

NAAR EEN OPNIEUW VERBETERDE GRAADDAGENMETHODE

Sinds 1984 wordt in Nederland gebruik gemaakt van weegfactoren voor graaddagen. De weegfactoren verdisconteren andere invloeden dan de buitentemperatuur bij het schatten van de warmtevraag in een bepaalde periode. Door verbetering van de isolatiegraad en energie-efficiëntie en ontwikkelingen in gezinssamenstelling daalt het energieverbruik in woningen en verschuift de verhouding tussen de warmtevraag voor ruimteverwarming en warm tapwater. Om die reden zijn de weegfactoren opnieuw bekeken. Op basis van de gemeten warmtevragen zijn de weegfactoren bepaald voor energiezuinige woningen in Almere. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen weegfactoren voor alleen ruimteverwarming en voor ruimteverwarming en warm tapwater samen. Deze uitsplitsing is handig bij de analyse van gemeten energieverbruik. Ook wordt geconstateerd dat de invloed van de buitentemperatuur minder dominant is geworden bij de warmtevraag van woningen.



ir. A.G. (Antonin) van de Bree, Ecofys Netherlands BV, Utrecht



drs. L.A.M. (Lou) Ramaekers, Ecofys Netherlands BV, Utrecht

GRAADDAGENMETHODE

Graaddagen worden berekend uit het verschil tussen een basistemperatuur en de buitentemperatuur en zijn een maat voor het energieverbruik voor ruimteverwarming. Voor de basistemperatuur wordt in Nederland meestal 18°C aangehouden. De buitentemperatuur is echter niet de enige factor die de warmtebehoefte beïnvloedt. Passieve zonne-energie via ramen is een andere factor, die vooral van belang is in de tussenseizoenen. De invloed van deze en andere factoren worden in de graaddagenmethode verdisconteerd via (maandelijke) weegfactoren. Men spreekt dan over gewogen graaddagen.

Graaddagen worden door energiebedrijven gebruikt om bij kleinverbruikers een inschatting te maken van de verdeling van de afgenomen hoeveelheid aardgas of warmte over een bepaalde periode. Op basis hiervan kan de afgenomen hoeveelheid aardgas of warmte worden toegewezen aan de juiste periode (met een bepaald tarief). Daardoor is het niet langer nodig om bij elke tariefwijziging de meterstand op te nemen. Naast het correct verwerken van tariefwijzigingen zonder tussentijdse meteropname hebben graaddagen ook een onderzoeksfunctie. Met behulp van de graaddagenmethode kan het in een bepaalde periode gemeten energieverbruik worden teruggerekend naar een referentiejaar. Daardoor kunnen meetresultaten onderling vergelijkbaar worden gemaakt en ontstaat een beter beeld van de verdeling van de warmtevraag over de tijd.

De graaddagenmethode is verbeterd in 1980 [1] en kort daarna, in 1984, zijn de weegfactoren bepaald en ingevoerd [2]. Om praktische redenen zijn de weegfactoren bepaald voor het totale warmteverbruik in een woning, dus inclusief het (gas)verbruik voor warm tapwater en eventueel koken omdat dit veelal niet apart wordt gemeten. Voor de maanden november tot en met februari is de

weegfactor op 1,1 gesteld, voor de maanden maart en oktober op 1,0 en voor de maanden april tot en met september op 0,8. Sinds 1984 zijn de weegfactoren onveranderd en zijn ze gemeengoed geworden bij de beoordeling van het energieverbruik in gebouwen. De vraag is of deze weegfactoren nog actueel zijn en/of toegesneden op alle situaties.

In 1995 is door EnergieNed (de vereniging van energieproducenten, -handelaren en -retailbedrijven) al eens de invloed onderzocht van de ontwikkelingen sinds 1984 op de nauwkeurigheid van de gewogen graaddagenmethode [2]. De hoofdconclusie luidde toen dat een herijking onvoldoende winst oplevert in nauwkeurigheid. Het onderzoek pleitte daarom voor het handhaven van de bestaande weegfactoren. Ook werd gepleit voor het regelmatig herhalen van de ijking. Dit is voor zover wij weten nooit meer uitgevoerd.

In de afgelopen 30 jaar zijn gebouwen steeds energiezuiniger geworden. Hierdoor is een verschuiving opgetreden in de verhouding tussen het warmteverbruik voor ruimteverwarming en warm tapwater. Het toepassen van isolatie heeft ertoe geleid dat ook de verdeling van de warmtevraag over het jaar verschuift. Deze veranderingen hebben invloed op de weegfactoren. In bepaalde situaties bestaat het gemeten warmteverbruik uitsluitend uit ruimteverwarming. De bestaande weegfactoren (die gelden voor het totale warmteverbruik) zouden voor die gevallen niet van toepassing zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval bij stadsverwarming met een gescheiden distributiesysteem voor ruimteverwarming en warm tapwater. Voor het warm tapwater is wel een aparte meter aanwezig maar deze is veelal uitgevoerd als watermeter [4].

De weegfactoren worden eveneens beïnvloed door veranderingen in de samenstelling van het huishouden en door

de arbeidsbetrokking van de bewoners. Kleinere huishoudens (in bovendien steeds grotere huizen) hebben een dalend aandeel warm tapwater tot gevolg. Bij werkende alleenstaanden en tweeverdieners is de relatie tussen het energiegebruik en (gewogen) graaddagen zwakker, omdat het energiegebruik dan meer wordt bepaald door aanwezigheid dan door de buitentemperatuur. Dit geldt in ieder geval voor individuele situaties. Mogelijk dat dit gemiddeld minder of niet speelt.

Al met al is er momenteel maar één serie weegfactoren voor verschillende situaties. Door de komst van nieuwe energietechnieken, verdergaande isolatie en de toepassing van hernieuwbare energie in woningen, ontstaat mogelijk de behoefte om de weegfactoren aan te passen. Aan de hand van metingen in energiezuinige woningen in Almere is dit onderzocht.

WARMTEVERBRUIK ENERGIEZUINIGE WONINGEN ALMERE

De actualiteit van de huidige weegfactoren is onderzocht door meting en analyse van de warmtevraag van woningen in de wijken Noorderplassen-west en Columbuskwartier in Almere. De meeste onderzochte woningen hebben een energieprestatie die beter is dan het Bouwbesluit destijds vereiste (EPC 1,0). Er zijn globaal drie energetische kwaliteiten woningen te onderscheiden: Eco-woningen, woningen die voldoen aan het Inspectiecertificaat Zonnewoning en woningen die voldoen aan de eisen voor een Passief Huis. Tabel 1 geeft de verdeling van de woningaantallen medio 2012 over de verschillende categorieën en de bijbehorende energieprestatiecoëfficiënt (EPC) volgens NEN 5128:2004 [3].

De woningen zijn aangesloten op stadsverwarming. Er zijn twee verschillende distributiesystemen: collectief (warm) tapwater (CTW) en individueel (warm) tapwater (ITW). In het eerste geval wordt het warm tapwater en de ruimteverwarming collectief bereid, gescheiden gedistribueerd en apart gemeten bij de woning. In het tweede geval wordt warmte voor het warm tapwater en de ruimteverwarming gezamenlijk gedistribueerd in één pijp en met behulp van een warmtewisselaar wordt ter plekke in de woning het warm tapwater bereid. In dat geval wordt alleen het totale warmteverbruik gemeten bij de woning. Er is geen gasnet aanwezig. Koken geschiedt daarom elektrisch.

Binnen het Europese CONCERTO-programma is het energiegebruik van deze woningen gedurende ruim twee jaren gevolgd [7]. Hierbij is onder meer gekeken naar de nauwkeurigheid van de weegfactoren voor de graaddagenmethode. Het vermoeden was dat door de hoge isolatiegraad ($R_c = 3,2\text{--}7,5 \text{ m}^2\text{K/W}$) en de aandacht voor passieve zonne-energie in de woningontwerpen, de weegfactoren niet langer representatief zijn. Daardoor zouden interpolaties van het gemeten energiegebruik voor verwarming en warm tapwater kunnen leiden tot onnauwkeurige analyse van het energiegebruik.

Het maandelijks energiegebruik is zowel gevolgd via een speciale versie van de website 'Energiegewicht' (120 deelnemers) als via automatische dataloggers (20 deelnemers). Er waren 16 huishoudens met dataloggers die tevens deelnamen aan de maandelijks meterstandopgave. Deze huishoudens geven blijk van een hoge interesse in energiezaken en mogelijk een hoge motivatie in energiebesparing.

De graaddagen (ten opzichte van 18°C) zijn als volgt berekend:

$$G_{d,18} = \frac{\sum_{j=1}^{8760} G_{h,18,j}}{24} \quad (1)$$

$$G_{h,18,j} = \begin{cases} 18 - \theta_{e,j} & | \theta_{e,j} < 18 \\ 0 & | \theta_{e,j} \geq 18 \end{cases}$$

WARM TAPWATER

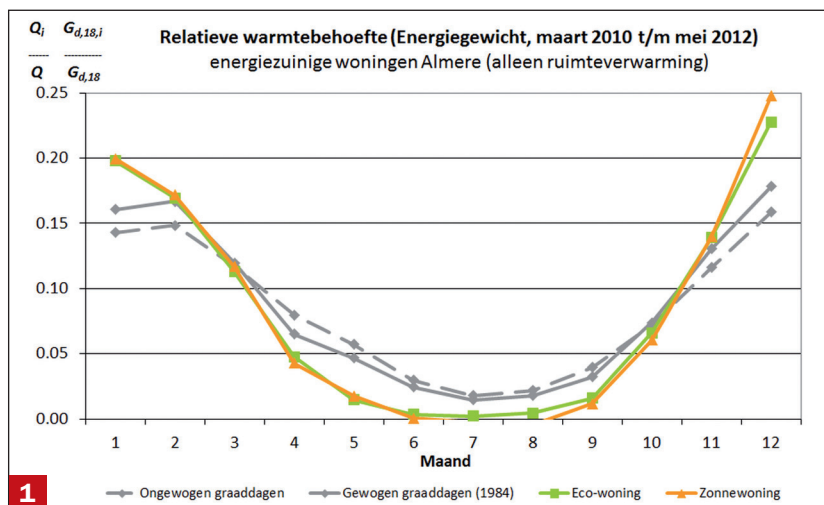
Voor het onderzoek naar de weegfactoren is een scheiding gemaakt in het energiegebruik voor ruimteverwarming en warm tapwater. Daarvoor is gebruik gemaakt van de meetgegevens van collectief (warm) tapwater (CTW) onderstations waar de afgenomen warmte voor ruimteverwarming en warm tapwater gescheiden wordt geregistreerd. CTW-onderstations komen niet voor in de wijk Columbuskwartier.

Door kennis van de specifieke warmtebehoefte voor warm tapwater kan ook het gemeten totale warmteverbruik bij woningen die zijn aangesloten op individueel (warm) tapwater (ITW) onderstations, worden gesplitst in ruimteverwarming en warm tapwater. Het aandeel in het totale warmteverbruik dat niet afhangt van de buitentemperatuur kan daardoor worden gescheiden van het aandeel dat wel afhangt van de buitentemperatuur. ►

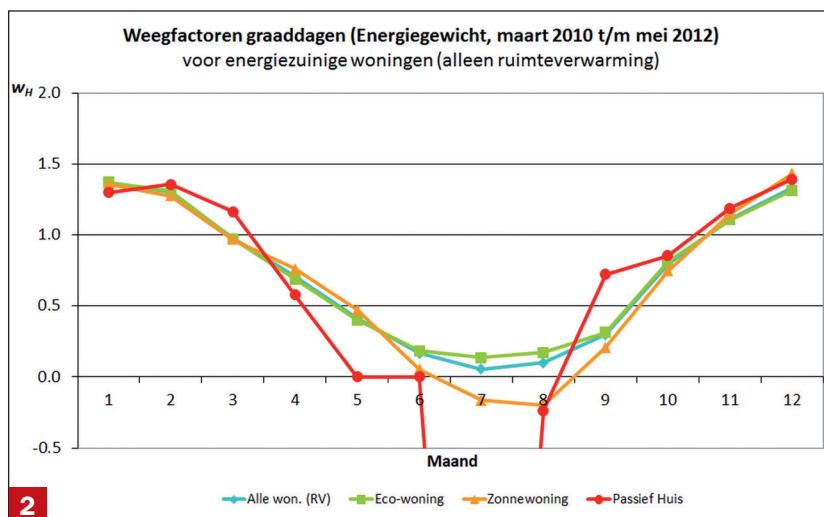
Tabel 1: Overzicht van de woningaantallen in de verschillende categorieën en de bijbehorende gemiddelde energieprestatie-coëfficiënt volgens NEN 5128:2004; tussen haakjes zijn de aantallen en EPC vermeld van de woningen die deelnamen aan registratie van het maandelijks energiegebruik

categorie	Columbuskwartier		Noorderplassen-west	
	aantal	EPC	aantal	EPC
eco-woning	69 (5)	0,80 (0,80)	1462 (70)	0,90 (0,90)
zonnewoning ^{a)}	342 (26)	0,60 (0,62)	116 (4)	0,71 (0,80)
passief huis	103 (16)	0,37 (0,37)	-	-

a) De Zonnewoningen in Noorderplassen-west en sommige woningen in het Columbuskwartier zijn formeel geen Zonnewoning volgens de beoordelingsrichtlijn 5015 [5], maar ze voldoen in ieder geval wel aan de eis betreffende energieprestatie en isolatie van de BRL 5015



De via Energiegewicht gemeten warmtebehoefte voor ruimteverwarming per maand voor Eco-woningen en Zonnewoningen in de wijken Noorderplassen-west en Columbuskwartier in Almere in de periode maart 2010 t/m mei 2012 relatief ten opzichte van de jaarlijkse warmtebehoefte voor ruimteverwarming, alsmede de (on)gewogen graaddagen per maand relatief ten opzichte van de jaarlijkse (on)gewogen graaddagen voor Lelystad (bron: KNMI)



Opmerking: De Passief huizen betreft alleen de 1^e helft van 2011 (1 t/m 6) en de 2^e helft van 2010 (7 t/m 12). Voor de overige huizen geldt: de eerste maanden zijn een gemiddelde van 2011/2012, de laatste maanden zijn een gemiddelde van 2010/2011 en de zomermaanden zijn een gemiddelde van 2010, 2011 en 2012.

De berekende weegfactor voor graaddagen voor (alleen) ruimteverwarming (w_H) voor drie woningcategorieën met verschillende energieprestatie in de wijken Columbuskwartier en Noorderplassen-west in Almere in de periode maart 2010 t/m mei 2012 via Energiegewicht

WEEGFACTOREN

Wanneer de binnentemperatuur constant is en alleen de buitentemperatuur een rol speelt in de warmtebehoefte voor ruimteverwarming, dan mag worden verwacht dat de warmtebehoefte voor ruimteverwarming in een bepaalde periode evenredig is met het aantal graaddagen in dezelfde periode. Dit blijkt in Almere niet het geval te zijn. Zelfs niet wanneer de graaddagen worden gewogen met de huidige weegfactoren. Figuur 1 toont het relatieve energiegebruik voor ruimteverwarming per maand (Q_i/Q) en het relatieve aantal graaddagen per maand ($G_{d,i}/G_d$) zoals gemeten voor twee woningcategorieën.

Uit figuur 1 blijkt dat ook andere factoren dan de buitentemperatuur van invloed moeten zijn op de warmtebehoefte voor ruimteverwarming. Uit de gemeten warmte-

behoefte voor ruimteverwarming (Q_H) en de gemeten graaddagen (G_d) kan worden teruggerekend wat de gezamenlijke invloed is van alle andere factoren. Dit kan worden uitgedrukt in een weegfactor (w_H) voor de graaddagen voor een bepaalde periode (i).

$$Q_{H,i} \propto w_{H,i} \cdot G_{d,i}(\theta_e) \quad (2)$$

Over het algemeen worden ruimteverwarming en warm tapwater niet apart gemeten in woningen. Om praktische redenen wordt daarom gekeken naar de gezamenlijke invloed van alle factoren op de *totale* warmtebehoefte (Q). Uit de volgende vergelijking kunnen de weegfactoren voor de totale warmtebehoefte (w) voor een bepaalde periode worden afgeleid, zie kader "Bepaling weegfactoren":

$$\frac{Q_i}{Q} = w_i \cdot \frac{G_{d,i}(\theta_e)}{G_d(\theta_e)} \quad (3)$$

In principe hebben de weegfactoren betrekking op het totale gas- of warmteverbruik voor ruimteverwarming en warm tapwater (en koken). In de praktijk worden de weegfactoren vaak betrokken op alleen het aandeel voor ruimteverwarming. In het verleden speelde warm tapwater namelijk een beperkte rol in het totale warmteverbruik. Door de hogere isolatiegraad van woningen ligt dat tegenwoordig anders. Warmte voor warm tapwater is vrijwel onafhankelijk van de buitentemperatuur.

WEEGFACTOREN VOOR ALLEEN RUIMTEVERWARMING

Om beter inzicht te krijgen in de weegfactoren is eerst gekeken naar het warmteverbruik voor alleen ruimteverwarming op basis van twee bronnen (Energiegewicht, dataloggers) voor twee periodes (maart 2010 t/m mei 2012, alleen 2011). Op basis van vergelijking (3) kunnen de weegfactoren voor alleen ruimteverwarming (w_H) voor een bepaalde periode worden afgeleid.

$$\frac{Q_{H,i}}{Q_H} = w_{H,i} \cdot \frac{G_{d,i}(\theta_e)}{G_d(\theta_e)} \quad (4)$$

De weegfactoren zijn bepaald voor alle drie de woningcategorieën.

Figuur 2 laat zien dat voor alle woningcategorieën in de wintermaanden de warmtevraag tot bijna 40% hoger kan uitvallen dan op basis van het aantal *ongewogen* graaddagen mag worden verwacht (wanneer toegepast op alleen ruimteverwarming). Bij de huidige weegfactoren wordt (slechts) 10% hoger verwacht. In de tussenperiodes is juist het omgekeerde het geval: de warmtevraag kan tot 40% lager uitvallen dan op basis van het aantal *ongewogen* graaddagen mag worden verwacht. Bij de huidige weegfactoren was de verwachting dat de ongewogen graaddagen ($w_{H,i} = 1$) zelf een goede maat waren voor het warmteverbruik in de tussenseizoenen. In het zomerseizoen zijn (ongewogen) graaddagen nog minder bepalend. Door de zeer geringe behoefte aan ruimteverwarming in het zomerseizoen zijn de weegfactoren in die periode niet erg stabiel. Ondanks duidelijke verschillen in energieprestatie liggen de weegfactoren voor de woningcategorieën dicht bij elkaar. Daarbij kan worden opgemerkt dat alle woningen voldoen aan energielabel A of beter.

De negatieve weegfactoren in de zomermaanden zijn het gevolg van de correctie van het totale warmteverbruik voor warm tapwater. In de zomermaanden betreft het warmteverbruik vrijwel alleen warm tapwater. De correctie is gebaseerd op een gemiddeld warm tapwaterverbruik per persoon per dag. In de zomermaanden zijn veel bewoners op vakantie en gebruiken dan minder (warm) tapwater. Hiervoor is niet gecorrigeerd. Dit betekent ook dat in de rest van het jaar het (warm) tapwaterverbruik eigenlijk iets hoger ligt.

WEEGFACTOREN VOOR ANDERE PERIODES

De afwijkende waarden bij de Passief huizen zijn het gevolg van een afwijkende meetperiode. Voor de Passief huizen was alleen data beschikbaar van medio 2010 tot medio 2011. Voor de Eco-woningen en de Zonnewoningen was data beschikbaar van maart 2010 t/m mei 2012. Gelijke maanden zijn hierbij gemiddeld.

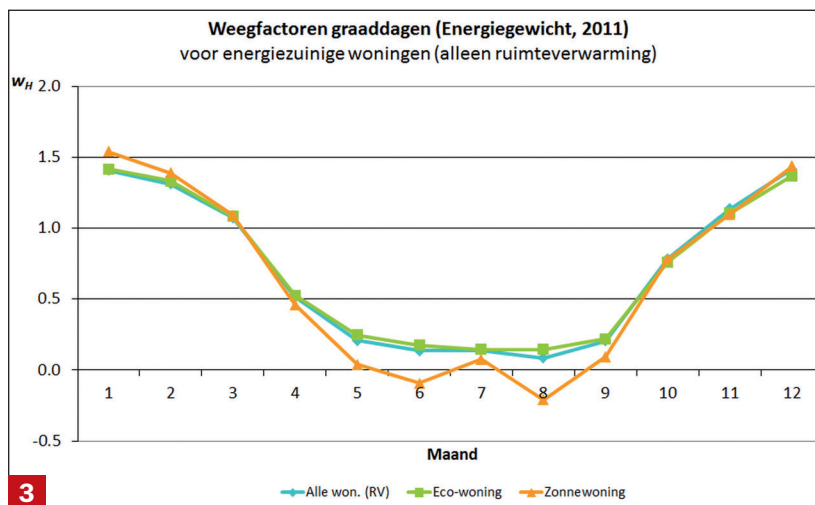
Kijkend naar alleen 2011 valt weer op dat ondanks de verschillen in energieprestatie, de weegfactoren voor de twee woningcategorieën dicht bij elkaar liggen, zie figuur 3. Wat verder opvalt, is dat de weegfactoren per maand voor 2011 duidelijk anders zijn dan gemiddeld voor de periode maart 2010 t/m mei 2012. In januari 2011 is de weegfactor zelfs iets meer dan 1,5 voor de Zonnewoningen. De maandelijkse weegfactoren voor graaddagen blijken niet zo constant te zijn als altijd gedacht. Ze kunnen van jaar tot jaar verschillen. Blijkbaar zijn er zaken die het warmteverbruik beïnvloeden die niet constant zijn. De bijdrage van passieve zonne-energie is daarvan een duidelijk voorbeeld. Maar ook een griep epidemie waarbij veel mensen meerdere dagen thuis blijven en/of een hogere binnentemperatuur instellen, heeft invloed.

WEEGFACTOREN VOOR ANDERE WONINGVERZAMELINGEN

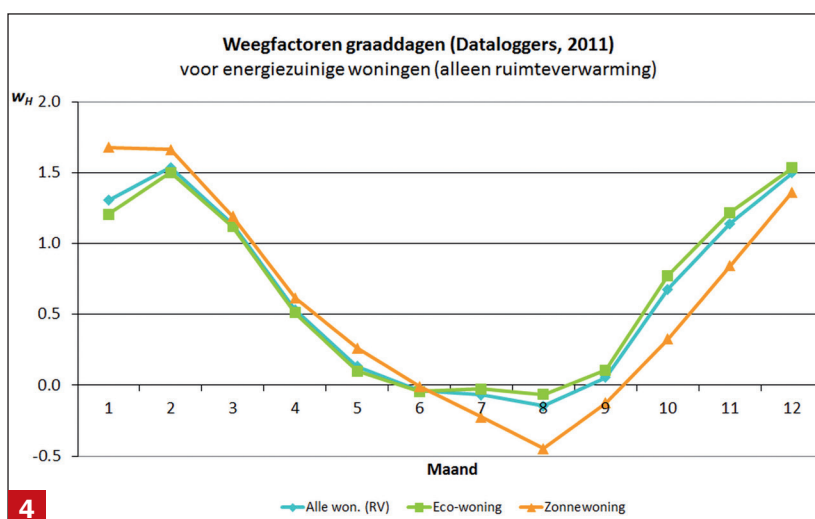
Bij de dataloggers kwamen in 2011 weer iets andere weegfactoren naar voren dan via de website Energiegewicht, zie figuur 4. Opvallend is hier een lichte verschuiving van het patroon tussen Eco-woningen en Zonnewoningen. De weegfactoren verschillen dus ook tussen woningen. Interpolatie van Energiegewicht-data via ongewogen graaddagen naar maandwaarden kan een rol spelen. Mogelijk dat oriëntatie hier ook een rol speelt. De 7 Zonnewoningen met dataloggers lagen allen in de wijk Columbuskwartier en de 13 Eco-woningen met dataloggers lagen op één na allemaal in de wijk Noorderplassen-west. Beide wijken verschillen wezenlijk in opzet.

WEEGFACTOREN VOOR HET TOTALE WARMTEVERBRUIK

Wanneer naar de weegfactoren voor het totale warmteverbruik voor ruimteverwarming en warm tapwater samen wordt gekeken, komt het beeld aardig overeen met de huidige weegfactoren, zie figuur 5. De verschillende ontwikkelingen in de afgelopen 30 jaar lijken elkaar min of meer te compenseren. Het duidt ook op een verminderde afhankelijkheid van de buitentemperatuur. Hoewel de uitkomsten voor de Passief Huizen betrekking hebben op een enkel jaar, valt op dat er sprake is van een vlak verloop in het stookseizoen. De totale warmtebehoefte van de Passief Huizen lijkt in het stookseizoen evenredig met de ongewogen graaddagen. Ook de Zonnewoningen zijn iets minder gevoelig voor andere invloeden dan de Eco-



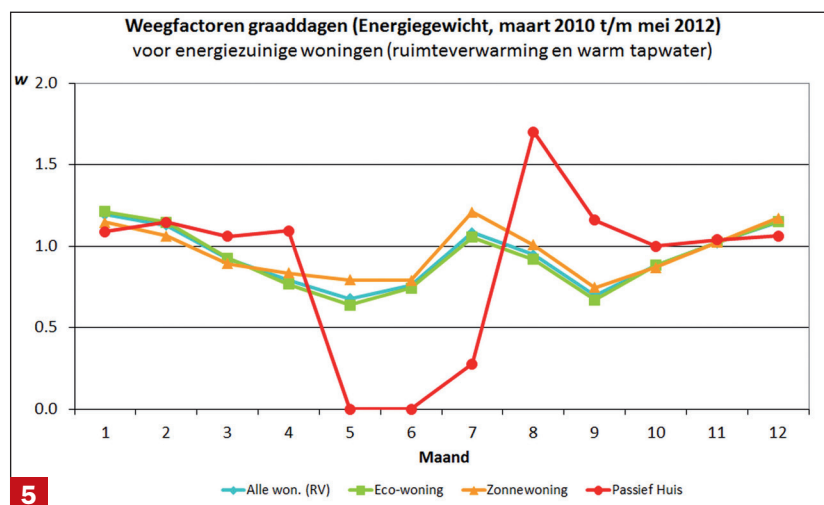
De gemeten weegfactor voor graaddagen voor (alleen) ruimteverwarming (w_H) voor twee woningcategorieën met verschillende energieprestatie en alle (gemeten) woningen in de wijken Columbuskwartier en Noorderplassen-west in Almere in 2011 via Energiegewicht



De gemeten weegfactor voor graaddagen voor (alleen) ruimteverwarming (w_H) voor twee woningcategorieën met verschillende energieprestatie in de wijken Columbuskwartier en Noorderplassen-west in Almere in de periode maart 2010 t/m mei 2012 via dataloggers

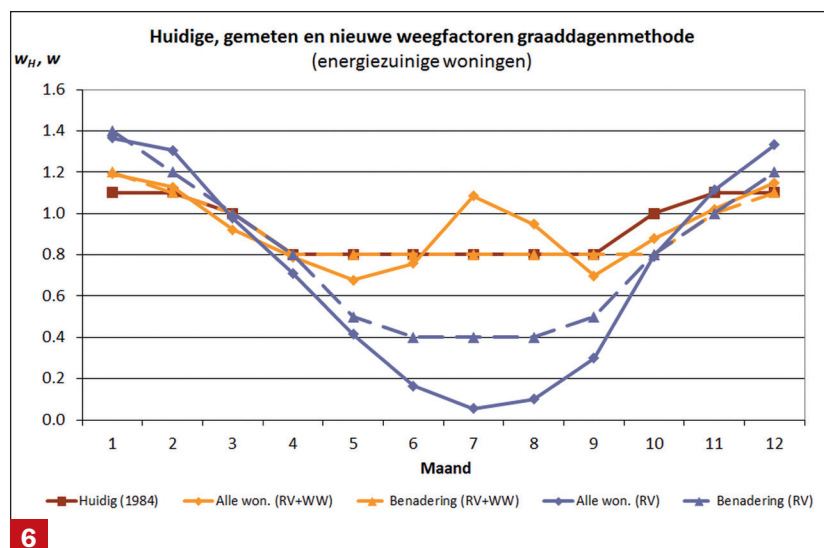
NOMENCLATUUR

A_g	gebruiksoppervlakte volgens NEN 2580
$\epsilon_{0,y}$	systeemfout voor jaar y
$\epsilon_{N,S}$	fout voor afwijkende graaddagen ten opzichte van normaal voor weerstation S
G_d	aantal graaddagen
G_h	aantal graaduren
i	maand in een jaar
j	uur in een jaar
m	meetperiode
N	aantal bewoners of Normaal
Q	totale warmtebehoefte voor een woning in een jaar
Q^*	totale warmtebehoefte voor een woning in een jaar bij afgeronde weegfactoren
Q_H	warmtebehoefte voor ruimteverwarming in een jaar
Q_H^*	warmtebehoefte voor ruimteverwarming in een jaar bij afgeronde weegfactoren
θ_e	buitentemperatuur
w	weegfactor, exact of (als subscript) gewogen
w^*	weegfactor, afgerond
w_H	weegfactor voor ruimteverwarming, exact
w_H^*	weegfactor voor ruimteverwarming, afgerond



Opmerking: 'Alle woningen' betreft alleen de Eco-woningen en de Zonnewoningen. De Passief huizen betreft alleen de 1^e helft van 2011 (1 t/m 6) en de 2^e helft van 2010 (7 t/m 12)

De gemeten weegfactor voor graaddagen voor de totale warmtevraag (w) voor drie woning-categorieën met verschillende energieprestatie in de wijken Columbuskwartier en Noorderplassen-west in Almere in de periode maart 2010 t/m mei 2012 via Energiegewicht



De gemeten weegfactoren voor graaddagen voor (alleen) ruimteverwarming (w_H) en de totale warmtebehoefte (w) voor energiezuinige nieuwbouwwoningen via Energiegewicht, een benadering met afgeronde waarden (w_H^* , w^*) en de huidige weegfactoren voor graaddagen

Tabel 2: De huidige weegfactoren en de benaderde weegfactoren voor energiezuinige woningen op basis van metingen in Almere

	huidige weegfactoren (w^*)	Almere (alleen RV) (w_H^*)	Almere (RV+WW) (w^*)
januari	1,1	1,4	1,2
februari	1,1	1,2	1,1
maart	1,0	1,0	1,0
april	0,8	0,8	0,8
mei	0,8	0,5	0,8
juni	0,8	0,4	0,8
juli	0,8	0,4	0,8
augustus	0,8	0,4	0,8
september	0,8	0,5	0,8
oktober	1,0	0,8	0,8
november	1,1	1,0	1,0
december	1,1	1,2	1,1

woningen. Dit effect treedt alleen op bij de weegfactoren voor de totale warmtebehoefte.

WEEGFACTOREN IN DE PRAKTIJK

De huidige weegfactoren blijken bij energiezuinige woningen nog steeds te voldoen voor het totale energiegebruik (voor ruimteverwarming en warm tapwater), maar niet langer voor alleen ruimteverwarming, waarvoor de methode in de adviespraktijk wel vaak wordt ingezet. Er wordt daarom een verbetering voorgesteld die aansluit bij de huidige, eenvoudige methodiek. De belangrijkste reden voor het eenvoudig houden van de weegfactoren was destijds gelegen in de functie ervan voor het correct verwerken van tariefwijzigingen: de methode moest kunnen worden uitgelegd aan de gemiddelde kleinverbruiker. Het nut van de methode voor de correcte verwerking van tariefwijzigingen verdwijnt door de invoering van slimme meters die op elk moment op afstand kunnen worden uitgelezen. Dit biedt de mogelijkheid om met gedifferentieerde en/of uitgebreidere series weegfactoren te komen die beter inspelen op de verschillende situaties. Analyse van metingen van energiegebruik kunnen daardoor winnen aan nauwkeurigheid.

Eenvoudige en logische weegfactoren blijven echter de voorkeur houden. Aan het eerste is invulling gegeven door weer te kiezen voor weegfactoren met 1 decimaal en aan het laatste door de weegfactoren symmetrisch te maken rondom het midden van het stookseizoen (januari). De huidige weegfactoren zijn symmetrisch ten opzichte van het midden van het jaar. Tabel 2 vermeldt de huidige weegfactoren (voor ruimteverwarming en warm tapwater) en de aangepaste series weegfactoren voor alleen ruimteverwarming en voor ruimteverwarming en warm tapwater gezamenlijk. Figuur 6 toont een en ander grafisch.

In het voorgaande is gewerkt met graaddagen ten opzichte van een basistemperatuur van 18°C. Dit is de buitentemperatuur waarboven (theoretisch) geen aanvullende ruimteverwarming van de woning meer nodig is om de woning comfortabel te houden. Bij goed geïsoleerde woningen is het voorstelbaar dat daarvoor al bij lagere buitentemperaturen geen aanvullende ruimteverwarming meer nodig is. In dit artikel is dat niet verder onderzocht.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De huidige serie weegfactoren die dateert uit 1984 lijkt in het geval van energiezuinige woningen niet meer te passen bij alleen de warmtebehoefte voor ruimteverwarming (waarvoor de weegfactoren in de praktijk wel vaak worden gebruikt). Verbeterde isolatie en daardoor een grotere invloed van passieve zonne-energie speelt hierbij een belangrijke rol. Door allerlei invloeden die elkaar (toevalig) opheffen voldoen de huidige weegfactoren in de onderzoekssituatie nog wel voor het *totale* energiegebruik voor ruimteverwarming en warm tapwater samen.

We bevelen aan om sowieso een onderscheid te maken in weegfactoren voor situaties waarbij alleen de warmtebehoefte voor ruimteverwarming wordt gemeten en waarbij de warmtebehoefte voor ruimteverwarming en warm tapwater samen wordt gemeten. Ook een differentiatie in

series weegfactoren voor alleen ruimteverwarming voor verschillende mate van energiezuinigheid is gewenst.

Ten opzichte van de huidige serie weegfactoren is een kleine verschuiving gewenst in het patroon van de weegfactoren om meer recht te doen aan het werkelijke stookseizoen dat is geconcentreerd rond januari en niet rond eind december zoals bij de huidige weegfactoren het geval is.

De weegfactoren blijken van jaar tot jaar en per situatie te kunnen verschillen doordat ook niet-buitentemperatuurafhankelijke invloeden een grotere rol gaan spelen (bijvoorbeeld zoninstraling in combinatie met oriëntatie, gezinssamenstelling, woningtype). Bij de analyse van het energiegebruik met behulp van graaddagen dient daarom terughoudendheid in acht te worden genomen bij de voorspelling van het gestandaardiseerde energiegebruik.

In een opnieuw verbeterde graaddagenmethode zou naast een weegfactor voor de graaddagen, een weegfactor voor zonne-dagen een goede aanvulling zijn. Zonne-dagen zijn het verschil tussen een soort basis zoninstraling (die niet tot temperatuuroverschrijding in de woning leidt) en de werkelijke zoninstraling vermenigvuldigt met de tijd, analoog aan graaddagen. De zonne-dagen zijn nul wanneer de werkelijke zoninstraling groter is dan de basis zoninstraling.

Op basis van dit onderzoek kan niet met voldoende zekerheid worden aangegeven wat algemeen geldende weegfactoren zijn voor energiezuinige woningen. Naast de beperkte omvang van het onderzoek, zowel in woning-aantal als meetperiode, komt dit ook door gebrek aan inzicht in alle invloedsfactoren. Om dit laatste probleem op te lossen zou, net als bij de studie 'Verbeterde graaddagenmethode' [1], kunnen worden teruggevallen op dynamische gebouwsimulaties waarbij alle factoren kunnen worden gecontroleerd. ■

BRONNEN

- [1] Hoen, P.J.J., Thijs, R.V.L.M., Verbeterde graaddagenmethode (herziene druk), 1981, Technische Hogeschool Eindhoven
- [2] Evaluatie gewogen graaddagenmethode, januari 1995, EnergieNed
- [3] NEN 5128:2004 - Energieprestatie van woonfuncties en woongebouwen – Bepalingsmethode, maart 2004
- [4] Kernpublicatie WoON Energie 2006, Ministerie van VROM
- [5] BRL 5015 – Nationale beoordelingsrichtlijn voor het inspectiecertificaat voor Zonnewoning, 6 december 2007, SKW Certificatie BV
- [6] NEN 7120 – Energieprestatie van gebouwen – Bepalingsmethode, april 2011, NNI
- [7] Bree, A.G. van de, Ramaekers, L., Surmeli, N., Monitoring and research report demonstration Almere (EU Concerto Initiative, cRRescendo-proposal), juli 2012, Ecofys

BEPALING VAN WEEGFACTOREN

De gewogen graaddagen kunnen worden gebruikt om in een bepaalde periode het gemeten energiegebruik te extrapoleren naar het energiegebruik in een jaar. Uit de veronderstelde proportionaliteit van het energiegebruik en de gewogen graaddagen volgt namelijk:

$$\frac{Q_i}{\sum_m Q_m} = \frac{Q_i}{Q} = \frac{G_{d,w,i}}{G_{d,w}} = \frac{w_i \cdot G_{d,i}(\theta_e)}{\sum_m G_{d,w,m}} \quad (5)$$

De jaarlijkse warmtebehoefte kan en mag niet veranderen door de weegfactoren. Dat betekent dat de weegfactoren alleen inzichtelijk maken hoe de warmtebehoefte is verdeeld over een jaar. Met gebruikmaking van (5) zien we dat hier automatisch aan wordt voldaan. Er volgt namelijk dat de som over alle periodes in het jaar van de warmtebehoefte altijd gelijk is aan de jaarlijkse warmtebehoefte.

$$\sum_i Q_i = \sum_i \left(Q \frac{G_{d,w,i}}{G_{d,w}} \right) = Q \frac{\sum_i G_{d,w,i}}{G_{d,w}} = Q \quad (6)$$

Uit de daadwerkelijk gemeten warmtebehoefte (Q) en de gemeten graaddagen (G_d) kan worden terugerekend wat de gezamenlijke invloed is van alle andere factoren in de vorm van de weegfactoren voor de graaddagen zodat het energiegebruik voor elke periode proportioneel is aan de gemeten gewogen graaddagen voor die periode. Met gebruikmaking van (5) kunnen we voor elke periode een vergelijking opstellen:

$$\frac{Q_i}{\sum_m Q_m} = \frac{w_i \cdot G_{d,i}(\theta_e)}{\sum_m (w_m \cdot G_{d,m}(\theta_e))} \quad (7)$$

Wordt het jaar onderverdeeld in 12 periodes van een maand dan hebben we dus 12 vergelijkingen die de 12 maandelijks weegfactoren bepalen. Deze 12 vergelijkingen zijn echter niet onafhankelijk. Dit kan worden ingezien door de 12 vergelijkingen te sommeren.

$$1 = \frac{\sum_i Q_i}{\sum_m Q_m} = \frac{\sum_i (w_i \cdot G_{d,i}(\theta_e))}{\sum_m (w_m \cdot G_{d,m}(\theta_e))} = 1 \quad (8)$$

Een van de 12 weegfactoren (bijvoorbeeld w_1) kan daardoor vrij worden gekozen. Daarmee valt een vergelijking af. De overige 11 weegfactoren volgen dan uit de resterende 11 vergelijkingen. Oplossen van (7) resulteert in:

$$w_i = \frac{Q_i}{G_{d,i}} \cdot \frac{G_{d,1}}{Q_1} \cdot w_1 = \frac{Q_i}{Q_1} \cdot \frac{G_{d,1}}{G_{d,i}} \cdot w_1 \quad (9)$$

We kunnen w_1 vastleggen door te stellen dat het *gemiddelde* van de weegfactoren 1 is:

$$\frac{\sum_i w_i}{\sum_i 1} = \frac{1}{12} \sum_i w_i = 1 \quad (10)$$

Substitutie van de uitdrukking voor de weegfactoren volgens (9) voor $i=2...12$ in (10) levert dan de volgende uitdrukking voor w_1 :

$$w_1 = \frac{\frac{Q_1}{G_{d,1}}}{\frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} \frac{Q_m}{G_{d,m}}} \quad (11)$$

Door invullen van de waarde voor w_1 in (9) zien we dat deze uitdrukking geldt voor alle w_i . Door de keuze (10) krijgen we dus de volgende elegante uitdrukking voor de bepaling van de weegfactoren w_i uit de gemeten warmtebehoefte en de gemeten graaddagen:

$$w_i = \frac{\frac{Q_i}{G_{d,i}}}{\frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} \frac{Q_m}{G_{d,m}}} \quad (12)$$

De procedure volgens welke de weegfactoren voor de totale warmtebehoefte worden bepaald met formule (12) kan ook worden gevolgd voor het bepalen van de weegfactoren voor de warmtebehoefte voor ruimteverwarming ($w_{H,i}$). In de formules moeten dan de Q_i vervangen worden door $Q_{H,i}$ en de w_i door $w_{H,i}$.