factoren die de werkelijk optredende ventilatie in de woning beïnvloeden. Het verdient aanbeveling alleen die factoren gedifferentieerd in de berekening mee te nemen waarmee de energieprestatie bewust beïnvloed kan worden. Factoren, die veel invloed hebben (zoals bewonersgedrag), maar niet in een toetsbare bouwtechnische prestatie-omschrijving kunnen worden vastgelegd, dienen als ingrediënt in de rekenmethode vermeden te worden of verdisconteerd te worden met forfaitaire rekenwaarden. Daarentegen zijn er ook bouwtechnische voorzieningen denkbaar, die invloed hebben op de totale luchtverversing van de woning, maar niet op eenvoudige wijze te kwantificeren zijn. Voorbeelden zijn de toepassing van open trap, een tochtportaal, serre, etc.

Voor de energieprestatienormering is het in principe voldoende de over het stookseizoen gemiddelde luchtverversing van een woning te kennen.

We maken onderscheid tussen de volgende ventilatiestromen:

- q_{vn} : natuurlijke ventilatie, de hoeveelheid ventilatie ten gevolge van ondichtheden
- q_{vb} : de hoeveelheid ventilatie ten gevolge van het bewust openen van ventilatievoorzieningen door de bewoners;
- q_{vm} : mechanische ventilatie, de hoeveelheid die mechanisch wordt getransporteerd.

4.6.3.2 Invloedsfactoren natuurlijke ventilatie

De volgende factoren zijn van belang voor de mate van natuurlijke ventilatie:

- de gemiddelde windsnelheid
- de mate van beschutting tegen windaanval
- de verdeling van de luchtlekken over de woning
- het temperatuurverschil over de woningschil (i.v.m. thermische trek)
- het aantal bouwlagen
- de seizoensinvloed

In bijlage C van de NEN 2687 wordt een rekenmethode beschreven die de invloed van deze factoren in de berekening meeneemt:

$$q_{v1} = (A + B \cdot C \cdot v + D \cdot \Delta T) \cdot q_{v10} \quad (19)$$

waarin:

- q_{v1} : luchtvolumestroom in dm^3/s
- A: coëfficiënt voor het effect van turbulentie
- B: coëfficiënt voor effect van beschutting
- C: coëfficiënt voor verdeling van de luchtdoorlatendheid over de omhulling van de woning
- v: windsnelheid op 10 m boven het terrein (m/s)
- D: coëfficiënt van de temperatuur
- ΔT : verschil in temperatuur tussen binnen- en buitenlucht
- q_{v10} : q_{v10} -waarde in dm^3/s

De luchtvolumestroom door natuurlijke ventilatie en infiltratie, q_{vn} , is hieruit voor de

onderscheiden ventilatiesystemen te berekenen.

De NEN 1087 onderscheidt vier systemen:

Systeem A: Natuurlijke toevoer en natuurlijke afvoer

Systeem B: Mechanische toevoer en natuurlijke afvoer

Systeem C: Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer

Systeem D: Mechanische toevoer en mechanische afvoer

De NEN 2687 geeft drie verschillende rekenregels voor deze systemen. Deze rekenregels geven globaal de te verwachten volumestroom voor een woning als geheel en gemiddeld over het stookseizoen, afhankelijk van de q_{v10} -waarde

Systeem A: natuurlijke ventilatie:

$$q_{vn} = q_{v1} \quad (20a)$$

Systeem C: mechanische afzuiging:

$$q_{vn} = E \cdot q_{v1}$$

$$\text{met: } E = q_{v10}/500$$

$$q_{vn} = 0,002 \cdot q_{v10} \cdot q_{v1} \quad (20b)$$

Bij mechanische afzuiging wordt de woning op onderdruk gebracht; een deel van de *infiltratielucht* wordt via *mechanische* ventilatie afgezogen. Deze samenhang is groter, naarmate de luchtdichtheid van de woning groter is. De term voor natuurlijke ventilatie en infiltratie is dan ook voor dit type ventilatiesysteem doorgaans laag, tenzij de luchtdoorlatendheid van de woning groot is. Dit komt in de formule als volgt tot uitdrukking: omdat q_{v1} ook zelf evenredig is met q_{v10} , wordt q_{vn} een kwadratische functie van de luchtdoorlatendheid.

Systeem B en D: mechanische toevoer, cq gebalanceerde ventilatie:

$$q_{vn} = 0,8 \cdot q_{v1} \quad (20c)$$

Hieronder volgt een opsomming met voorstellen voor de hantering van bovengenoemde parameters in de energieprestatienorm.

Maar eerst wordt een indicatie gegeven van de gevoeligheid voor de keuzen van de parameterwaarden.

4.6.3.3 Gevoeligheid

In de tabel is de mogelijke spreiding ten aanzien van de te hanteren coëfficiënten voor natuurlijke ventilatie samengevat.

Het effect op de volumestroom is aangegeven voor de NOVEM referentie-doorzonwoning; deze woning heeft een gebruiksoppervlakte van 88,9 m². Uitgaande van bepaalde representatieve waarden voor de coëfficiënten bedraagt de hoeveelheid infiltratie voor deze woning volgens deze berekening 40 dm³/s; dit komt overeen met 144 m³/h.

Tabel 9 Gevoeligheid

coëfficiënt	getalwaarde			voor refer. situatie: hoeveelheid natuurlijke ventilatie (dm ³ /s), bij coëfficiënt volgens:		
	repres. waarde	min.	max.	repres. waarde	min.	max.
A (turbul.)	0,02	0,02	0,02	40	40	40
B (beschutt.)	0,25	0,20	0,30	40	34	47
C (verdeling)	0,20	0,10	0,30	40	25	56
D (hoogte) 10 ⁻³	6	2	8	40	34	43
T (temp.)	6	2	8	40	38	41
v (wind)	5	4	7	40	34	53

Met name de verdeling van de luchtlekken speelt een belangrijke rol, evenals de windsnelheid.

Een verschil van 10 dm³/s leidt globaal genomen tot een verschil van 100 m³ in jaarlijks gasverbruik.

4.6.3.4 Keuzen t.a.v. de parameters voor infiltratie

Windsnelheid

De wind heeft een aanzienlijke invloed. Een woning met natuurlijke ventilatie op de Waddeneilanden geeft een berekende volumestroom die circa 20 % hoger is dan een identieke woning in de Bilt en voor een woning in Zuid-Limburg is dat circa 10 % lager. Het lijkt redelijk dat men in de bouwpraktijk daar rekening mee houdt teneinde een gelijkwaardige energiezuinigheid te verkrijgen. Dit zou betekenen dat bij de berekening bijvoorbeeld gebruik zal moeten worden gemaakt van een indeling in windsnelheidsgebieden, uiteraard gezien in samenhang met een eventuele indeling ten aanzien van temperatuur en zonnestraling.

Er zijn echter een aantal overwegingen om een dergelijke differentiatie achterwege te laten:

de gemiddelde windsnelheid over het land varieert in het stookseizoen weliswaar van 4 tot 7 m/s. Dit lijkt een groot verschil maar men dient daarbij het volgende te bedenken:

- de hoogste extreme waarde geldt slecht voor een zeer beperkt deel van het kustgebied
- De laagste waarde voor een klein deel van Zuid Limburg

Verreweg het merendeel van de Nederlandse woningen, ruwweg geschat zo'n 90 %, ligt binnen de gemiddelde windsnelheidsgebieden van 5,5 tot 4,5 m/s.

Belangrijker dan het verschil in gemiddelde windsnelheid is **het effect van beschutting** als het om de infiltratie en ventilatie gaat, zie het hiernavolgende aandachtspunt.

Het is gebruikelijk de geografische ligging in rekening te brengen daar waar het om *extreme waarden* van de windsnelheid gaat. Bijvoorbeeld bij constructieve sterkte of bij waterdichtheid van gevelconstructies. Als het om gemiddelden gaat is de noodzaak al minder en bovendien zijn de belangrijkste invloeden namelijk die van beschutting niet eenduidig kwantificeerbaar.

Eén en ander leidt tot de keuze om voor het Ontwerp NEN 5128 geen onderscheid aan te brengen ten aanzien van windsnelheidsgebieden; wel zijn in Bijlage C van het

Ontwerp de consequenties aangegeven voor de bepalingmethode indien wel gekozen zou worden voor een dergelijke differentiatie.

Beschutting

Belangrijker dan het verschil in gemiddelde windsnelheid is **het effect van beschutting** als het om de infiltratie en ventilatie gaat. Daarbij zijn ten eerste te noemen de effecten van regionaal niveau; bijvoorbeeld stedelijke bebouwing of dorpsbebouwing. Hoewel dit invloed heeft op de gemiddelde voor de infiltratie en ventilatie in rekening te brengen windsnelheid is deze invloed niet groot. Ruw geschat in de orde van 20 %. Daarnaast speelt in feite het eerste obstakel vanaf het te beschouwen gebouw een belangrijke rol. Effecten van beschutting kunnen uitgedrukt in de seizoensgemiddelde infiltratie wel 40 % verschillen.

Hierbij speelt bovendien de relatie met de windrichting een belangrijke rol. Het is tot nu toe niet mogelijk gebleken hiervoor een eenvoudige en eenduidige benadering te vinden.

De NEN 2687 hanteert een indeling in drie klassen:

- beschut: aan alle zijden omgeven door hogere bebouwing
- normale ligging: aan alle zijden omgeven door gebouwen van ongeveer gelijke hoogte
- open ligging: op een afstand van circa zes maal de woninghoogte geen andere bebouwing.

Voor een woning met natuurlijke ventilatie zijn er verschillen van ± 10 % tussen de uitersten in de berekening van de totale volumestromen.

De formulering op grond waarvan een keuze uit klasse-indeling gemaakt moet worden is echter niet bijzonder eenduidig. Bovendien kan de situatie zeer verschillend zijn voor identieke woningen binnen een woonwijk en kan de situatie zich wijzigen nadat de toetsing is uitgevoerd.

Om deze problemen te omzeilen wordt voorgesteld te werken met een vaste forfaitaire waarde uitgaande van de "normale ligging".

Een vergelijkbare vraagstelling geldt ten aanzien van de invloed van de hoogte van het gebouw zelf en de ligging van de beschouwde bouwlaag ten aanzien van de blootstelling aan wind.

Hoewel natuurlijk hoger gelegen verdiepingen blootgesteld worden aan hogere winddrukken en dus er gemiddeld ook een hoger infiltratie niveau zal heersen, is het lastig hiervoor een eenduidige bepalingmethode te formuleren. De drukverdeling op gebouwen is daarvoor van te veel, zelf veranderende variabelen (o.a. bomen) afhankelijk. In een conceptnorm voor de luchtdoorlatendheid van utilitaire gebouwen (die is opgesteld vóór het Bouwbesluit van kracht werd), is afhankelijk van de gebouwhoogte een luchtdoorlatendheidseis geformuleerd. Deze is in het Bouwbesluit niet op dezelfde wijze overgenomen.

Ook de mogelijke veranderingen van de omgevende bebouwing die niet altijd is te voorzien speelt tezamen met de kwestie van de perceelgrens een rol.

Eén waarde voor de infiltratie die voor alle verdiepingen van een gebouw geldt, is daarom het enige haalbare.

Verdeling van de luchtlekken

De NEN 2687 hanteert drie klassen:

- "relatief veel" luchtlekken in de vloer en de gevels
- "normale" verdeling
- "relatief weinig" luchtlekken in de vloer en gevels

De verschillen tussen de uitersten levert een verschil op van ± 25 % in de berekende volumestroom voor een woning met natuurlijke ventilatie. De verdeling van de luchtlekken is in principe (achteraf!) vast te stellen door het uitvoeren van een aantal luchtdoorlatendheidsbeproevingen. Het bepalen van de verdeling van de luchtlekken is echter niet in een norm beschreven.

Het Bouwbesluit legt een maximum-waarde op aan de luchtdoorlatendheid van begane grondvloeren. Hierdoor verschuift de verdeling naar relatief minder luchtlekken in vloer en gevels.

In overleg met de opsteller van de formule in NEN 2687 is besloten om te werken met een vaste forfaitaire waarde voor de "normale" verdeling.

Temperatuurverschillen

De invloed van het temperatuurverschil in dit hoofdstuk beperkt zich tot de invloed op de luchtvolumestroom. Uiteraard is het temperatuurverschil van grote invloed op het warmteverlies; dit laatste aspect is hier niet aan de orde.

Het temperatuurverschil speelt een rol in de mate van thermische trek. Er is besloten om uit te gaan van 13 K als forfaitaire waarde.

Aantal bouwlagen

In de NEN 2687 worden coëfficiënten gehanteerd die de woninghoogte in rekening brengen, in verband met de thermische trek door natuurlijke ventilatiekanalen. De invloed voor woningen met natuurlijke ventilatie is in de orde grootte van 5 % op de berekende volumestroom als één bouwlaag meer of minder wordt gekozen.

Er is besloten om met een forfaitaire waarde te rekenen, behorende bij drie bouwlagen.

Seizoensinvloed

Indien gekozen zou worden voor een maandmethode zou men in de berekening van de volumestroom ook de seizoensinvloeden kunnen verwerken (d.w.z. als gevolg van thermische effecten en temperatuurafhankelijk bewonersgedrag). Het betreft dan zuiver een verfijning van de rekenmethode die niet gekoppeld is aan invloedsfactoren die gerelateerd zijn aan bouwtechnische ingrediënten.

Samenvattend:

Hiermee wordt de in 4.6.2.2 gegeven formule voor q_{v1} gereduceerd tot:

$$q_{v1} = (0,10 + 0,05 \cdot v) \cdot q_{v10} \quad (21)$$

4.6.3.4 Gebruik natuurlijke ventilatievoorzieningen

In de rekenregels van NEN 2687 is de invloed van het gebruik van ventilatievoorzieningen door de bewoner apart genoemd. Voorgesteld wordt uit te gaan van een gemiddeld gebruik van de ventilatievoorzieningen. Ook hier biedt de NEN 2687 een aanknopingspunt. Het blijkt dat met een vaste toeslag, q_{vb} , van een volumestroom van $0,020 \text{ m}^3/\text{s}$ per woning gewerkt kan worden.

Volgens de opsteller van dit deel van NEN 2687 is er geen duidelijke relatie met het type ventilatiesysteem, noch met het windsnelheidsgebied.

Er is bijvoorbeeld weinig reden aan te nemen dat de invloed van de bewoners op de ventilatie (vgl. gebruik van draairamen: spuiventilatie) bij woningen met gebalanceerde ventilatie anders zal zijn dan bij woningen met mechanische afzuiging.

Ook ontbreekt een duidelijke relatie met de hoeveelheid onbewuste natuurlijke ventilatie. Kennelijk zijn bewoners zich met hun ventileer-gedrag gemiddeld niet bewust van de mate van luchtverversing door infiltratie.

Evenmin is er een duidelijk onderscheid tussen woon- en slaapkamers.

Wel is ook hier behoefte aan een relatie met de grootte van de ruimte(-n).

Aangezien het hierbij met name gaat om het snel afvoeren van verontreinigde lucht in de *verblijfsgebieden*, kiezen we voor een relatie met de oppervlakte van het *verblijfsgebied*:

$$q_{vb} = 0,3 \cdot A_{vg} \text{ dm}^3/\text{s}. \quad (22)$$

waarin:

A_{vg} : oppervlakte verblijfsgebied (m^2)

Voorbeeld:

NOVEM referentie-doorzonwoning:

$$A_{vg} = 65,3 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow q_{vb} = 19,6 \text{ dm}^3/\text{s}.$$

De gegeven relatie betreft het etmaal-gemiddelde.

Uitgangspunt voor dynamische berekeningen is een gestyleerd dagpatroon, gebaseerd

op basis van de in [7] gegeven inventarisatie van gemeten waarden:
het spuien geschiedt van 's ochtends 8 tot 11 uur, alsmede van 's avonds 17 tot 18 uur,
met gedurende deze uren een constante hoeveelheid.

4.6.3.5 Luchtuitwisseling tussen ruimten

Door luchtuitwisseling tussen ruimten kan warmte getransporteerd worden waarmee de warmtebalans van de woning wordt beïnvloed. Deze warmtestromen zijn over het algemeen klein en verwaarloosbaar ten opzichte van de warmtetransmissie.

Wanneer er echter sprake is van geïsoleerde inwendige scheidingsconstructies kan de luchtuitwisseling een rol gaan spelen.

Daarom worden de volgende forfaitaire waarden aangehouden:

afgezien van eventuele gerichte ventilatiestromen veroorzaakt door mechanische ventilatie geldt voor de ventilatie-uitwisseling tussen zones in een woning of woongebouw, q_{vint} :

$$q_{vint} = 0,33 \cdot A_{sc} \quad \text{dm}^3/\text{s} \quad (23)$$

waarin:

A_{sc} : oppervlakte van de inwendige scheidingsconstructie (m^2)

De luchtuitwisseling vindt plaats in beide richtingen.

Voorbeeld:

NOVEM referentie doorzonwoning:

zone 1=b.g.verdieping

zone 2=eerste verdieping

zone 3=zolder

Tabel 10 Voorbeeld

	1 ↔ 2	2 ↔ 3
$A_{sc} \text{ (m}^2\text{)}$	45,9	32,1
$q_{vint} \text{ (dm}^3\text{/s)}$	15,2	10,6
$q_{vint} \text{ (m}^3\text{/h)}$	50	38

NB: vergelijking warmtetransmissie en warmte-uitwisseling door ventilatie:

transmissie:

$$U=2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\Rightarrow \text{warmte-uitwisseling is } 2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

ventilatie:

$$q_{vint}=0,33 \text{ dm}^3\text{/(m}^2\cdot\text{s)}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{warmte-uitwisseling is } 1,2 \cdot 1000 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ W/(m}^2\text{K)} \\ = 0,40 \text{ W/(m}^2\text{K)} \end{aligned}$$

De warmte-uitwisseling door ventilatie is aanzienlijk geringer dan de warmte-uitwisseling door transmissie. Indien de transmissie verlaagd wordt door toepassing van isolatie in de inwendige scheidingsconstructie (b.v. $U=0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) wordt de ventilatie-uitwisseling meer significant.

4.6.3.6 Mechanische ventilatie

De hoeveelheid mechanische ventilatie, q_{vm} , kan worden gebaseerd op aanwijzingen die het Bouwbesluit bevat omtrent de benodigde ventilatiecapaciteit.

De hoeveelheid mechanische ventilatie in een bepaalde zone is in principe afhankelijk van de aanwezigheid van natte ruimten en de oppervlakte van het verblijfsgebied.

De benodigde capaciteit voor ventilatie van de natte ruimten is bekend:

toilet:	7 dm ³ /s
badruimte:	14 dm ³ /s
opstelplaats kooktoestel:	21 dm ³ /s

Aangenomen wordt dat gemiddeld 2/3 van deze capaciteit wordt ingezet.

Over het algemeen zal deze hoeveelheid voldoende zijn om ook het verblijfsgebied dat zich in dezelfde zone (b.v. bouwlaag) van de woning bevindt te ventileren.

Dit levert een gemiddelde hoeveelheid mechanische ventilatie, q_{vm} , van circa 30 dm³/s. Voor grotere en kleinere woningen, en voor gemeenschappelijke verblijfsgebieden, al dan niet in combinatie met natte ruimten is het samenspel tussen infiltratie en mechanische ventilatie strikt genomen niet meer met dezelfde relaties uit bijlage C van NEN 2687 te beschrijven.

Om te voorkomen dat voor die gevallen een gecompliceerde berekening moet worden uitgevoerd, wordt de volgende benadering toegepast:

indien er sprake is van mechanische ventilatie, wordt de hoeveelheid mechanisch geventileerde lucht evenredig gekozen met de vloeroppervlakte van het verblijfsgebied; hierbij wordt dus bijvoorbeeld aangenomen dat de in keuken, toilet en badruimte afgezogen lucht evenredig verdeeld over de verblijfsgebieden (inclusief eventuele gemeenschappelijke verblijfsgebieden) binnenkomt.

In formulevorm:

$$q_{vm} = 0,45 \cdot A_{vg} \text{ dm}^3/\text{s} \quad (24)$$

waarin A_{vg} : oppervlakte verblijfsgebied (m²)

Voorbeeld:

NOVEM doorzon-referentiewoning:

Tabel 11 Voorbeeld

	A_{vg}	q_{vm}
	(m ²)	(dm ³ /s)
begane grond	40,3	18,1
eerste verdieping	25,0	11,3
zolder	--	--
totaal	65,3	29,4

Ook voor kleinere wooneenheden zoals HAT eenheden leidt deze keuze niet tot onaanvaardbare situaties.

Stel het kleinst mogelijke verblijfsgebied is beschikbaar voor een HAT woning (= 24 m² volgens het Bouwbesluit).

Voor de ventilatie wordt dan $0,45 \cdot 24 = 10,8$ dm³/s ventilatielucht in rekening gebracht als mechanische afzuiging in het Ontwerp NEN 5128. Die stroom is nog altijd ruim voldoende voor één persoon.

Bij een toch ook relatief klein verblijfsgebied van 32 m² is de ventilatiestroom die in rekening wordt gebracht al voldoende voor twee personen.

Warmteterugwinning:

Warmteterugwinning uit afvoerde lucht kan men in rekening brengen door het toepassen van een rendementsfactor. Deze mag alleen toegepast worden op dat deel van de totale volumestroom dat via de mechanische afzuiging wordt afgevoerd.

Voor het jaarlijks energetisch rendement van de (η_{wtw}) warmteterugwinunit is een norm in voorbereiding (NEN 5138). In afwachting daarvan is een tabel met getalwaarden in het normontwerp opgenomen.

Bij gevoeligheidsberekeningen wordt aangenomen dat het rendement 55 procent bedraagt.

De warmteterugwinning wordt in rekening gebracht door reductie in hoeveelheid op te warmen ventilatielucht:

$$q_{vm;gecorr.} = (1 - \eta_{wtw}) \cdot q_{vm} \quad (25)$$

4.6.4 Gevoeligheid voor q_{v10} -waarde

Voor de referentie doorzonwoning is de gevoeligheid nagegaan voor de q_{v10} -waarde:

referentiedoorzonwoning:

$$A_g = 88,9 \text{ m}^2$$

$$A_{vg} = 65,3 \text{ m}^2$$

Tabel 12 *Gevoeligheid*

ventilatiestromen in dm^3/s					
q_{v10}	q_{vn}	q_{vb}	q_{vm}	q_{vtot}	q_{vtot} met wtw
systeem A					
$0,625 \cdot A_g = 56$	20	20	-	40	-
$1,25 \cdot A_g = 111$	39	20	-	59	-
$2,50 \cdot A_g = 222$	78	20	-	98	-
systeem C					
$0,625 \cdot A_g = 56$	2	20	29	51	-
$1,25 \cdot A_g = 111$	9	20	29	58	-
$2,50 \cdot A_g = 222$	35	20	29	83	-
systeem B en D					
$0,313 \cdot A_g = 28$	8	20	29	57	41
$0,625 \cdot A_g = 56$	16	20	29	65	49
$1,25 \cdot A_g = 111$	32	20	29	80	64
$2,50 \cdot A_g = 222$	63	20	29	112	96

' q_{vtot} met wtw' is de waarde waarbij het effect van warmteterugwinning reeds is verdisconteerd; voor warmteterugwinning is in deze tabel een rendement van 55 procent aangenomen

Het effect op het energiegebruik voor verwarming is globaal gelijk aan 100 m^3 gas per

10 dm³/s.

4.7 Binnenkomende zonnewarmte

Zontoetreding door ramen

Oppervlakte en oriëntatie

Voor de zontoetreding wordt uitgegaan van hetzelfde raamoppervlak inclusief kozijn als gebruikt bij de warmtetransmissieberekeningen; een kozijnreductiefactor wordt ingevoerd om te corrigeren voor het kleinere glasoppervlak.

Wat betreft de opvallende zonnestraling worden in de norm voor alle belangrijkste oriëntaties en hellingshoeken rekenwaarden gegeven.

ZTA-waarde beglazing

Voor de ZTA-waarde van de meest gangbare beglazingen zijn rekenwaarden gegeven.

Voor andere raamsoorten zijn op onderdelen nationale en internationale bepalingsmethoden beschikbaar en/of in ontwikkeling.

Invloed vervuiling, vitrage

De invloed van eventuele vervuiling en vitrage is met behulp van een forfaitaire rekenwaarde meegenomen.

Invloed schakelende zonwering

De invloed van schakelende zonwering is meegenomen door bij de keuze van de benuttingsfactorcurven reeds uit te gaan van het gebruik van zonwering bij hoog oplopende zonnestralingsintensiteit en/of binnentemperatuur.

De invloed van schakelende zonwering komt dan tot uitdrukking in een benuttingsgraad die sneller daalt bij hogere waarden voor de verhouding γ ($Q_{\text{winst}}/Q_{\text{verlies}}$).

4.7 Invloed beschaduwing

4.7.1 Inleiding

De invloed van beschaduwing op de zontoetreding wordt bepaald door de invoering van (partiële) schaduwfactoren. De methode is globaal te als volgt te beschrijven: het gezichtsveld van een daglichtopening wordt verdeeld in vier verticale sectoren. In elke sector wordt bepaald: het hoogteverschil gedeeld door de afstand van obstakels in de omgeving ten opzichte van het raam. In een tabel wordt vervolgens afgelezen tot welke partiële schaduwfactor dit leidt, afhankelijk van oriëntatie en helling van het beschouwde vlak.

De som van partiële schaduwfactoren voor de vier sectoren geeft de mate van beschaduwing aan, d.w.z. de reductie op de zontoetreding. Deze waarde is geldig voor de stookseizoenperiode.

In PrEN 832 wordt beschaduwing op vergelijkbare wijze behandeld. De getalwaarden in PrEN 832 zijn echter aanzienlijk hoger.

In de Nederlandse norm is bovendien de beschaduwing van overstekken op dezelfde wijze behandeld als 'staande' obstakels:

bij 'staande' obstakels gaat het om beschaduwing bij zonnestanden *lager* dan de *maximale* belemmeringshoek veroorzaakt door het obstakel;

bij 'overstekende' obstakels gaat het om beschaduwing bij zonnestanden *hoger* dan de *minimale* belemmeringshoek veroorzaakt door het obstakel.

Overigens kunnen in het Bouwbesluit beperkingen opgelegd gaan worden aan deze bepalingmethode: de beschaduwing door gebouwen buiten de eigen perceelgrens zal wellicht via een forfaitaire waarde geregeld moeten worden, wegens het 'gelijke monniken-gelijke kappen' principe van het Bouwbesluit.

De invloed van beschaduwing zal in het algemeen niet te verwaarlozen zijn.

De beschaduwing door externe objecten is een bij uitstek dynamisch en oriëntatie-afhankelijk proces, dat moeilijk nauwkeurig in een eenvoudige rekenregel is te beschrijven; zeker wanneer men bedenkt dat de beschaduwing sterk kan verlopen over het

seizoen; aangezien de warmtebehoefte ook varieert over het seizoen moet ervan uitgegaan worden dat de invloed van beschaduwning alleen met een maandberekening nauwkeurig bepaald kan worden.

4.7.2 Directe en diffuse zonnestraling

De zonnestraling kan schematisch worden verdeeld in directe straling van de zon, circumsolaire straling (diffuus, maar voornamelijk uit de richting van de zon), homogeen diffuse straling (egale bewolking) en gereflecteerde straling van de grond.

Een obstakel belemmert de directe en circumsolaire straling en schermt een deel van de hemelkoepel en de grond af. Daarvoor in de plaats reflecteert het obstakel zelf een deel van het opvallende zonlicht. Uiteraard afhankelijk van positie en kleur.

Zo kan een sterk reflecterend obstakel in het noorden van het gezichtsveld zelfs leiden tot meer zonopbrengst: de diffuse straling van de noordhemel wordt vervangen door weerkaatste straling van het op het zuiden gerichte obstakelvlak.

Over het algemeen wordt dan ook bij de bepaling van de invloed van obstakels op het energiegebruik en binnenklimaat aangenomen dat het obstakel neutraal is ten opzichte van de homogeen diffuse component van de zonnestraling: alleen het directe en circumsolaire aandeel van de straling wordt belemmerd.

4.7.3 Belemmeringshoek

De grootte van het obstakel wordt aangeduid in de vorm van **belemmeringshoeken**.

De belemmeringshoek is de **minimale** hoek die de zon moet maken ten opzichte van de horizon om ongehinderd de plaats van waarneming te bereiken. Deze hoek noemen we de hoek α_o (o=onder).

In geval van uitkragingen **boven** het punt van waarneming ('hangend' obstakel) geldt de omgekeerde definitie: de belemmeringshoek is de **maximale** hoek die de zon mag maken om ongehinderd de plaats van waarneming te bereiken. Deze hoek noemen we de hoek α_b (b=boven).

4.7.4 Gevoeligheid

Voor de NOVEM doorzon referentiewoning is de invloed op de warmtebehoefte nagegaan van een situatie zonder belemmering en een situatie met een belemmeringshoek van 20 graden.

Dit geeft informatie ten aanzien van de gewenste resolutie in schaduwfactoren.

Tabel 13 *Effect van obstakels met belemmeringshoek $\alpha_o=20$ graden*

	jan.	feb.	mrt.	apr.	okt.	nov.	dec.		okt. t/m april
schaduwfactor:									
s_20/z/v	0.48	0.11	0.04	0.02	0.09	0.48	0.52		0.17
woning:									
Qz_0 (MJ)	499	694	1359	1599	1074	615	429		6269
Qwb_0(MJ)	5603	4712	3313	1876	1077	3726	5231		25538
Qwb_20(MJ)	5799	4774	3354	1896	1143	3968	5416		26350
dQwb (MJ)	196	62	41	20	66	242	185		812

waarin:

s_20/z/v: schaduwfactor voor raam op zuid vertikaal bij belemmeringshoek $\alpha_o=20$ graden

Qz_0: binnenkomende zonnewarmte zonder belemmering

Qwb_0: warmtebehoefte zonder belemmering

Qwb_20: warmtebehoefte bij belemmeringshoek van $\alpha_o=20$ graden

dQwb: verschil in warmtebehoefte

Het berekende verschil in warmtebehoefte komt globaal overeen met een verschil van 32 m³ gasverbruik per jaar.

Voor een meer op passieve benutting van zonnewarmte gerichte woning zal het effect groter zijn.

In de studie 'De factor zon' [10] worden vergelijkbare cijfers genoemd: de overgang van 14 naar 24 graden belemmering op het zuiden (eengezinswoningen: straatafstand

29 resp. 14 m) betekent zo'n 15 procent minder zon en dientengevolge zo'n 45 m³ meer gasverbruik.

Daarom kan ruwweg worden gesteld dat er rekening mee moet worden gehouden dat een verandering in schaduwfactor van 0,10 à 0,15 kan leiden tot een verandering in energiegebruik van 50 m³ gas per jaar.

De schaduwfactoren dienen daarom met een nauwkeurigheid in de orde van 0,10 bepaald te kunnen worden.

4.7.5 Per seizoen of per maand

Een andere vraag is, in hoeverre middeling vooraf over alle maanden van het stookseizoen leidt tot afwijkingen in het berekende effect van de belemmeringen.

Hiertoe zijn de twee berekeningen herhaald met een berekening op seizoenbasis:

Tabel 14 Effect van obstakels met belemmeringshoek $\alpha_o=20$ graden; berekening per seizoen

	okt t/m apr
schaduwfactor:	
s_20/z/v	0.17
woning:	
Qz_0 (MJ)	6269
Qwb_0(MJ)	25624
Qwb_20(MJ)	26431
dQwb (MJ)	807

waarin:

s_20/z/v: schaduwfactor voor raam op zuid vertikaal bij belemmeringshoek $\alpha_o=20$ graden

Qz_0: binnenkomende zonnewarmte zonder belemmering

Qwb_0: warmtebehoefte zonder belemmering, seizoen berekening

Qwb_20: warmtebehoefte bij belemmeringshoek van $\alpha_o=20$ graden, seizoen berekening

dQwb: verschil in warmtebehoefte

Ondanks de sterke variatie van schaduwfactor, zonnewarmte en warmtebehoefte over de verschillende maanden van het stookseizoen (tabel 1) blijkt uit vergelijking van de maand- en seizoenberekening dat de seizoenberekening nagenoeg hetzelfde resultaat geeft.

Hieruit wordt geconcludeerd dat het gerechtvaardigd is om voor de schaduwfactoren uit te gaan van de gemiddelde waarden voor de gehele periode oktober tot en met april.

NB: ook de Europese Ontwerp norm PrEN 832 [1] geeft (informatief) schaduwfactoren per seizoen, die eveneens bedoeld zijn voor gebruik bij maandberekeningen. De getalwaarden in NEN-EN 832 zijn echter aanzienlijk hoger.

4.7.6 Verdeling van de omgeving

De belemmeringshoek zal in het algemeen niet constant zijn over het gehele gezichtsveld van het raam of de gevel.

Om hier rekening mee te houden zonder een al te grote verfijning aan te brengen gezien de toegelaten onnauwkeurigheid waarmee de schaduwfactor bepaald mag worden, wordt in navolging van PrEN 832 het gezichtsveld verdeeld in vier gelijke verticale sectoren, als aangegeven in de betreffende figuren in het normontwerp NEN 5128.

Voor elk van deze sectoren wordt de belemmeringshoek bepaald. Een tabel geeft de hierbij behorende schaduwfactor.

De berekende waarden voor de partiële (=per sector) schaduwfactoren zijn aldus bepaald voor uiteenlopende oriëntaties, hellingen en belemmeringshoeken.

De waarden zijn afgeleid uit de uurlijkse gegevens van het Test Reference Year voor De Bilt, bewerkt volgens het internationaal geaccepteerde 'vereenvoudigde Perez model', zie Bijlage C.7 van het Ontwerp NEN 5128.

Met deze waarden zijn de tabellen in het ontwerp NEN 5128 tot stand gekomen, waarbij de differentiatie naar oriëntatie, helling en belemmeringshoek zodanig is gecomprimeerd dat de schaduwfactoren met een nauwkeurigheid van circa 0,10 bepaald

kunnen worden.

4.7.7 Uitkragingen

Het is gebruikelijk om de invloed van overstekken op het zonaanbod op de gevel aan te geven in de vorm van een tabel met rekenwaarden, afhankelijk van grootheden als overstekdiepte, breedte al dan niet aanwezig zijn van wangen.

Men kan echter, analoog aan het voorgaande, een uitkraging even goed beschouwen als een (nu: 'hangend') obstakel met een bepaalde belemmeringshoek, dat een deel van de zonnestraling belemmert. Het enige verschil met de in voorgaande paragrafen behandelde 'staande' obstakels is, dat de belemmering nu van bovenaf komt: de belemmeringshoek betekent nu de **maximale** hoek waarbij de zon de gevel nog bereikt. Op analoge wijze zijn hiervoor partiële schaduwfactoren worden afgeleid.

Hieruit is wederom de betreffende tabel in Ontwerp NEN 5128 afgeleid.

Indien de minimale belemmeringshoek van een 'hangend' obstakel groter is dan de maximale belemmeringshoek van een 'staand' obstakel in hetzelfde deel van het gezichtsveld, dan overlappen de obstakels elkaar en hoeft uiteraard slechts één van de twee in rekening gebracht te worden.

4.7.8 Zonneboiler

Voor zonnecollectoren worden de schaduwfactoren op dezelfde wijze bepaald als voor ramen en andere daglichtopeningen.

Voor zonneboilers gelden afwijkende tabellen, omdat het effect van obstakels nu over het gehele jaar wordt berekend.

4.7.9 Bepaling belemmeringshoek per sector

In de praktijk zal de belemmeringshoek ook per sector niet constant zijn. Bovendien is het niet fair dat een zeer hoog, maar uiterst smal obstakel dat zich recht voor het

beschouwde vlak bevindt in de twee centrale sectoren tot een maximale belemmeringshoek leidt.

Dit kan voorkomen worden door uit te gaan van de gemiddelde belemmeringshoek per sector. Het op eenduidige manier bepalen van de gemiddelde hoek leidt echter al gauw tot een ingewikkelde berekening die niet in verhouding staat tot de gevraagde nauwkeurigheid.

Dit probleem wordt vermeden door de maximale α_o en minimale α_b voor te schrijven per sector, met een ontsnappingsclausule dat een sector op zichzelf weer in drie gelijke subsectoren mag worden onderverdeeld; de maximale resp. minimale belemmeringshoek van de betreffende sector is dan het gemiddelde van de drie extremen van de subsectoren.

4.7.10 Norm versus praktijk

De hierboven gepresenteerde methode leidt tot een voldoende verfijnde, eenduidige en oplossingsongebonden bepaling van de invloed van obstakels.

Deze methode vormt een goede basis om, bijvoorbeeld in een NPR of andere publicatie, rekenwaarden te geven voor verschillende geometrieën, bijvoorbeeld voor tegenover gelegen gebouwen, voor overstekken en dergelijke.

4.7.11 Vergelijking met berekeningsmethode equivalente daglichtoppervlakte

NEN 2057 geeft een bepalingsmethode voor de berekening van de equivalente daglichtoppervlakte van daglichtopeningen. Hoewel ook in NEN 2057 sprake is van belemmeringshoeken en sectoren kunnen een aantal verschillen worden gesignaleerd die over het algemeen terug te voeren zijn op het verschillend karakter van de vast te stellen prestatie.

Bij de daglichtberekening wordt bijvoorbeeld geen onderscheid gemaakt naar oriëntatie. Een daglichtopening onder een bepaalde hoogte vanaf de vloer levert geen bijdrage aan de daglichttoetreding; voor de toetreding van zonnewarmte is een laag raam met eventuele obstakels (meubels) die de zonnestraling absorberen, geen bezwaar.

NEN 2057 is daarnaast veel verfijnder in de beschrijving van de daglichtopening en de

belemmeringen. Deze verfijning is voor de zontoetreding niet nodig en omwille van de praktische bruikbaarheid ook niet gewenst.

4.7.12 Obstakels buiten perceelgrens

Het Bouwbesluit legt beperkingen op aan de wijze waarop rekening kan worden gehouden met externe obstakels die zich buiten de perceelgrens bevinden.

De uitkomst van de bepalingsmethode mag niet (negatief) beïnvloed worden door mogelijke wijzigingen in de omgeving van de beschouwde woning of woongebouw na verlening van de vergunning.

Anderzijds is het niet redelijk om uit te gaan van de meest pessimistische situatie. Dit zou ook warmtebehoefte opleveren die niet meer in verhouding staan tot de realiteit.

Voor vergelijkbare situaties zijn in het Bouwbesluit bijvoorbeeld de volgende oplossingen te vinden:

(artikel 14 lid 9, weerstand tegen branddoorslag en -overslag):

er wordt uitgegaan van een identiek, doch spiegelsymmetrisch ten opzichte van de perceelgrens gelegen gebouw.

(artikel 39, daglicht en uitzicht):

belemmeringen die zich niet bevinden op het perceel waarop de woning of het woongebouw is gelegen blijven buiten beschouwing; daar staat tegenover dat een minimale rekenwaarde voor de belemmeringshoek van 25 graden wordt voorgeschreven;

daglichtopeningen moeten een bepaalde afstand hebben tot de perceelgrens (2 m);

indien het perceel grenst aan de openbare weg, openbaar water of openbaar groen mag de afstand tot de hart van die weg, dat water en dat groen worden aangehouden.

De ondergrens ten aanzien van de rekenwaarde voor de belemmeringshoek houdt geen rekening met de relatieve positie in het gebouw. Een raam in het dakvlak zal in het algemeen met een kleinere belemmeringshoek worden geconfronteerd dan een raam op de begane grond.

Naar analogie van de oplossing t.a.v. brandwerendheid:

in veel gevallen zal er inderdaad -bij goede benadering- sprake zijn van identieke bebouwing naast het beschouwde perceel.

Bij een op de zon georiënteerde bebouwing is echter de aanname van spiegelsymmetrie niet de meest realistische.

Veeleer zal er sprake zijn van een **repeterend** patroon.

Daarom is wel voorgesteld om uit te gaan van een identieke bebouwing buiten de perceelgrens, waarbij de vergroting van de afstand door openbare weg, openbaar water of openbaar groen mag worden meegerekend.

Echter, ook deze keuze is niet bevredigend, zoals blijkt uit het volgende voorbeeld: een combinatie van een serie laagbouwwoningen met een afsluitend flatgebouw aan de noordzijde. Het flatgebouw heeft minimaal hinder van beschaduwing door de ervoor gelegen laagbouw. Wanneer wordt verondersteld dat parallel aan het flatgebouw zich een identiek flatgebouw bevindt wordt de werkelijke situatie geen recht gedaan.

Uiteindelijk is er vanaf gezien om te pogen het 'gelijke monniken-gelijke kappen' principe via de bepalingsmethode op te lossen.

Er moet dan ook rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat in het Bouwbesluit zelf ten aanzien hiervan nadere aanwijzingen gegeven gaan worden.

4.8 Nachtverlaging en invloed massa van het gebouw

Voor verwarmde ruimten wordt uitgegaan van de vaste veronderstelling dat nachtverlaging van de temperatuurinstelling wordt gepleegd. Het effect van nachtverlaging wordt verdisconteerd door een lagere (gemiddelde) binnentemperatuur aan te nemen. Deze rekenwaarde is in feite afhankelijk van de traagheid van het gebouw, dus van de massa en het warmteverlies.

Een minder traag gebouw zal meer effect hebben van nachtverlaging.

Daar staat tegenover, dat een minder traag gebouw een lagere benutting kent van zonnewarmte: de effectiviteit van warmtebuffering is geringer.

Hoewel deze effecten voor concrete gevallen niet per se tegen elkaar wegvallen, is toch besloten om de gebouwtraagheid niet als variabele in de norm mee te nemen. In veel situaties is immers gebleken dat het netto effect op de warmtebehoefte wel degelijk gering is. Bijvoorbeeld blijkt uit de dynamische berekeningen die ten grondslag hebben

gelegen aan ISSO 16 en TCM-heat ([5]) dat het effect op het jaarlijks energiegebruik voor zeer uiteenlopende situaties beperkt blijft tot -40 en +40 m³ gas, in geval van nachtverlaging. Dit verschil is te gering om een complexe berekening van de gebouwtraagheid te rechtvaardigen.

4.9 Installatie voor ruimteverwarming

Ten aanzien van het rendement van de verwarmingsinstallatie zijn in de norm rekenwaarden opgenomen. Deze rekenwaarden zijn samengesteld uit het rendement voor warmteopwekking en een rekenwaarde voor de systeemfactor; de systeemfactor geeft aan in hoeverre de afgegeven warmte ook als nuttige warmte wordt beschouwd.

Door het TNO Instituut voor Milieu- en Energietechnologie (IMET-TNO) is in overleg met TNO-Bouw een inventarisatie uitgevoerd ten aanzien van de bestaande normen en recente ontwikkelingen op het gebied van nationale en Europese normalisatie van bepalingsmethoden van installatierendementen. Een samenvatting met conclusies ten aanzien van de energieprestatienorm alsmede de uitgebreide versie is te vinden onder bijlage 1.

De conclusie is dat er vooralsnog onvoldoende aanknopingspunten zijn om voor het rendement te volstaan met een verwijzing naar bepaalde bepalingsmethoden. In plaats daarvan zijn getalwaarden gegeven voor onderscheiden *soorten* verwarmingsinstallatie.

In opmerkingen in hoofdstuk 7 van het normontwerp NEN 5128 zijn de nodige toelichtingen opgenomen.

4.10 Installatie voor tapwaterverwarming

Bij de warmwatervoorziening spelen twee elementen een rol:
het rendement van de installatie en het warmwaterverbruik.

Voor het warmwaterverbruik zijn forfaitaire waarden in de norm opgenomen, in de vorm van een rekenwaarde voor het tapvolume, afhankelijk van de grootte van de woning en een rekenwaarde voor de temperatuurverhoging.

Ten aanzien van het gebruiksrendement van de installatie zijn in de norm rekenwaarden opgenomen. Deze rekenwaarden zijn samengesteld uit het rendement voor warmteopwekking en een rekenwaarde voor het geheel aan overige systeemverliezen. In hoofdstuk 8 en bijlagen B en C van het normontwerp NEN 5128 zijn de nodige toelichtingen opgenomen. Achtergrondinformatie is te vinden in [11].

Voor het warmteverlies van een circulatiesysteem zijn een aantal uitgangspunten gekozen en op basis daarvan berekeningen uitgevoerd. Zie bijlage 3.

4.11 Hulp-energie

Hiertoe wordt gerekend alle energie die nodig is om de installaties voor verwarming en ventilatie naar verwachting te laten functioneren, zoals: waakvlam, C.V. pomp, ventilator.

Voor zover de hulpenergie niet reeds is verwerkt in het installatierendement zijn forfaitaire waarden ingevoerd.

De energiehoeveelheden worden in primaire energieverbruik uitgedrukt.

Zie hoofdstuk 7 en bijlage B.9 van het normontwerp NEN 5128.

4.12 Zonneënergiesysteem

4.12.1. Berekeningen

Ten behoeve van de paragrafen 7.6 en 8.6 van het normontwerp NEN 5128 zijn door TNO-Bouw rekenwaarden bepaald voor het rendement van zonneënergiesystemen voor ruimte- en tapwaterverwarming.

Hiertoe is uitgegaan van een voor de huidige markt representatief systeem.

Zowel de warmtebehoefte voor tapwater als voor ruimteverwarming zijn gevarieerd om de invloed van beide op het rendement te vinden:

Variaties ruimteverwarming:

goed geïsoleerde woning (circa 450 m³ gas)

minder geïsoleerde woning

matig geïsoleerde woning (circa 800 m³ gas)

Variaties warmtapwatervraag (opwarming 10 -> 65 °C):

80 liter/dag

140 liter/dag

200 liter/dag

Er is gekozen voor twee soorten systeem:

- I- met naverwarmer
- II- met geïntegreerde bijstook ('hot-top')

Van elk systeem zijn twee varianten doorerekend:

- combinatie ruimteverwarming en tapwaterverwarming;
collectoroppervlakte 8 m², zuid, 45°;
- alleen tapwaterverwarming (zonneboiler);
collectoroppervlakte 2,7 m², zuid, 45°.

Als afdekking is gekozen voor enkel glas; de absorber is voorzien van spectraal selectieve coating.

De opslagcapaciteit van het zonneënergiesysteem bedraagt:

Systeem voor ruimteverwarming

en tapwatervóórverwarming: 500 liter water
0,26 MJ/(K.m²_{coll})

Verwarming tapwater:

Systeem I: 120 liter water
0,19 MJ/(K.m²_{coll})

Systeem II: idem, plus 80 liter 'hot top'

Tabel 15 *Resultaten voor ruimteverwarming*

$Q_{wb;verw}$ (GJ)	$Q_{wb;tap}$ (GJ)	$\eta_{ze;verw}$
16,2	7,5	0,30
16,2	12,8	0,27
16,2	17,9	0,23
22,9	7,5	0,36
22,9	12,8	0,32
22,9	17,9	0,28
27,6	7,5	0,39
27,6	12,8	0,35
27,6	17,9	0,30

Het rendement voor ruimteverwarming blijkt, zoals te verwachten, niet alleen afhankelijk van de warmtebehoefte voor ruimteverwarming, maar ook van de tapwatervraag. De reden is, dat tapwatervraag altijd voorrang krijgt bij de warmtelevering.

Het rendement kan worden gegeven als functie van de verhouding warmtebehoefte en warmte-aanbod op de collector.

Het aanbod op de collector bedraagt bij een collectoroppervlakte van 8 m² (formule (41) resp. (47) van Ontwerp NEN 5128):

voor ruimteverwarming: $Q_{ze;verw;opv} = 11,52 \text{ GJ}$

voor tapwaterverwarming: $Q_{ze;tap;opv} = 31,6 \text{ GJ}$

Het rendement van het zonneënergiesysteem voor wat betreft ruimteverwarming is nu te berekenen als functie van de vraag/aanbod verhouding voor ruimteverwarming en tapwater:

Tabel 16 *Rendement als functie van verhouding vraag en aanbod*

	$\eta_{ze;verw}$		
$Q_{wb;tap}/Q_{aanbod;tap}$	$Q_{wb;verw}/Q_{aanbod;verw}$		
	1,4	2,0	2,4
0,24	0,30	0,36	0,39
0,41	0,27	0,32	0,35
0,57	0,23	0,28	0,30

In de normtekst wordt de warmtebehoefte nog gedeeld door de systeemfactor; immers, het gaat om de hoeveelheid warmte die door de zonneënergieinstallatie geleverd wordt; dit is inclusief de eventuele niet nuttig gebruikte warmte zoals die door het systeem wordt geleverd.

De in deze tabel gegeven bereiken en rendementen zijn ten behoeve van de norm gestyleerd, zie tabel 11 in het normontwerp.

Tabel 17 *Resultaten voor tapwaterverwarming*

systeem	A_{coll} (m ²)	$Q_{wb;tap}$ (GJ)	$\eta_{ze;tap}$
I	8	7,5	0,16
I	8	12,8	0,25
I	8	17,9	0,33
I	2,7	7,5	0,34
I	2,7	12,8	0,46
I	2,7	17,9	0,52
II	2,7	6,7	0,23
II	2,7	11,7	0,34
II	2,7	16,8	0,39

De invloed van de warmtebehoefte voor ruimteverwarming bedraagt (voor de systemen met ruimteverwarming) slechts 2 á 4 procent. Het rendement voor tapwaterverwarming

is dus nagenoeg alleen afhankelijk van de warmtebehoefte voor tapwaterverwarming.

Het aanbod op de collectoren bedraagt (formule (47) van Ontwerp NEN 5128):

voor 8 m² collector: $Q_{ze;tap;opv} = 31,6 \text{ GJ}$

voor 2,7 m² collector: $Q_{ze;tap;opv} = 10,7 \text{ GJ}$

Het rendement van het zonneënergiesysteem voor tapwaterverwarming is ook nu weer te berekenen als functie van de vraag/aanbod verhouding; doch nu alleen voor wat betreft het tapwatergedeelte:

Tabel 18 *Rendement als functie van verhouding vraag en aanbod*

stelsysteem	$Q_{wb;tap}/Q_{aanbod;tap}$	$\eta_{ze;tap}$
I	0,24	0,16
I	0,41	0,25
I	0,57	0,33
I	0,70	0,34
I	1,20	0,46
II	1,67	0,52
II	0,62	0,23
II	1,09	0,34
II	1,56	0,39

In de normtekst wordt wederom de warmtebehoefte nog gedeeld door de systeemfactor; immers, het gaat om de hoeveelheid warmte die door de zonneënergieinstallatie geleverd wordt; dit is inclusief de eventuele niet nuttig gebruikte warmte zoals die door het systeem wordt geleverd, bijvoorbeeld leidingverliezen.

De in deze tabel gegeven bereiken en rendementen zijn ten behoeve van de norm gestyleerd, zie tabel 16 in het normontwerp.

Overigens waren ten tijde van de publicatie van het normontwerp de gegevens van de zonneboilers nog niet volledig beschikbaar. Op basis van de in bovenstaande tabel

gegeven cijfers dient tabel 16 worden uitgebreid (systeem I) cq gecorrigeerd (systeem II).

NB: door TNO-Bouw is, in samenwerking met de belanghebbende partijen, gewerkt aan een bepalingmethode voor de jaaropbrengst van zonneboilers, mede in verband met een koppeling aan de hoogte van subsidiebijdragen. Deze methode, alsmede de koppeling van subsidie aan opbrengst, zal naar alle waarschijnlijkheid per 1 januari 1994 ingevoerd worden. Nagegaan wordt of deze bepalingmethode tevens een rekenwaarde kan genereren die geschikt is als invoergegeven voor de energieprestatienorm.

4.12.2 Erratum in het normontwerp

in de kop boven de kolommen in tabel 11 wordt gevraagd:

$$Q_{wb;verw}/(Q_{ze;verw;opv} \eta_{ze;verw})$$

Dit moet zijn:

$$Q_{wb;verw}/(Q_{ze;verw;opv} \eta_{inst;sys;verw})$$

Voorts ontbreekt onder tabel 11 een verwijzing naar de plaatsen waar de benodigde getalwaarden kunnen worden gevonden, hetgeen de duidelijkheid niet ten goede komt.

Toevoegen onder tabel 11:

waarin:

- | | |
|-------------------|--|
| $\eta_{ze;verw}$ | is het jaarrendement van het zonneënergiesysteem voor ruimteverwarming; |
| $Q_{wb;verw}$ | is de netto-warmtebehoefte voor ruimteverwarming, bepaald volgens 5.2, in MJ; |
| $Q_{ze;verw;opv}$ | is de totale hoeveelheid op de zonnecollectoren vallende straling, bepaald volgens vergelijking (41), in MJ; |

$\eta_{\text{inst;sys;verw}}$	is de systeemfactor voor ruimteverwarming, bepaald volgens 7.3;
$Q_{\text{wb;tap}}$	is de netto-warmtebehoefte voor warmtapwaterbereiding, bepaald volgens hoofdstuk 6, in MJ;
$Q_{\text{ze;tap;opv}}$	is de jaarlijkse hoeveelheid op de zonnecollectoren vallende straling, bepaald volgens vergelijking (47), in MJ;
$\eta_{\text{inst;sys;tap}}$	is de systeemfactor voor de warmtapwaterbereiding, bepaald volgens 8.3.

Op vergelijkbare wijze toe te voegen onder tabel 16:

waarin:

$\eta_{\text{ze;tap}}$	is het jaarrendement van het zonneënergiesysteem voor tapwaterverwarming;
$Q_{\text{wb;tap}}$	is de netto-warmtebehoefte voor warmtapwaterbereiding, bepaald volgens hoofdstuk 6, in MJ;
$Q_{\text{ze;tap;opv}}$	is de jaarlijkse hoeveelheid op de zonnecollectoren vallende straling, bepaald volgens vergelijking (47), in MJ;
$\eta_{\text{inst;sys;tap}}$	is de systeemfactor voor de warmtapwaterbereiding, bepaald volgens 8.3.

4.12.3 Voorbeeldberekening

We gaan uit van het voorbeeld gegeven in bijlage D van het normontwerp NEN 5128 en voorzien de betreffende woning van een installatie met 10 m² zonnecollectoren voor gecombineerd gebruik voor ruimteverwarming en verwarming van tapwater. De installatie voldoet aan de voorwaarden zoals omschreven onder tabel 11 respectievelijk onder tabel 16.

Positie collectoren: oriëntatie zuid, helling 45 °, geen beschaduwing.

$$z_{\text{ze;verw}} = 1,20 \quad (\text{tabel 5})$$

$$s_{\text{ze;verw}} = 0 \quad (\text{geen beschaduwing})$$

$$A_{\text{ze}} = 10 \text{ m}^2$$

Hieruit volgt (vergelijking (41)):

$$Q_{ze;verw;opv} = 1,20 \times 1 \times 10 \times 1200 = 14400 \text{ (MJ)}$$

$$Q_{wb;verw} = 21903 \text{ (MJ)} \quad (5.2; \text{ zie bijlage D})$$

$$\eta_{inst;sys;verw} = 0,95 \quad (7.3, \text{ zie bijlage D})$$

Hieruit volgt:

$$Q_{wb;verw} / (Q_{ze;verw;opv} \eta_{inst;sys;verw}) = 21903 / (14400 \times 0,95) = 1,60$$

$$z_{ze;tap} = 1,41 \quad (\text{tabel 15})$$

$$s_{ze;tap} = 0 \quad (\text{geen beschaduwing})$$

$$A_{ze;tap} = 10 \text{ m}^2 \quad (\text{gecombineerd systeem voor ruimteverwarming en tapwater})$$

Hieruit volgt (vergelijking (47)):

$$Q_{ze;tap;opv} = 1,41 \times 1 \times 10 \times 2800 = 39480 \text{ (MJ)}$$

$$Q_{wb;tap} = 9342 \text{ (MJ)} \quad (\text{hoofdstuk 6, zie bijlage D})$$

$$\eta_{inst;sys;tap} = 0,68 \quad (8.3, \text{ zie bijlage D})$$

Hieruit volgt:

$$Q_{wb;tap} / (Q_{ze;tap;opv} \eta_{inst;sys;tap}) = 9342 / (39480 \times 0,68) = 0,35$$

Met behulp van de berekende twee verhoudingsgetallen voor ruimteverwarming respectievelijk tapwaterverwarming, 1,60 resp. 0,35, wordt uit tabel 11 het rendement voor ruimteverwarming afgeleid door interpolatie:

$$\eta_{ze;verw} = 0,277$$

Hieruit volgt (vergelijking (40)):

$$Q_{ze;verw} = 0,277 \times 14400 = 3984 \text{ MJ}$$

Met behulp van het berekende verhoudingsgetal voor tapwaterverwarming, 0,35, wordt uit tabel 16 het rendement voor tapwaterverwarming afgeleid door interpolatie:

$$\eta_{ze;tap} = 0,217$$

Hieruit volgt (vergelijking (46)):

$$Q_{ze;tap} = 0,217 \times 39480 = 8554 \text{ MJ}$$

4.13 Interne warmte

De interne warmteproductie door personen, apparaten en verlichting wordt met een forfaitaire rekenwaarde verrekend, afhankelijk van de grootte van de woning.

Op basis van de in [7] gerapporteerde inventarisatie worden voor een gemiddelde woning de volgende waarden aangehouden voor de warmte die ten gevolge van interne warmteproductie aan de woning ten goede komt:

Tabel 19 *Interne warmteproductie*

in Watt	zone 1	zone 2	zone 3	totaal
07 - 17 u	400	-	-	400
17 - 23 u	1000	-	-	1000
23 - 07 u	100	200	-	300
som	10,8 kWh	1,6 kWh	0,0 kWh	12,4 kWh

Wederom zijn we op zoek naar een grootheid die gerelateerd is aan de grootte van het beschouwde (deel van de) woning of het woongebouw.

Omwillen van de helderheid en eenvoud wordt een benadering toegepast waarbij (ook) de interne warmte evenredig is verdeeld over de verblijfsgebieden:

$$q_{int} = 8 \cdot A_{vg} \text{ W} \tag{26}$$

waarin:

A_{vg} : oppervlakte verblijfsgebied

Voorbeeld:

NOVEM doorzon referentiewoning:

$$A_{vg}=65,3 \text{ m}^2$$

$$q_{int}=522 \text{ W}$$

4.14 Klimaatzones

Er is (vooralsnog) geen onderscheid gemaakt tussen klimaatzones ten aanzien van buitentemperatuur, zon en wind.

Gebleken is, dat met name regionale variaties in gemiddelde windsnelheid, via het effect op de infiltratie, een niet verwaarloosbare invloed kunnen uitoefenen op de warmtebehoefte. Maar juist voor de windsnelheid geldt, dat plaatselijke omstandigheden die moeilijk of niet in de bepalingmethode kunnen worden verdisconteerd van nog meer invloed zijn, zoals reeds in paragraaf 4.5 is besproken.

De klimaatgegevens van De Bilt (het zogenaamde Test Reference Year) gelden als uitgangspunt voor de rekenwaarden.

Bijlage C.7 van het Ontwerp NEN 5128 geeft het effect van een eventuele differentiatie in klimaatzones op de bepalingmethode.

4.14 Eenheid

Het energiegebruik wordt in de norm uiteindelijk omgerekend tot MJ primair energiegebruik.

Voor het rendement van electriciteitsopwekking is de waarde 0,33 aangehouden, zie bijlage 2.

4.15 De energie prestatie-eis

4.15.1 Inleiding

De eenvoudigste vorm van een energie prestatie-eis is een vaste getalwaarde voor elke woning cq woongebouw.

Echter, met name de woning-grootte en de oppervlakte van de uitwendige scheidingsconstructies leveren argumenten voor een genuanceerder benadering.

Er worden hier twee mogelijke uitgangspunten geschetst:

- a. 'neutraal':
de invoering van de prestatie-eis moet zo min mogelijk invloed hebben op de huidige bouwwijze;
- b. 'sturend':
de prestatie-eis dient in een zodanige vorm te worden gegoten dat energiezuinig, m.n. kleiner en/of compacter bouwen wordt bevorderd.

In dit deel van het rapport worden enige consequenties aangegeven.

De invloed van grootte en vorm van de woning op het energiegebruik wordt nader toegelicht. Vervolgens wordt aangegeven wat de consequenties zijn van de keuze voor elk van beide uitgangspunten, voor de vorm van de prestatie-eis en voor de bouwpraktijk.

De Energieprestatie wordt uiteindelijk gegeven als de **energie prestatiecoëfficiënt**.

Deze prestatiecoëfficiënt is gelijk aan het energiegebruik voor ruimteverwarming plus verwarming van tapwater, inclusief hulpenergie, gedeeld door een factor waarin de grootte van de woning en de woningvorm (compactheid) een rol spelen.

4.15.2 Invloed van de woning-grootte op de energiezuinigheid

De energie prestatiecoëfficiënt in het normontwerp NEN 5128 is zodanig geformuleerd dat grotere woningen bij gelijke technische voorzieningen dezelfde prestatiecoëfficiënt bereiken.

De woninggrootte is uitgedrukt in het oppervlakte aan verblijfsgebieden in plaats van de gebruiksoppervlakte. Hiermee wordt voorkómen, dat men bij bijvoorbeeld een verbouwing van zolder-berging of een aangebouwde garage tot verblijfsruimte in een situatie verzeild raakt waarbij niet meer met redelijke inspanning aan de energieprestatie-eis is te voldoen. In zo'n situatie neemt immers het berekende energiegebruik volgens de bepalingsmethode toe: onverwarmde zone wordt verwarmde zone. Door als maat voor de woning te kiezen voor het verblijfsgebied, wordt het

genoemde meerverbruik gecompenseerd.

4.15.3 Invloed van de woningvorm

Het warmteverlies door een kopgevel leidt ertoe dat een hoekwoning meer energie verbruikt dan een vergelijkbare tussenwoning. De energie prestatie-eis geldt per individuele woning of woongebouw; het Bouwbesluit geeft geen ruimte om een eis te formuleren per 'cluster' van woningen zoals een rij eengezinswoningen, anders dan een woongebouw (met gemeenschappelijke verkeersruimten).

Indien ten aanzien van dit aspect het 'neutrale' uitgangspunt wordt gevolgd, dan dient de eis zodanig te worden geformuleerd dat voor de hoekwoning dezelfde mate van inspanning wordt vereist om aan de eis te voldoen als voor de tussenwoning. Concreet betekent dit dat mag worden verwacht dat de kopgevel hetzelfde isolatieniveau krijgt als de overige niet-transparante uitwendige scheidingsconstructies.

NB: er hoeft géén rekening te worden gehouden met extra raamoppervlak, aangezien de oppervlakte van de ramen in relatie staat tot het vloeroppervlak; meer raamoppervlak bij een groter geveloppervlak moet worden beschouwd als een toegevoegde waarde waarvan de energetische consequenties voor rekening komen van de aanvrager van de vergunning.

Kortom: in de eis dient rekening moet worden gehouden met verschillen in energiegebruik door verschillen in oppervlakte aan uitwendige scheidingsconstructies.

Deze benadering gaat uit van hetzelfde beginsel als welke ten grondslag ligt aan de formulering van de It-waarde in NEN 1068.

Men zou hiertegen als bezwaar kunnen aanvoeren, dat op deze wijze een grillig gevormde gevel niet 'afgestraft' wordt: de vorm van de eis leidt ertoe dat voor een woning met een grillig gevormde gevel géén extra inspanning wordt gevraagd om te kunnen voldoen aan de eis: als de woning voor het overige gelijk is aan een meer compacte woning, dan zal volgens deze opzet aan de eis zijn voldaan indien het extra oppervlak een isolatieniveau krijgt dat vergelijkbaar is met dat van de overige niet-transparante uitwendige scheidingsconstructies.

Indien het 'neutrale' uitgangspunt wordt verlaten, kan worden gedacht aan het afzwakken van de relatie met uitwendig scheidingsoppervlak met als doel het bevorderen van compact bouwen.

Deze afzwakking kan in elke gradatie worden ingevoerd. De meest radicale vorm is die waarbij geen enkele 'bonus' voor groter uitwendig scheidingsoppervlak wordt ingevoerd.

Voor dit laatste geval geeft de hierna volgende tabel een indruk van de consequenties, berekend voor een representatieve nieuwbouwwoning. De tussenwoning is als referentie genomen (100 %).

Tabel 20 *Invloed woningvorm*

uitvoering als	tussenwoning	hoekwoning	vrijstaand
transmissie warmteverlies	100 %	120 %	140 %
energiegebruik voor verwarming	100 %	125 %	150 %
energiegebruik voor verwarming en warm tapwater	100 %	113 %	126 %

De consequenties zijn duidelijk: indien de eis in het geheel geen rekening houdt met het verschil in de grootte van het uitwendig scheidingsoppervlak dan zal het grote verschil in energiegebruik moeten worden opgevangen door verschil in technische maatregelen.

Als de eis wordt gebaseerd op de tussenwoning, dan zullen bijvoorbeeld voor de hoekwoning maatregelen moeten worden getroffen die het energiegebruik voor verwarming met 20 procent reduceren; bijvoorbeeld door middel van een hogere isolatiewaarde en een hoger installatierendement dan in de ernaast gelegen tussenwoning.

Als de eis wordt gebaseerd op de hoekwoning, dan wordt de tussenwoning extra speelruimte geboden. Het is te verwachten dat dit gat zal worden benut om de tussenwoning minder energiezuinig uit te voeren, bijvoorbeeld door de plaatsing van een goedkopere installatie, met een lager rendement. Dit laatste staat haaks op het effect dat werd beoogd, namelijk een energiezuinige bouwwijze.

Eén en ander leidt tot de volgende conclusies:

de energie prestatie-eis dient in een zodanige vorm te worden uitgewerkt dat de grenswaarde toeneemt met de grootte van het uitwendig scheidingsoppervlak (per eenheid van vloeroppervlak).

Indien men een eis wenst die 'neutraal' is ten aanzien van de huidige bouwwijze, dient deze toename zodanig te zijn dat voor een woning met een groter uitwendig oppervlak geen extra maatregelen nodig zijn om aan de eis te kunnen voldoen, anders dan isolatie van het meeroppervlak.

Indien daarentegen gekozen zou worden voor een energie prestatie-eis die compact bouwen bevordert, dan kan dit worden bereikt door de afhankelijkheid van het uitwendig scheidingsoppervlak af te zwakken. Hoe sterker de afzwakking, des te sterker de sturende werking die van de eis uitgaat.

In dat geval is het nodig om de consequenties van enkele mogelijke tussenvormen na te gaan voor enkele voorbeelden van woningontwerpen.

De energie prestatiecoëfficiënt in het normontwerp NEN 5128 is zodanig geformuleerd dat woningen met een groter uitwendig oppervlak bij gelijke technische voorzieningen dezelfde prestatiecoëfficiënt bereiken. Voor een woning met een groter uitwendig oppervlak zijn dus geen extra maatregelen nodig om aan de eis te kunnen voldoen, anders dan isolatie van het meeroppervlak: de eis is dus 'neutraal' ten aanzien van de huidige bouwwijze.

4.15.4 Scheiding met binnenruimten met andere functies

Bij de bepaling van de som van warmteverliesgevende constructies worden alle constructies meegenomen die de woning afscheiden van buitenlucht, ondergrond, kruipruimte of van een besloten ruimte die geen deel uitmaakt van een verblijfsgebied of een toilet- of badruimte.

Bij deze sommatie worden echter reductiefactoren gebruikt, zoals voor scheidingen met de ondergrond of kruipruimte en scheidingen met andere verwarmde ruimten.

In het Bouwbesluit wordt onderscheid gemaakt tussen inwendig en uitwendig scheidingsoppervlak. Wat betreft uitwendig scheidingsoppervlak is een onderscheid gemaakt tussen scheidingen met de buitenlucht, met water en met de grond.

Het is redelijk om de scheiding met de grond minder zwaar te laten wegen dan de overige uitwendige scheidingsconstructies, in verband met het geringer temperatuurverschil en dus geringer warmteverlies over de begane grond vloer.

Resteert de vraag wat te doen met scheidingen naar binnenruimten met een andere functie, bijvoorbeeld winkels; het temperatuurverschil over deze constructies zal geringer zijn dan dat over een uitwendige scheiding. Anderzijds zal de formulering van de eis gecompliceerder worden indien naar elke soort scheiding wordt gedifferentieerd. Bijvoorbeeld: zwak geventileerde berging, winkel, kantoor, sterk geventileerde garage, etcetera.

De definitie van de It-waarde in NEN 1068 vertoont een zekere parallel. De It-waarde is een (kunstmatige) grootte waarbij de invloed van de woningvorm ook is verdisconteerd, en wel door middel van de verhouding tussen volume en verliesgevend oppervlakte A. Tot deze oppervlakte A worden gerekend alle scheidingsconstructies die de woning afscheiden van buitenlucht, ondergrond, kruipruimte of van een besloten ruimte die geen deel uitmaakt van een verblijfsgebied of een toilet- of badruimte.

Maar in de totstandkoming van deze som aan verliesgevende oppervlakten wordt géén weging toegepast die rekening houdt met de aard van de scheiding. Zodat bijvoorbeeld een begane grond vloer tot evenveel 'bonus' leidt als een scheiding met de buitenlucht.

NB: in NEN 1068 komen wel weegfactoren voor, maar uitsluitend bij de bepaling van de gemiddelde U-waarde; hier ligt een parallel met de bepalingsmethode voor de toetsing van de energieprestatie, waar bij het warmteverlies door de scheidingsconstructies eveneens rekening gehouden wordt met de aard van de scheiding.

Conclusie: in tegenstelling met de aanpak in NEN 1068 wordt in de energieprestatienorm de aard van de scheidingsconstructie wèl meegewogen, zij het met een eenvoudige formulering.

Het resultaat is de weegfactor d, zoals gepresenteerd in de ontwerpnorm NEN 5128 (4.3.3.4.).

NB: let op dat bij deze formulering een gevel voorzien van een (onverwarmde) serre wel voor de volle honderd procent mag worden meegerekend. Dit is ook terecht: in principe blijft deze gevel een buitengevel; de serre kan gezien worden als een bijzondere voorziening gericht op verlaging van het energieverbruik, hetgeen met behulp van de bepalingmethode vastgesteld dient te worden.

Maar ook scheidingen met andere onverwarmde ruimten krijgen hier eenzelfde 'bonus' als scheidingen met de buitenlucht. Hiermee worden ingewikkelde definitiekwesties vermeden; dat bij de bepaling van het energieverbruik deze scheidingen gunstiger uitvallen dan scheidingen met de buitenlucht mag als een (kleine) premie op energiezuinig bouwen worden aangemerkt.

4.15.5 Energiegebruik voor warm tapwaterbereiding

Het aandeel van de verwarming van tapwater in het totale energieverbruik van woningen is in de afgelopen decennia drastisch toegenomen. Dit is met name een gevolg van het terugdringen van het energieverbruik voor de ruimteverwarming. Het warm tapwaterverbruik zelf wordt bovendien door een stijgende tendens gekenmerkt.

Een energie prestatie-eis voor de verwarming van tapwater levert geen extra complicaties op.

Omdat in de **bepalingmethode** uitgegaan wordt van een verbruik aan warm tapwater dat evenredig toeneemt met de grootte van het vloeroppervlak en de hoogte van de eis volgt dezelfde relatie, dan is het rendement van de installatie in feite de enige variabele die de prestatie bepaalt.

Het combineren van de eis gesteld ten aanzien van het energieverbruik voor ruimteverwarming en de eis ten aanzien van het energieverbruik voor warm tapwater heeft daarbij uitsluitend voordelen:

- in veel situaties wordt de warmte door één gecombineerde installatie geleverd;
- een gecombineerde eis biedt meer flexibiliteit en werkt daardoor innovatiebevorderend. Immers, maatregelen kunnen worden uitgewisseld, bijvoorbeeld toepassing van een zonne-boiler in plaats van warmteterugwinning, en dergelijke.

Om deze redenen is de energie prestatiecoëfficiënt geformuleerd voor de **som** van energiegebruik voor ruimteverwarming en verwarming van tapwater.

4.15.6 De energieprestatiecoëfficiënt

Voor een aantal woningen is bepaald wat -met de huidige eisen- de energieprestatie in termen van energiegebruik voor verwarming, tapwaterverwarming en ventilatoren ($Q_{\text{pres,tot}}$) zou worden.

Dit levert een verband tussen energieprestatie, oppervlakte aan verblijfsgebieden A_{vg} en verliesoppervlakte A_{verl} .

Dit verband is voor de NOVEM referentiewoning gekwantificeerd:

Tabel 21 Voorbeeld invloed verliesgevende oppervlakte

	$Q_{\text{pres,tot,ref}}$	A_{vg}	A_{verl}
	(MJ)	(m ²)	(m ²)
als tussenwoning	47768	65,3	142
als vrijstaand	63797	65,3	254

Hieruit kan worden afgeleid:

Het verband tussen $Q_{\text{pres,tot,ref}}$ en A_{verl} :

$$\Delta Q_{\text{pres,tot,ref}} / \Delta A_{\text{verl}} = (63797 - 47768) / (254 - 142) = 143 \text{ (MJ/m}^2\text{)} \quad (27)$$

Dus:

$$Q_{\text{pres,tot,ref}} = 27445 + 143 \cdot A_{\text{verl}} \text{ (MJ)} \quad (28)$$

Het verband tussen $Q_{\text{pres,tot,ref}}$ en A_{vg} wordt eenvoudig gevonden door de laatste vergelijking te delen door de oppervlakte aan verblijfsgebieden; of in iets andere vorm:

$$Q_{\text{pres,tot,ref}} = 420 \cdot A_{\text{vg}} + 143 \cdot A_{\text{verl}} \text{ (MJ)} \quad (29)$$

De energiestatistiecoëfficiënt zou kunnen worden gedefiniëerd als de waarde voor $Q_{\text{pres;tot}}$ in verhouding tot de waarde van $Q_{\text{pres;tot;ref}}$ uit vergelijking (13) die immers het huidige niveau representeert.

Dus :

$$EP = Q_{\text{pres;tot}} / (420 \cdot A_{\text{vg}} + 143 \cdot A_{\text{verl}}) \quad (30)$$

In dat geval zou bijvoorbeeld gelden:

EP = 1,0: huidig niveau

EP = 0,80: 20 % minder energiegebruik dan huidig niveau.

Aangezien het huidige niveau maar betrekkelijke geldigheid heeft als maatstaf, is in het normontwerp gekozen voor een ander niveau als referentie, namelijk het niveau met een gemiddeld verbruik van 1000 m³ gas per woning.

Aangezien de referentiewoning met de huidige eisen uitkomt op circa 1500 m³ gas (incl. warm water en tot primaire energie omgerekende hulpenergie) zijn de getalwaarden van deze nieuwe referentie 1,5 maal zo klein:

$$EP = Q_{\text{pres;tot}} / (280 \cdot A_{\text{vg}} + 95 \cdot A_{\text{verl}}) \quad (31)$$

Deze vergelijking is te vinden als vergelijking (1) in het normontwerp, na afronding van de coëfficiënten tot 300 respectievelijk 100.

Dit levert b.v.:

EP = 1,5: huidig niveau: 1500 m³ gas voor gemiddelde woning;

EP = 1,2: 20 % minder energiegebruik dan huidig niveau (1200 m³ gas voor gemiddelde woning).

Op vergelijkbare wijze had de EP ook gedefiniëerd kunnen worden op een zodanige manier dat de uitkomst het aantal MJ uitdrukt aan energiegebruik voor een gemiddelde woning:

$$EP = Q_{\text{pres;tot}} / (9,8 \cdot A_{\text{vg}} + 2,7 \cdot A_{\text{verl}}) \quad (32)$$

Dit levert b.v.:

EP = 50: huidig niveau: 50.000 MJ voor gemiddelde woning;

EP = 40: 20 % minder energiegebruik dan huidig niveau (40.000 MJ voor gemiddelde woning).

De keuze tussen deze alternatieven wordt met name bepaald door de voorkeur voor een bepaalde presentatie.

De keuze die in het normontwerp is gemaakt kan desgewenst eenvoudigweg worden herzien, zoals hierboven aangegeven.

4.15.7 Mogelijk alternatief zonder correctie voor verliesoppervlakte

Indien in de bepalingsmethode ook een zeker warmteverlies naar aangrenzende woningen wordt aangenomen, zodat tussenwoningen evenveel warmte verliezen als hoek- of vrijstaande woningen, dan is geen correctie nodig voor de grootte van de verliesoppervlakte. Dit wordt bereikt door de weegfactor a voor deze scheidingsconstructies de waarde $a=0,2$ in plaats van $a=0$ te geven.

Consequenties wanneer gekozen zou worden voor dit alternatief:

- a. gemiddeld is het berekende energiegebruik niet meer representatief, omdat nu voor elke woning een verlies naar de buurwoning wordt gerekend terwijl gemiddeld het verlies van de ene woning de winst voor de andere woning is. Bijvoorbeeld bij de NOVEM referentiewoning bedraagt het verschil tussen tussen- en dezelfde woning in vrijstaande uitvoering circa 450 m³ gas. Het is overigens niet moeilijk om bij de vertaling van de prestatie-eis naar consequenties voor het energiegebruik dit effect eruit te lichten.
- b. een minder compacte bouwwijze krijgt nu het grotere verliesoppervlak (bij gelijke woninggrootte) niet meer gecompenseerd.

Bijvoorbeeld: een bungalow $b \times d \times h = 10 \times 10 \times 2,5$ m heeft 50 m^2 (20 %) groter verliesoppervlak dan een vrijstaande tweeverdiepingwoning $b \times d \times h = 5 \times 10 \times 5$ m.
Consequentie: bij gelijke technische maatregelen: circa 6000 MJ (10 %) meer (berekend en werkelijk) energiegebruik.

- c. in de formule voor de energieprestatiecoëfficiënt dient de verrekening van de grootte van de woning te worden aangepast: een grotere woning heeft een naar verhouding minder groot verliesoppervlak: een grotere woning wordt compacter.

In het bijzonder is dit effect te zien in het volgende voorbeeld: beschouw zes woningen op een rij in één woongebouw: elke woning verliest volgens de berekening warmte naar de buurwoning; plus: een eventuele gemeenschappelijke verblijfsruimte verliest warmte naar de aangrenzende woningen.

Beschouw nu dezelfde zes woningen, maar nu aangemeld als één (grote) woning.

Nu is géén sprake van berekening van warmteverlies tussen de zes 'wooneenheden': ze behoren tot dezelfde woning.

Bij de huidige eisen zal bijvoorbeeld een eengezinswoning - bij keuze van dit alternatief - een berekend energiegebruik hebben van circa 1000 MJ per m^2 verblijfsoppervlakte.

Een zes maal zo grote woning heeft bijvoorbeeld - afhankelijk van de mate van compactheid - een energiegebruik van 750 MJ per m^2 verblijfsoppervlakte. Deze laatste waarde wordt bijvoorbeeld verkregen indien zes woningen op een rij als één woning worden beschouwd.

In de energieprestatiecoëfficiënt kan één en ander worden verrekend door te delen door A_{vg}^n , met n is een macht kleiner dan 1.

De volgende vergelijking zou hiervoor kunnen dienen, in plaats van (1) in 4.2:

$$EP = Q_{\text{pres,tot}} / \{ 1000 \cdot (A_{vg})^{0,85} \} \quad (33)$$

De verliesoppervlakte berekening vervalt in dit geval (paragraaf 4.3.3).

In 5.10.4.7 krijgt de weegfactor a de waarde 0,2.

- d. Isolatie tussen woningen wordt beloond door een lager berekend energiegebruik.

Bijvoorbeeld: een tussenwoning met circa 100 m² woningscheidend oppervlak: reductie van forfaitaire U-waarde, $U=2 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, naar reële U-waarde: $U=0,65 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ levert een berekende energiebesparing op van circa 9000 MJ (250 m³ gas).

Al met al lijkt dit alternatief geen verbetering of vereenvoudiging op te leveren. Het is dan ook niet in het normontwerp overgenomen.

Delft, 14 september 1993

DKH1007.BAS (BRLA)

LITERATUUR

- [1] PrEN 832, Thermal performance of buildings - calculation of energy use for heating - residential buildings (draft August 1992)
- [2] Ontwerp NEN 5128, Bepalingsmethode energieprestatie woningen en logiesverblijven, mei 1993
- [3] Ontwerp NEN 2916, Bepalingsmethode energieprestatie utiliteitsgebouwen, juni 1993
- [4] Dijk, H.A.L. van, C.A.M. Arkesteijn,
Windows and Space Heating Requirements; parameter studies leading to a simplified calculation method
The Netherlands national report within Step 5 in IEA Annex XII, Windows and Fenestration, Delft, December 1987
- [5] De jaarlijkse warmtebehoefte van woningen; energiegebruiks berekening per vertrek en totaal, ISSO publicatie 16, Rotterdam, Oktober 1987
- [6] NOVEM referentiewoning 1990; doorzontype
- [7] Laan, M.J., Ontwerp van een standaard referentiegedrag voor energieverbruiks berekeningen, TNO rapport R88/080, maart 1988
- [8] CEN TC89/N215 (15 februari 1993)
Windows and Doors - Thermal transmittance - Calculation method
- [9] prEN 673:1992 (febr. 1992)
Thermal insulation of glazings - Calculation rules for determining the steady state "U" value (thermal transmittance) of glazing
- [10] De Factor Zon
NOVEM publicatie, augustus 1988
- [11] Bartholomeus, P.H.J., A.J. Meijnen en Th.C.M. Muselaers,
Warm water: energiegebruik en milieubelasting
Gas, 6, juni 1992, pp.274-280

BIJLAGE A

INVENTARISATIE BEPALINGSMETHODEN ENERGIEGEBRUIK WONINGINSTALLATIES

NOTITIE

Betreft : Samenvatting inventarisatie bepalingsmethoden energiegebruik
woninginstallaties
Aan : Ir. H.A.L. van Dijk, TNO-Bouw
Van : J. van Wolferen, IMET-TNO, afdeling WKT
Afschrift: L. van der Snoek, L.J.A.M. Hendriksen (IMET-TNO)
Datum : 23 september 1992
Ref.nr. : 92 - 010544
Dossiernr: 112325 - 24174

1. Inleiding

Door TNO-Bouw, afdeling BBI, wordt een Energieprestatienorm voor woningen voorbereid. In opdracht van TNO-Bouw is door IMET-TNO, afdeling WKT, een inventarisatie uitgevoerd naar bepalingsmethodieken van het energiegebruik door woninginstallaties. Het gaat hierbij zowel om normen als richtlijnen en andere algemeen gehanteerde of in ontwikkeling zijnde methodieken.

De inventarisatie beperkt zich tot verwarmingsinstallaties (ruimteverwarming en warm-tapwatervoorziening) in woningen (zowel eengezinswoningen als gestapelde bouw). Zowel het brandstof- als elektrisch verbruik worden besproken. Door TNO-Bouw wordt gepleit voor omrekening van al het energiegebruik (brandstof, elektrisch, warmte) naar primair energiegebruik. Voor de onderlinge vergelijking van de resultaten lijkt dit de beste benadering.

In deze notitie worden de konklusies en aanbevelingen van deze inventarisatie samengevat.

2. Konklusies

De hoofdkonklusies van deze inventarisatie luiden:

- op basis van de huidige beschikbare normen en richtlijnen kan een grove berekeningswijze van het gebruiksrendement van toestellen en het daaruitvolgend energiegebruik worden opgesteld; voor het verbruik van elektrische hulpenergie ontbreken veelal de gegevens;
- voor een meer subtiële berekeningswijze ontbreken op een aantal wezenlijke punten de benodigde normen en richtlijnen.

Voor een meer subtiële berekeningswijze ontbreken normen en richtlijnen voor met name de volgende punten:

- berekeningswijze afgifte- en distributieverliezen;
- meting van de benodigde elektrische hulpenergie voor alle componenten;
- rendementsmetingen buiten de nominale bedrijfscondities en stilstandsverliesmeting (warmteopwekking ruimteverwarming, tapwaterbereiding);
- berekeningswijze gebruiksrendement bij gegeven patroon van bedrijfscondities (warmteopwekking ruimteverwarming, tapwaterbereiding);
- omschrijving/definitie opbrengst warmtapwaterbereiding;
- alle voorgaande punten voor multi-funktionele toestellen;
- tapwaterpatro(o)n(en) en leidingnetconfiguratie.



3. Aanbevelingen

Om op korte termijn te beschikken over een bruikbaar instrument voor de beoordeling van het energiegebruik van installaties verdient het de aanbeveling om een grove indeling van toesteltypen of -klassen op te stellen, waarvoor een bijbehorend gebruiksrendement en/of energiegebruik kan worden bepaald. Het verbruik van elektrische hulpenergie valt buiten deze indeling. Deze indeling wordt uitsluitend gebaseerd op gegevens die met de huidige genormeerde beproevingsmethoden worden verkregen. Bedrijfsomstandigheden worden uitsluitend bepaald door gegevens die uit norm afkomstig zijn, zoals ontwerpvermogen en jaarlijkse warmtevraag van de woning.

Op langere termijn is het gewenst om een meer verfijnde berekeningswijze van het energiegebruik van de installaties te ontwikkelen. Daarmee kan zowel het energiegebruik van een installatie worden getoetst aan de norm als worden vergeleken met andere installaties.

Daarom bevelen wij aan om een plan op te stellen voor de ontwikkeling van een dergelijke methodiek. In hoofdstuk 4 van de rapportage is schetsmatig aangegeven wat de mogelijkheden hiervoor zijn.

Het grootste probleem zal in het algemeen zijn om de resultaten van de diverse normen voor component-beproeving te vertalen naar gebruikssituaties. Veel keuringseisen zijn toegespitst op een resultaat waarmee componenten onderling kunnen worden vergeleken in een beperkt aantal (nominale) toestanden. Als wordt aangegeven welke gegevens vereist zijn voor de berekening van de (bijdrage aan de) energieprestatie van een systeem kunnen vervolgens de richtlijnen en normen bijgesteld worden.



NOTITIE

Betreft : Rapportage inventarisatie bepalingsmethoden energieverbruik
woninginstallaties
Aan : Ir. H.A.L. van Dijk, TNO-Bouw
Van : J. van Wolferen, L.J.A.M. Hendriksen, IMET-TNO, afdeling WKT
Afschrift: L. van der Snoek (IMET-TNO)
Datum : 23 september 1992
Ref.nr. : 92 - 010543
Dossiernr: 112325 - 24174

1. Inleiding

Door TNO-Bouw, afdeling BBI, wordt een Energieprestatienorm voor woningen voorbereid. In opdracht van TNO-Bouw is door IMET-TNO, afdeling WKT, een inventarisatie uitgevoerd naar bepalingsmethodieken van het energieverbruik door woninginstallaties. Het gaat hierbij zowel om normen als richtlijnen en andere algemeen gehanteerde of in ontwikkeling zijnde methodieken.

In deze notitie worden de resultaten van de inventarisatie gerapporteerd. De inventarisatie beperkt zich tot verwarmingsinstallaties (ruimteverwarming en warm-tapwatervoorziening) in woningen (zowel eengezinswoningen als gestapelde bouw). Zowel het brandstof- als elektrisch verbruik worden besproken. Door TNO-Bouw wordt gepleit voor omrekening van al het energieverbruik (brandstof, elektrisch, warmte) naar primair energieverbruik [1]. Voor de onderlinge vergelijking van de resultaten lijkt dit de beste benadering.

Hieronder wordt eerst een overzicht gegeven van in woningen gangbare verwarmingssystemen. Daarna volgt een overzicht van de relevante normen, richtlijnen en andere methodieken om het energieverbruik te berekenen. Daarna wordt een aantal suggesties gedaan voor de normontwikkeling van de berekening van het energieverbruik voor die onderdelen waar deze tot nu toe ontoereikend is. Afgesloten wordt met de conclusies en aanbevelingen.



2. Verwarmingsystemen

2.1 Inleiding

Bij de verwarming (klimatisering) in een woning kunnen drie functies worden onderscheiden, namelijk:

- ruimteverwarming;
- ventilatie van de ruimten;
- warmtapwaterbereiding.

Bij de ruimteverwarming is het zinvol een scheiding te maken tussen de opwekking en afgifte van de warmte. De drie (opwekkings)functies kunnen zowel zelfstandig als - geheel of gedeeltelijk - gecombineerd worden vervuld. Per functie zijn een aantal varianten mogelijk. In onderstaand schema zijn de hoofdvarianten vastgelegd.

Daarna wordt per functie een toelichting gegeven.

Tabel 1. Overzicht systeemvarianten woningverwarming.

Ventilatie			Warmteafgifte ruimteverwarming	Warmteopwekking ruimteverwarming	Tapwaterbereiding	
nat.	mech.	WTW			Combi	Zelfstandig
+	+	0	lokaal	lokaal	-	+
+	+	0	lokaal + radiator	lokaal	-	+
+	+	0	radiatoren	ketel of collectief	+	+
-	-	+	lucht - 1 zone	direkt of	+	+
-	-	+	lucht - 2 zones	indirekt (ketel)	+	+
-	-	+	lucht - * zones	of collectief	+	+
0	+	0	vloerverwarming	ketel of	+	+
0	+	0	vloerverw + rad	collectief	+	+
-	-	+	vloerverw + lucht	(lucht: indirekt)		

Verklaring symbolen en afkortingen:

+ gebruikelijk	nat. natuurlijk
0 minder gebruikelijk	mech. mechanisch
- zeldzaam/niet gebruikelijk	WTW warmteterugwinning



2.2 Ventilatie

De ventilatie kan op drie manieren worden bereikt, namelijk:

- natuurlijke ventilatie; deze verbruikt geen hulpenergie;
- mechanische ventilatie (meestal mechanische afvoer en toevoer via ramen, roosters en kieren); deze verbruikt elektrische hulpenergie;
- warmteterugwinning; deze wordt zowel zelfstandig als geïntegreerd (met luchtverwarming) toegepast; bij een goed geïsoleerde en kierdichte woning zal de natuurlijke ventilatie gering zijn; warmteterugwinning verbruikt hulpenergie en levert een beperking van het ventilatieverlies op.

Voor het energiegebruik van de woning is de hoeveelheid ventilatie bepalend; eventueel aangevuld met de verbruikte hulpenergie en de opbrengst van de warmteterugwinning. De hoeveelheid ventilatie en de gevolgen voor de warmtebehoefte van de woning worden door TNO-Bouw behandeld [1]). In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de berekening van de opbrengst van warmteterugwinning.

2.3 Warmteafgifte en -distributie ruimteverwarming

Voor de ruimteverwarming is in principe een groot aantal systemen van warmteafgifte beschikbaar. Voor deze inventarisatie zijn een aantal aspecten van belang, namelijk:

- niet ieder systeem is voor ieder woningtype geschikt (bijvoorbeeld luchtverwarming vereist een goed geïsoleerde woning);
- niet ieder systeem leidt tot een identiek (beheersbaar) binnenklimaat (1 zone luchtverwarming leidt tot min of meer gelijke temperaturen in een woning; radiatorverwarming is per kamer (na)regelbaar); dit heeft gevolgen voor de zone-indeling en de veronderstelde binnentemperaturen in de berekening van de warmtebehoefte van de woning [1];
- de ontwerptemperaturen van het systeem; door toepassing van lage-temperatuur verwarmingssystemen kan een verbetering van het systeemrendement worden verkregen;
- de wijze van regeling van het systeem.

Het meest gangbare afgiftesysteem is radiatorverwarming met ontwerp-temperaturen van 90/70 of 80/60, geregeld door een kamerthermostaat en nageregeld met handafsluiters.

Bij indirect gestookte luchtverwarming dient de hulpenergie van de ventilatoren, voor zover niet bepaald voor de warmteterugwin-unit, te worden bepaald.

2.4 Warmteopwekking ruimteverwarming

Het gekozen systeem van warmteafgifte legt zijn beperkingen op aan de keuze van de warmteopwekker en bepaalt de bedrijfsvoering hiervan. Zoals uit het overzicht blijkt zijn er in essentie vier soorten verwarmingstoestellen, namelijk:

- lokaal verwarmingstoestel (gaswandketel, gashaard);
- cv-ketel;
- direkt gestookte luchtverhitter;
- collectieve verwarming (blok- en stadsverwarming).

Indirekte gestookte luchtverwarming wordt verkregen door een cv-ketel met water-lucht warmtewisselaars te combineren.



2.5 Warmtapwaterbereiding

Hiervoor is een groot aantal uiteenlopende toesteluitvoering beschikbaar. De toestellen worden in verschillende comfortklassen [2] ingedeeld. Een comfortklasse wordt o.a. beschreven door het aantal gelijktijdig te bedienen tappunten en de tapdebieten en -temperaturen die daarbij gevraagd worden.

Een belangrijk onderscheid in toesteluitvoeringen is tussen direkt gestookte (zelfstandige) en combi-toestellen. Voor beide worden hier de meest gangbare toesteluitvoeringen genoemd.

Direkt gestookte (zelfstandige) tapwatertoestellen:

- doorstroomtoestellen (keukengeiser, kleine en grote badgeiser);
- voorraadtoestellen (gasboiler, elektrische boiler);

Combi-toestellen:

- doorstroomcombi (eventueel met kleine buffervoorraad);
- combi-boiler;

Bij ruimteverwarming d.m.v. collectieve- of stadsverwarming wordt het warmtapwater in de regel zelfstandig opgewekt. Daarnaast wordt warmtapwaterbereiding met een individuele warmtewisselaar of een collectieve voorraad toegepast.

2.6 Combi- en multifunktionele toestellen

De (opwekkings)funkties kunnen op een aantal manieren worden gecombineerd, namelijk:

- tap- en verwarmingsfunctie, algemeen aangeduid als combi-toestel (zie 2.5);
- luchtverwarming met geïntegreerde warmteterugwinning (zie 2.2);
- luchtverwarming met geïntegreerde warmteterugwinning en tapwatervoorziening, aangeduid als multi-funktioneel toestel.



3. Normen, richtlijnen en methodieken berekening energieverbruik

3.1 Inleiding

Voor de berekening van het (primaire) energieverbruik van het toestel beschikken we over de warmtevraag van de woning (of delen/zones hiervan) per jaar. Deze warmtevraag is bepaald volgens de door TNO-Bouw bepaalde methodiek [1]. Deze warmtevraag wordt o.a. bepaald door:

- wijze van warmteafgifte (radiatoren-, lucht-, vloerverwarming of combinaties hiervan) en de daarmee samenhangende zone-indeling van de woning en de veronderstelde binnentemperaturen;
- regelstrategie installatie (kamerthermostaat, stooklijn).

Om nu het (primaire) energieverbruik van het toestel te bepalen dienen de volgende bijdragen hieraan te worden bepaald:

- ventilatie: eventueel verbruik hulpenergie (Q_{e_v}) en opbrengst warmte terugwinning (Q_{cv_wtw});
- warmteafgifte ruimteverwarming: het eventuele verlies van het verwarmingssysteem (Q_{cv_verl}) en het eventueel verbruik van hulpenergie ($Q_{e_{lv}}$);
- warmteopwekking ruimteverwarming: het gebruiksrendement van het toestel (R_{end_g}) en het eventuele verbruik van hulpenergie (Q_{e_tst});
- tapwaterbereiding: netto- en bruto opbrengst (Q_{t_tap} en Q_{t_tst}) en verbruik, zowel primair (Q_{b_tap}) als hulpenergie (Q_{e_tap}).

In formules:

$$Q_{cv_tot} = Q_{cv_net} - Q_{cv_wtw} + Q_{cv_verl} \quad [MJ] \quad (1)$$

$$Q_{e_tot} = Q_{e_v} + Q_{e_{lv}} + Q_{e_tst} + Q_{e_tap} \quad [MJ] \quad (2)$$

$$Q_{b_tst} = Q_{cv_tot} / R_{end_g} \quad [MJ] \quad (3)$$

$$Q_{b_tot} = Q_{b_tst} + Q_{b_tap} \quad [MJ] \quad (4)$$

$$Q_{b_sys} = Q_{b_tot} + Q_{e_tot} * R_{end_e} \quad [MJ] \quad (5)$$

Met:

Q_{cv_net}	netto warmtevraag woning/zone
Q_{cv_tot}	bruto warmtevraag woning/zone
Q_{e_tot}	totaal elektrisch verbruik
Q_{b_tst}	brandstofverbruik verwarmingstoestel
Q_{b_tot}	totaal brandstofverbruik toestel(len)
Q_{b_sys}	totaal brandstofverbruik, incl. omgerekend elektrisch verbruik
R_{end_e}	rendement opwekking en distributie elektriciteit [-]

Hieronder volgt een overzicht van de relevante normen, richtlijnen en andere methodieken om het energieverbruik te berekenen.



3.2 Ventilatie

Voor de meting van het elektrisch verbruik van mechanische ventilatie en warmteterugwin-units is geen nederlandse norm of richtlijn bekend.

Voor warmteterugwinning wordt momenteel de praktijkrichtlijn ISSO 28 voorbereid, getiteld 'Gebalanceerde ventilatie in woningen; aanbevelingen voor ontwerp en uitvoering van ventilatiesystemen met warmteterugwinning'. De verwachting is dat deze publikatie eind 1992 - begin 1993 openbaar zal worden. Daarnaast wordt er in NEN normcommissie 351.74.18 een norm voorbereid, betreffende een methode voor de bepaling van het jaarrendement van WTW-units, die worden toegepast in woningen. Deze norm is beperkt tot op zichzelf staande WTW-units met een kruisstroom platen warmtewisselaar. In het rendement wordt ook de invloed van lek (intern en extern) en opwarming door motor(en) van ventilator(en) verdisconteerd. Inmiddels is besloten om jaarrendementsklassen te onderscheiden, oplopend met 5%.

Bij het bepalen van het jaarrendement wordt voor de binnen- en buitenluchtcondities uitgegaan van het (verkort) referentiejaar en één binnentemperatuur(patroom).

Met behulp van dit jaarrendement en het reeds berekend ventilatieverlies t.g.v. mechanische ventilatie kan de warmteopbrengst van de WTW-unit berekend worden. In formule:

$$Q_{cv_wtw} = Q_{cv_vent} * Rend_wtw \quad [MJ] \quad (6)$$

Met:

Q_{cv_vent} Warmtevraag t.g.v. mechanische ventilatie [MJ]
 $Rend_wtw$ Jaarrendement warmteterugwinning [-]

3.3 Warmteafgifte en -distributie ruimteverwarming

Het warmtedistributie en -afgifte systeem van de ruimteverwarming kan warmteverlies met zich mee brengen. Dit verlies wordt hier gedefinieerd als alle ongevraagde warmteafgifte door het systeem, exclusief toestel. Het betreft hier bijvoorbeeld:

- ongewenste leiding- of kanaalverliezen in onverwarmde ruimtes;
- ongewenste warmteafgifte t.g.v. onjuiste inregeling en/of slechte regelbaarheid van de warmte-afgifte;
- warmteverliezen t.g.v. grote gradient in binnentemperatuur (bij met name slechte inblaas van verwarmingslucht).

Voor de berekening hiervan zijn geen normen of richtlijnen bekend. Voor het tweede en derde punt geldt daarbij dat deze voornamelijk bepaald worden door de kwaliteit van de installatie, die van woning tot woning kan verschillen. Met name bij luchtverwarming kunnen deze posten relatief groot zijn.

Hierbij rijst de vraag hoe deze verliezen beoordeeld moeten worden. De meningen lopen hierover uiteen van nuttige warmte-afgifte tot verlies. Ook hiervoor zijn geen normen of richtlijnen beschikbaar.

Voor het bepalen van de omgevingsverliezen van water-lucht warmtewisselaars die bij indirect gestookte luchtverwarming worden toegepast is geen norm of richtlijn bekend. Voor de meting van het elektrisch verbruik van luchtverwarmingssystemen (ventilatoren) is geen nederlandse norm of richtlijn bekend.



Bij lokale verwarming, eventueel een moederhaard met radiatoren, zijn de verliezen ten gevolge van de ongevraagde warmteafgifte verwaarloosbaar.

Vloerverwarming kan op een aantal verschillende manieren worden toegepast. Veel toegepast is vloerverwarming als basis in de woonkamer of benedenverdieping, waarvan de warmteafgifte met een stooklijn geregeld wordt. In de resterende warmtebehoefte wordt dan middels radiatoren voorzien, geregeld met hand- of thermostatafsluiters.

3.4 Warmteopwekking ruimteverwarming

3.4.1 Lokaal verwarmingstoestel

Lokale gasgestookte verwarmingstoestellen zijn er in een open en geloten uitvoering. Het VEG-Gasinstituut keurt en bemeet beide uitvoeringen aan de hand van keuringseisen [3]. Het rendement van de toestellen wordt schoorsteenzijdig gemeten voor de volgende condities:

- nominale belasting;
- 40 % van de nominale belasting;
- nominale belasting en windaanval (gasgevelkachel);
- nominale belasting met luchtvermaat, zodat de helft van het nominale CO₂ percentage wordt bereikt (convectie- en straalkachel).

In deellast kan het rendement van de toestellen teruglopen. Een norm of richtlijn voor de berekening van het gebruiksrendement is niet bekend.

Aangenomen mag worden dat het schoorsteenzijdig rendement voor lokale toestellen overeenkomt met het rendement van de gewenste warmteafgifte.

De meeste toestellen zijn uitgerust met een waakvlam en verbruiken in de regel geen elektriciteit.

3.4.2 CV-ketel

CV-ketels worden beproefd volgens een genormeerde methodiek [4]. Deze levert waarden voor een deellastrendement (voor HR-ketels) of het vollastrendement (voor de overige ketels). Het stilstandsverlies wordt niet bepaald.

In Europees verband wordt in TC 109 gewerkt aan een aantal normen voor de keuring van toestellen tot 70 kW belasting [5, 6]. Hierin wordt o.a. de meting van het deellastrendement van de ketel voorgeschreven. De publikatie wordt medio 1993 verwacht.

Een norm of richtlijn voor de berekening van het gebruiksrendement is er niet.

Op dit moment is een groep Europese onderzoeksinstituten waaronder IMET-TNO bezig met de ontwikkeling van een berekeningsmethodiek, waarmee een gebruiksrendement van cv-ketels kan worden bepaald [7]. Hierbij wordt gestreefd naar een methodiek die uitsluitend gebruik maakt van toestelparameters die volgens de EN 297 of 483 [5, 6] zijn bepaald. Met behulp van deze methodiek kan het gebruiksrendement van een cv-ketel berekend worden.

Voor de meting van het elektrisch verbruik van ketels, te verdelen in pomp, ventilator en elektronica, is geen Nederlandse norm of richtlijn bekend.



3.4.3 Direkt gestookte luchtverhitter

Bij de beproeving van direkt gestookte luchtverhitters [8] wordt het schoorsteenzijdig rendement onder nominale condities gemeten. Bij hoog/laag of modulerende gasregeling wordt het rendement tevens bepaald bij de laagste belasting.

Het luchtzijdig (of direkt) rendement wordt niet gemeten; de omgevingsverliezen van het toestel zijn dus niet bekend. Het stilstandsverlies en/of waakvlamverbruik wordt niet gemeten.

In europees verband wordt ook hier gewerkt aan de ontwikkeling van een norm in TC 179 [9]. De streefdatum voor publikatie is eind 1994.

Een norm of richtlijn voor de berekening van het gebruiksrendement is niet bekend.

Voor de meting van het elektrisch verbruik van luchtverhitters, te verdelen in ventilator(en) en elektronica, is geen nederlandse norm of richtlijn bekend.

3.4.4 Collectieve verwarming

Blokverwarming wordt in de regel verzorgd met één of meerdere ketels en eventueel met een warmte/kracht-eenheid. Voor de berekening van het gebruiksrendement van deze systemen en de verliezen in het distributiesysteem naar de woningen is geen genormeerde berekeningswijze beschikbaar.

Bij stadsverwarming wordt in de meeste gevallen zowel warmte als kracht opgewekt. Voor de berekening van de distributieverliezen en het primair energiegebruik ten behoeve van de woningverwarming is geen genormeerde berekeningswijze beschikbaar.

3.5 Warmtapwaterbereiding

Voor de berekening van het energiegebruik van de warmtapwaterbereiding is eerst een eenduidige omschrijving nodig van de **opbrengst** hiervan. Hiervoor is geen genormeerde omschrijving beschikbaar.

Ook voor het tappatroon en het leidingnet ontbreken normen.

Voor de bepaling van de toestelkarakteristieken zijn de volgende normen beschikbaar.

Bij direkt gestookte doorstroomtoestellen (geisers) wordt het rendement bepaald bij één bedrijfstoestand (voorgeschreven temperatuurverhoging tapwater) [10]. Omdat deze toestellen meestal van een modulerende brander zijn voorzien kunnen zij in deellast warmte leveren bij een vaak lager rendement. Hiervan zijn dus geen gegevens bekend. Het stilstandsverlies en/of waakvlamverlies wordt niet bepaald.

Bij direkt gestookte voorraadtoestellen (boilers) wordt het rendement bepaald bij drie bedrijfswijzen (regelmatige tapping van 1/4 van de voorraad) [11]. Op deze wijze wordt een drietal gebruiksrendementen bepaald. Het stilstandsverlies en/of waakvlamverlies wordt niet bepaald.

Bij de keuring van elektrische boilers worden het rendement en de verliezen niet bepaald. Overigens is het opwekkingsrendement in de regel hoog (98 à 99



%) en het verlies laag.

Een norm of richtlijn voor de berekening van het gebruiksrendement is niet bekend.

Voor de meting van het elektrisch verbruik van warmtapwatertoestellen is geen nederlandse norm of richtlijn bekend. De meeste gasboilers en keukengeisers zijn overigens niet van een elektrische aansluiting voorzien.

3.6 Combi- en multifunktionele toestellen

Een kenmerk van deze toestellen is dat het energiegebruik voor de verschillende functies niet eenduidig te bepalen valt omdat een aantal posten in de warmtebalans van het toestel niet aan één functie kan worden toegeschreven.

Een norm of richtlijn voor de meting van de rendementen en/of verbruiken en de berekening van een gebruiksrendement ontbreekt.

Voor combi-toestellen is in 1981 door o.a. VEG-Gasinstituut en TNO een werkwijze voor de bepaling van een gebruiksrendement opgesteld [12]. In europees verband is een keuringsnorm voor combi-toestellen tot 70 kW belasting in ontwikkeling [13], die begin 1994 wordt verwacht.

Voor de meting van het elektrisch verbruik van combi- en multifunktionele toestellen is geen nederlandse norm of richtlijn bekend.



4. Normontwikkeling berekening energieverbruik

4.1 Inleiding

Zoals uit het bovenstaande blijkt is het met de huidige beschikbare gegevens slechts mogelijk een grove berekeningswijze voor het gebruiksrendement van toestellen en het daaruitvolgend energieverbruik op te stellen.

Voor een meer subtiële berekeningswijze ontbreken normen en richtlijnen voor met name de volgende punten:

- berekeningswijze afgifte- en distributieverliezen;
- meting van de benodigde elektrische hulpenergie voor alle componenten;
- rendementsmetingen buiten de nominale bedrijfscondities en stilstandsverliesmeting (warmteopwekking ruimteverwarming, tapwaterbereiding);
- berekeningswijze gebruiksrendement bij gegeven patroon van bedrijfscondities (warmteopwekking ruimteverwarming, tapwaterbereiding);
- omschrijving/definitie opbrengst warmtapwaterbereiding;
- alle voorgaande punten voor multi-funktionele toestellen;
- tapwaterpatro(n)en en leidingnetconfiguratie.

Hieronder wordt per onderdeel aangegeven wat op korte termijn de mogelijkheden zijn om tot verbetering in deze toestand te komen.

4.2 Ventilatie

Mechanische ventilatie.

Opstellen richtlijn voor bepalen elektrisch verbruik bij nominale debieten bij iedere stand van de toerenregeling.

Warmteterugwinning.

Gebruik maken van de richtlijn ISSO 28. Verwerken van het wtw-rendement in de warmtevraag ten gevolge van mechanische ventilatie volgens formule 6.

4.3 Warmteafgifte en -distributie ruimteverwarming

Uitgangspunten voor de berekening van de warmteverliezen:

- alleen de leiding- of kanaalverliezen in onverwarmde ruimten worden als verliezen bestempeld; voor deze verliezen dient een berekeningswijze te worden ontwikkeld;
- alle overige verliezen worden verwaarloosd, danwel in de reeds berekende warmtevraag van de woning meegenomen verondersteld.

In de praktijk zal in woningen alleen de zolder (opstellingsruimte toestel) als onverwarmd zijn. Omdat hier veelvuldig leidingisolatie wordt toegepast, waardoor het verlies aanzienlijk wordt teruggebracht verdient het aanbeveling hiervoor een eenvoudige berekeningswijze op te stellen. Deze dient met drie factoren rekening te houden:

- de totale leidinglengte danwel -oppervlakte;
- de leidingisolatie;
- de gemiddelde verschiltemperatuur tussen leiding en ruimte/zone.

Het eerste punt kan uit het installatie-ontwerp worden verkregen.

Voor het tweede punt zijn geen normen of richtlijnen bekend; hiervoor kan een tweetal waarden worden bepaald (met/zonder isolatie) en opgenomen in de berekeningsmethodiek.



Het laatste punt kan worden benaderd door gebruik te maken van de benuttingsgraad van de ketel.

Op een identieke manier kan de warmteafgifte van luchtkanalen worden bepaald.

De omgevingsverliezen van water-lucht warmtewisselaars dienen bij nominale condities te worden bepaald. Uitgaande van een lineaire benadering kunnen de werkelijke verliezen eveneens met de benuttingsgraad van de ketel berekend worden.

Voor (indirekt gestookte) luchtverwarming dient het elektrisch verbruik bij nominale debieten bij iedere stand van de toerenregeling te worden bepaald. Deze punten kunnen in een praktijkrichtlijn worden opgenomen.

Afhankelijk van de wijze van inpassing kan met een vloerverwarmingsysteem een lage-temperaturen systeem worden gerealiseerd.

4.4 Warmteopwekking ruimteverwarming

Lokaal verwarmingstoestel.

Opstellen richtlijn voor berekening gebruiksrendement op basis van de nederlandse testmethode.

CV-ketel.

De onder 3.4.2 genoemde berekeningsmethodiek voor het gebruiksrendement kan bijvoorbeeld in een ISSO-publikatie worden verwerkt. Deze kan vervolgens op twee manieren worden gebruikt:

- berekening gebruiksrendement per geval;
- berekening gebruiksrendement voor een aantal standaardsituaties, die vervolgens als default kunnen worden gebruikt.

Deze methode dient zowel voor traditionele cv-installaties op 80/60 als voor lage-temperatuursystemen geschikt te zijn.

Direkt gestookte luchtverhitter.

Opstellen richtlijn voor meting luchtzijdig rendement en elektrisch verbruik en voor berekening gebruiksrendement. Hiermee kan eventueel aangesloten worden bij de Europese normontwikkeling.

Collectieve verwarming.

Voor blokverwarming is een berekeningsmethodiek vereist waarmee het gebruiksrendement van ketelininstallaties en de verliezen van het distributienet berekend kan worden. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de berekeningsmethodiek voor het gebruiksrendement van individuele ketels.

Voor stadverwarming is een vergelijkbare methodiek vereist.

4.5 Warmtapwaterbereiding

Voor de berekening van het energiegebruik van de warmtapwaterbereiding is eerst een eenduidige omschrijving nodig van de **opbrengst** hiervan. In een onderzoek dat door IMET-TNO is uitgevoerd voor de Gasunie en het Gasinstituut [14, 15] wordt dit omschreven als de geleverde hoeveelheid netto energie aan het tappunt. Deze hoeveelheid wordt bepaald door de temperatuurverhoging van het water aan het tappunt en de netto taphoeveelheid, die gedefinieerd wordt als de hoeveelheid water die de gewenste taptemperatuur heeft bereikt. Het systeemrendement geeft de verhouding tussen deze (gesommeerde) opbrengst en de verbruikte brandstof.



Voor het leidingnet kan in principe gebruik worden gemaakt van het ontwerp in het bestel van de te beoordelen woning.

Het tapwatergebruik (patroon) vertoont, evenals het gebruikersgedrag t.a.v de verwarming, een grote verscheidenheid. Om tot genormeerde uitspraken te komen over het energiegebruik verdient het de aanbeveling om een standaardpatroon op te gebruiken. Gezien de indeling in comfortklassen lijkt het gewenst om per klass een tappatroon op te stellen voor de berekening van het energiegebruik van de tapwaterinstallatie.

Voor de berekening van de opbrengst, het energiegebruik en het systeemrendement dient vervolgens een methodiek te worden ontwikkeld. Deze dient gebruik te maken van meetresultaten die verkregen zijn volgens nederlandse of europese normen. Voor de ontwikkeling van deze methodiek kan voortgebouwd worden op het rekenprogramma TAPSIM [15], dat door IMET-TNO is ontwikkeld. De resultaten hiervan kunnen, naar analogie van de cv-ketel, zowel gebruikt worden om per toestel een default-rendement te bepalen als om per geval het rendement te berekenen.

4.6 Combi- en multifunktionele toestellen

Voor het bepalen van het gebruiksrendement en energiegebruik van een combi-toestel kan de methodiek voor cv-ketels en warmtapwatertoestellen gecombineerd worden.

De uitvoeringvorm van multifunktionele toestellen is in de regel zo uniek dat het minder zinvol lijkt hiervoor een standaard methodiek te ontwikkelen. In principe kan gebruik worden gemaakt van de methodiek voor cv-ketels, warmtapwatertoestellen, warmteterugwin-units en luchtverhitters. Voor de interactie tussen deze componenten dient dan een correctie te worden gepleegd.



5. Konklusies en aanbevelingen

De hoofdkonklusies van deze inventarisatie luiden:

- op basis van de huidige beschikbare normen en richtlijnen kan een grove berekeningswijze van het gebruiksrendement van toestellen en het daaruitvolgend energiegebruik worden opgesteld; voor het verbruik van elektrische hulpenergie ontbreken veelal de gegevens;
- voor een meer subtiële berekeningswijze ontbreken op een aantal wezenlijke punten de benodigde normen en richtlijnen.

Om op korte termijn te beschikken over een bruikbaar instrument voor de beoordeling van het energiegebruik van installaties verdient het de aanbeveling om een grove indeling van toesteltypen of -klassen op te stellen, waarvoor een bijbehorend gebruiksrendement en/of energiegebruik kan worden bepaald. Het verbruik van elektrische hulpenergie valt buiten deze indeling. Deze indeling wordt uitsluitend gebaseerd op gegevens die met de huidige genormeerde beproevingsmethoden worden verkregen. Bedrijfsomstandigheden worden uitsluitend bepaald door gegevens die uit norm afkomstig zijn, zoals ontwerpvermogen en jaarlijkse warmtevraag van de woning.

Op langere termijn is het gewenst om een meer verfijnde berekeningswijze van het energiegebruik van de installaties te ontwikkelen. Daarmee kan zowel het energiegebruik van een installatie worden getoetst aan de norm als worden vergeleken met andere installaties.

Daarom bevelen wij aan om een plan op te stellen voor de ontwikkeling van een dergelijke methodiek. In hoofdstuk 4 van de rapportage is schetsmatig aangegeven wat de mogelijkheden hiervoor zijn. Hiervoor is het ontwikkelen van normen en richtlijnen voor met name de volgende punten gewenst:

- berekeningswijze afgifte- en distributieverliezen;
- meting van de benodigde elektrische hulpenergie voor alle componenten;
- rendementsmetingen buiten de nominale bedrijfscondities en stilstandsverliesmeting (warmteopwekking ruimteverwarming, tapwaterbereiding);
- berekeningswijze gebruiksrendement bij gegeven patroon van bedrijfscondities (warmteopwekking ruimteverwarming, tapwaterbereiding);
- omschrijving/definitie opbrengst warmtapwaterbereiding;
- alle voorgaande punten voor multi-funktionele toestellen;
- tapwaterpatro(n)en en leidingnetconfiguratie.

Het grootste probleem zal in het algemeen zijn om de resultaten van de diverse normen voor component-beproeving te vertalen naar gebruikssituaties. Veel keuringseisen zijn toegespitst op een resultaat waarmee componenten onderling kunnen worden vergeleken in een beperkt aantal (nominale) toestanden. Als wordt aangegeven welke gegevens vereist zijn voor de berekening van de (bijdrage aan de) energieprestatie van een systeem kunnen vervolgens de richtlijnen en normen bijgesteld worden.



6. Literatuur

- [1] Normalisatieplan Energieprestatie Woningen; deel 1
ir. H.A.L. van Dijk, ir. J. Oldegarm
TNO-Bouw, Delft, september 1991
- [2] Technische aspecten van warmtapwatervoorzieningen
rapport van de KIWA-werkgroep Technische Aspecten van Warm Water
Eindredactie ing. J.K.A.A. van de Lagemaat (VEEN)
Mededeling nummer 110, KIWA N.V., Nieuwegein, juni 1990
- [3] Keuringseisen voor gaskachels
Keuringseisennummer 80 + aanvullingen
VEG-Gasinstituut, Apeldoorn, 1 september 1984
- [4] Keuringseisen voor centrale verwarmingstoestellen
Keuringseisennummer 28/28HR + aanvullingen
VEG-Gasinstituut, Apeldoorn, 1 november 1971
- [5] Ontwerp NEN-EN-297
Centrale verwarmingsketels met atmosferische branders - Type B11-ketels
met een nominale belasting tot en met 70 kW
NNI, Delft, november 1989
- [6] Ontwerp NEN-EN-483
Centrale-verwarmingsketels met atmosferische branders - type-C-ketels
met een nominale belasting tot en met 70 kW
NNI, Delft, juni 1991
- [7] Report on: european workshop concerning interaction between heat
generators / heating systems and buildings - annual efficiency for
domestic boilers
Otto Paulsen (DTI), Jean Schweitzer (DGC), Theo Hendriks (VEG-
Gasinstituut)
Danish Technological Institute, June 1991
- [8] Keuringseisen voor luchtverwarmers
Keuringseisennummer 32/32HR + aanvullingen
VEG-Gasinstituut, Apeldoorn, 1 juli 1971
- [9] Ontwerp NEN-EN-778
Eisen voor huishoudelijke met gas gestookte luchtverwarmers zonder
ventilator voor ruimteverwarming
NNI, Delft, augustus 1992
- [10] Keuringseisen voor warmwaterdoorstroomtoestellen (geisers)
Keuringseisennummer 78 + aanvullingen
VEG-Gasinstituut, Apeldoorn, 1 december 1983
- [11] Keuringseisen voor warmwatervoorraadtoestellen (boilers)
Keuringseisennummer 77 + aanvullingen
VEG-Gasinstituut, Apeldoorn, 1 december 1983



- [12] Meetprogramma's voor het bepalen van het gebruiksrendement van: een warmwatertoestel, een cv-toestel, een cv-toestel, gecombineerd met warmwatervoorziening
Veg-Gasinstituut, Apeldoorn, 1981
- [13] Ontwerp NEN-EN-625
Centrale verwarmingsketels met atmosferische branders - Specifieke eisen voor ketels met een warmtapwatervoorziening en een nominale belasting tot 70 kW
NNI, Delft, februari 1992
- [14] Warm water: energiegebruik en milieubelasting
ing. P.H.J. Bartholomeus, ir. A.J. Meijnen, ir.Th.C.M. Muselaers
Gas, juni 1992
- [15] Handleiding programma warmtapwatervoorziening TAPSIM versie 1.3a
J. van Wolferen
IMET-TNO, Apeldoorn, september 1991



BIJLAGE B

RENDEMENT ELEKTRICITEITSOPWEKKING

Notitie aan: ir. J.M.M. de Wit

DEERNS

van : J. van de Lagemaat

VEEN

kopie : G.H. Bontius

VEEN

Betreft : rendement van elektriciteitsopwekking

92/24
3517416

Volgens Elektriciteit in Nederland 1990 is het rendement gebaseerd op de onderste verbrandingswaarde in 1990: 0,404 (in 1981 nog 0,386)

Het "rendement" van transport en distributie was in 1990: 66050/69110 = 0,956

Het totale omzettingsrendement gebaseerd op de onderste verbrandingswaarde wordt dan: $0,404 \times 0,956 = 0,386$

Het rendement gebaseerd op de bovenste verbrandingswaarde wordt dan:

31,65

----- $\times 0,386 = 0,346$ (1 kWh = 0,296 m3 aeq)

35,17

EZ hanteert voor 1 kWh: 0,31 m3 aeq

De voorlopige cijfers voor 1991 zijn:
rendement onderste verbrandingswaarde 0,409
rendement transport en distributie 0,955

Het totale omzettingsrendement voor 1991 wordt dan:

31,65

----- $\times 0,409 \times 0,955 = 0,352$ (1 kWh = 0,291 m3 aeq)

35,17

Gezien deze cijfers lijkt het hanteren van een rendement van 0,35 op zijn plaats.

Indien gekozen wordt voor het aantal aeq per kWh zou 1 kWh = 0,29 m3 aeq op zijn plaats zijn.

Bovengenoemde cijfers zijn wel het "gemiddelde van het gemiddelde"

Er wordt van uit gegaan dat het rendement van de produktie 0,2 % per jaar stijgt. Over 5 jaar is het rendement dus waarschijnlijk 0,36 (1 kWh = 0,28 m3 aeq).

BIJLAGE C

WARMTEVERLIES CIRCULATIELEIDING WARMTAPWATER

File : new_0003.wk
 Datum : 18 maart 1993
 Project: energie prestatie normering
 Betreft: warmteverlies circulatiesysteem warmtapwater

Formules en benaderingen.

$$P_{\text{circ;tap}} = \text{Som}(L * K_b) * (T_b - T_l) * (1-n) \quad [W]$$

Met:

L	Leidinglengte	[m]
K _b	Warmteoverdrachtswaarde	[W/m.K]
T _b	70 Temperatuur buiswand	[gr.C]
T _l	20 Temperatuur omgevingslucht	[gr.C]
n	0.75 Nuttig effect isolatie	[-]

De leidinglengte van de circulatieleiding kan gesplitst worden in een deel per woning en het aandeel in de centrale toe-en afvoer; ieder met zijn eigen diameter.

De waarden van K_b zijn gegeven voor de leidingdiameters.

De leidingen dienen geïsoleerd te zijn; n wordt dan 0.75 gesteld.

De watertemperatuur wordt 70 gr.C gesteld; de luchttemperatuur 20 gr.C

Code Diameter K_b (bij 70 gr.C)

L1	22/19,8	0.68
→ L2	28/25,6	0.82

Warmteverlies circulatiesysteem warmtapwater per woning P_{circ;tap} [W]

L2 - aandeel L1 Leidinglengte per woning [m]

leidinglengte	1	2	3	4	5
centraal					
1	18.8	27.3	35.8	44.3	52.8
2	29.0	37.5	46.0	54.5	63.0
3	39.3	47.8	56.3	64.8	73.3
4	49.5	58.0	66.5	75.0	83.5
5	59.8	68.3	76.8	85.3	93.8

Warmteverlies circulatiesysteem warmtapwater per woning P_{circ;tap} [MJ/dag]

L2 - aandeel L1 Leidinglengte per woning [m]

leidinglengte	1	2	3	4	5
centraal					
1	1.6	2.4	3.1	3.8	4.6
2	2.5	3.2	4.0	4.7	5.4
3	3.4	4.1	4.9	5.6	6.3
4	4.3	5.0	5.7	6.5	7.2
5	5.2	5.9	6.6	7.4	8.1

Warmteverlies circulatiesysteem warmtapwater per woning P_{circ;tap} [MJ/jaar]

L2 - aandeel L1 Leidinglengte per woning [m]					
leidinglengte	1	2	3	4	5
centraal					
1	591.3	859.4	1127.4	1395.5	1663.5
2	914.5	1182.6	1450.7	1718.7	1986.8
3	1237.8	1505.8	1773.9	2042.0	2310.0
4	1561.0	1829.1	2097.1	2365.2	2633.3
5	1884.3	2152.3	2420.4	2688.4	2956.5

File : new_0003.wk
 Datum : 18 maart 1993
 Project: energie prestatie normering
 Betreft: warmteverlies circulatiesysteem warmtapwater

Formules en benaderingen.

$$P_{\text{circ;tap}} = \text{Som}(L * K_b) * (T_b - T_l) * (1-n) \quad [W]$$

Met:

L	Leidinglengte	[m]
K _b	Warmteoverdrachtswaarde	[W/m.K]
T _b	70 Temperatuur buiswand	[gr.C]
T _l	20 Temperatuur omgevingslucht	[gr.C]
n	0.75 Nuttig effect isolatie	[-]

De leidinglengte van de circulatieleiding kan gesplitst worden in een deel per woning en het aandeel in de centrale toe-en afvoer; ieder met zijn eigen diameter.

De waarden van K_b zijn gegeven voor de leidingdiameters.

De leidingen dienen geïsoleerd te zijn; n wordt dan 0.75 gesteld.

De watertemperatuur wordt 70 gr.C gesteld; de luchttemperatuur 20 gr.C

Code Diameter K_b (bij 70 gr.C)

L1	22/19,8	0.68
L2	22/19,8	0.68

Warmteverlies circulatiesysteem warmtapwater per woning P_{circ;tap} [W]

L2 - aandeel L1 Leidinglengte per woning [m]

leidinglengte	1	2	3	4	5
centraal					
1	17.0	25.5	34.0	42.5	51.0
2	25.5	34.0	42.5	51.0	59.5
3	34.0	42.5	51.0	59.5	68.0
4	42.5	51.0	59.5	68.0	76.5
5	51.0	59.5	68.0	76.5	85.0

Warmteverlies circulatiesysteem warmtapwater per woning P_{circ;tap} [MJ/dag]

L2 - aandeel L1 Leidinglengte per woning [m]

leidinglengte	1	2	3	4	5
centraal					
1	1.5	2.2	2.9	3.7	4.4
2	2.2	2.9	3.7	4.4	5.1
3	2.9	3.7	4.4	5.1	5.9
4	3.7	4.4	5.1	5.9	6.6
5	4.4	5.1	5.9	6.6	7.3

Warmteverlies circulatiesysteem warmtapwater per woning P_{circ;tap} [MJ/jaar]

L2 - aandeel L1 Leidinglengte per woning [m]						
leidinglengte	1	2	3	4	5	
centraal						
1	536.1	804.2	1072.2	1340.3	1608.3	
2	804.2	1072.2	1340.3	1608.3	1876.4	
3	1072.2	1340.3	1608.3	1876.4	2144.4	
4	1340.3	1608.3	1876.4	2144.4	2412.5	
5	1608.3	1876.4	2144.4	2412.5	2680.6	

- 2.3.3.4 De volumestroom in de circulatieleiding moet regelbaar zijn. Dit regelen kan geschieden door toepassing van een instelbare pomp of door toepassing van voor het doel geschikte regelafsluiters.
- 2.3.3.5 In een woning kan de retourleiding in het algemeen 12/10 mm zijn.
- 2.3.4 Circulatiepomp
- 2.3.4.1 De pomp moet uit corrosievast materiaal worden vervaardigd. De pomp mag geen geluidhinder veroorzaken.
- 2.3.4.2 In eengezinswoningen moet de looptijd van de pomp kunnen worden ingesteld met een schakelklok. Met deze schakelklok kan de circulatiepomp gedurende bepaalde perioden – bijvoorbeeld 's-nachts – worden uitgeschakeld. In andere gebouwen moet het toepassen van een schakelklok worden overwogen (bijvoorbeeld in sporthallen).
- 2.3.4.3 De volumestroom die de circulatiepomp moet kunnen leveren moet gelijk of zo weinig mogelijk groter zijn dan de volgens punt 2.3.4.4 berekende waarde (zie ook punt 2.3.1.2).
- 2.3.4.4 Voor de berekening van de volumestroom die de circulatiepomp moet kunnen leveren kan de volgende benaderingsformule worden gebruikt:

$$q = \frac{[\sum(L \times K_b)] \times (T_b - T_l) \times (1 - n)}{(T_{bo} - T_c) \times c}$$

q = volumestroom in l/s

L = lengte leiding in m

K_b = warmte-overdrachtswaarde in W (zie tabel)

T_b = temperatuur buiswand in K (Kelvin) gemiddelde waarde

$$\frac{T_{bo} + T_c}{2}$$

T_l = temperatuur omgevingslucht in K (Kelvin)

n = nuttig effect isolatie (hiervoor kan 0,75 worden aangehouden)

T_{bo} = temperatuur uitgaand warm water in K (Kelvin)

T_c = temperatuur retour water eindpunt circulatie in K (Kelvin)

$[\sum(L \times K_b)]$ = de som van de produkten van de verschillende leidinglengten per middellijn en de daarbij behorende K_b -waarden.

c = soortgelijke warmte in J/(kg·K). Voor water kan hiervoor 4190 joule per kilogram Kelvin worden aangehouden

Warmte-overdrachtswaarde (K_b) per meter buislengte bij een omgevingstemperatuur van 293 K (20 °C) en bij de aangegeven watertemperatuur.

Buis- middellijn in mm	Watertemp. 333 K (60 °C)	Watertemp. 343 K (70 °C)	Watertemp. 353 K (80 °C)
12/10	0,40	0,42	0,44
15/13	0,47	0,50	0,52
22/19,8	0,64	0,68	0,71
28/25,6	0,77	0,82	0,86
35/32,4	0,92	0,96	1,02
42/39,2	1,07	1,13	1,18
54/51	1,30	1,38	1,44
67/63,2	1,55	1,63	1,71
80/75,8	1,78	1,88	1,97

Voorbeeld:

Een circulatieleiding bestaat uit een aanvoergedeelte (waarop de tappunten zijn aangesloten) lang 28 m, buismiddellijn 15/13 mm en een retourgedeelte lang 26 m, buismiddellijn 12/10 mm; temperatuur uitgaand warm water (T_{bo}) 345,5 K (72,5 °C); temperatuur retour water eindpunt circulatie (T_c) 340,5 K (67,5 °C) omgevingstemperatuur (T_l) 295 K (22 °C).

Uitwerking:

Gemiddelde buiswandtemperatuur (T_b).

$$\frac{345,5 + 340,5}{2} = 343 \text{ K (70 °C)}$$

$$q = \frac{[(28 \times 0,5) + (26 \times 0,42)] \times (343 - 295) \times (1 - 0,75)}{(345,5 - 340,5) \times 4190}$$

$$q = \frac{299,04}{5 \times 4190} = 0,01427 \text{ l/s} \approx 0,015 \text{ l/s}$$

De circulatiepomp zal dus tenminste 0,015 l/s (54 l/h) moeten rondpompen om het water in de circulatieleiding op temperatuur te houden. Voorts dient te worden nagegaan of de stroomsnelheid in enig leidingdeel van de circulatieleiding overeenkomstig 2.3.1.2 niet meer bedraagt dan 0,7 m/s.

In het voorbeeld zal de snelheid in de buis 12/10 mm het grootst zijn en bedraagt:

$$v = \frac{1000 \cdot q}{\frac{\pi}{4} d^2}$$