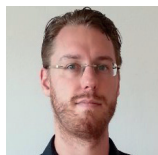


# HET ENERGIEGEBRUIK VAN GEBOUWEN BEREKENEN MET SEFAIRA

**Dit artikel behandelt een afstudeeronderzoek aan de Hogeschool Windesheim te Zwolle van de opleiding bouwkunde. Gedurende dit afstudeeronderzoek is, in opdracht van DGMR, onderzocht of de resultaten van het vrij recentelijk uitgebrachte softwarepakket 'Sefaira Architecture' overeenkomen met de werkelijkheid. Dit softwarepakket kan ingezet worden om realtime het energieverbruik van een 3D gebouwmodel te kunnen berekenen. Nadat het softwarepakket en de achtergronden ervan bestudeerd zijn, is een vijftal casussen onderzocht. Aan de hand van de uitkomst van de casussen is bepaald of de resultaten van het pakket overeenkomen met de werkelijkheid.**



**ing. G. (Gerton) van Middendorp, TU/e, master Building Physics and Services (afgestudeerd bij HBO Bouwkunde CHS Windesheim te Zwolle)**



**ing. J. (Jaco) Verschoor, LBP | SIGHT te Nieuwegein (afgestudeerd bij HBO Bouwkunde CHS Windesheim te Zwolle)**

## ONDERZOEKSAANLEIDING

De belangrijkste aanleiding voor dit onderzoek komt voort uit de steeds strenger wordende regelgeving op het gebied van energieprestatie van gebouwen. Naar aanleiding van het Verdrag van Kyoto is in Europa de Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) uitgevaardigd. Hierin zijn onder andere verplichtingen voor de EU-lidstaten vastgelegd ten aanzien van de energieprestatie van gebouwen en de rekenmethode voor het bepalen van de energieprestatie van gebouwen. In Nederland is de rekenmethode voor de energieprestatie geborgd in NEN 7120, hiermee wordt de EPC (energieprestatiecoëfficiënt) berekend. De in het Bouwbesluit 2012 voorgeschreven eisen voor de EPC worden geleidelijk verzaamd om uiteindelijk in 2020 het gebouwgebonden energieverbruik bijna energieneutraal te hebben. Daarnaast hebben de overheid en het bedrijfsleven in het Lente-akkoord afspraken vastgelegd, mede om bijna energieneutrale gebouwen (BENG) te stimuleren. Het onderzochte softwarepakket is bedoeld om door middel van simulatie het energieverbruik van een 3D gebouwmodel te bepalen. Hierdoor kan het pakket ingezet worden als hulpmiddel om het energieverbruik van een gebouw te minimaliseren en te optimaliseren.

Private eisen ten aanzien van het energieverbruik en/of de energieprestatie van een gebouw worden steeds vaker vastgelegd in het bouwcontract. Dit kan eventueel ook in combinatie met een eis over het energieverbruik van het gebouw tijdens de exploitatie. Deze energieprestatiecontracten forceren een ontwerpende en aannemende partij van tevoren goed te onderzoeken hoe ontwerp- en bouwkeuzes het energieverbruik beïnvloeden. Een methode om dit te onderzoeken is door middel van gebouw simulatie. Eén van de belangrijkste innovaties in de bouwsector op het gebied van gebouw simulatie is het gebouw informatie model, of BIM-model. Met het tijdens dit onderzoek gebruikte softwarepakket kunnen simulaties gemaakt worden, waarmee energiebesparende componenten vergeleken kunnen worden en energetische variantenstudies gemaakt kunnen worden van verschillende ontwerpopties.

## BESCHRIJVING SOFTWAREPAKKET

Het onderzochte softwarepakket is in 2013 op de markt gebracht en is dus nog relatief nieuw. Het doel van het pak-

ket is om gebouwtwerpers een ontwerptool te bieden, die kan helpen bij het ontwerpen van een energiezuinig gebouw. Dit wordt binnen het pakket gerealiseerd door het aanbieden van mogelijkheden tot energetische variantenstudies en het vergelijken van energetische strategieën.

De basis hiervoor is een 3D-gebouwmodel in Revit of SketchUp. Middels de plug-in van het softwarepakket kunnen globale eigenschappen aan het 3D-gebouwmodel toegekend worden. Met het gebouwmodel en een gelimiteerd aantal globale eigenschappen wordt het energieverbruik van het model uitgerekend. Met globale eigenschappen wordt bijvoorbeeld bedoeld de gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt voor gevels, gemiddelde zontoetredingsfactor voor het gebouw, rendement klimatiseringsinstallatie en dergelijken. Het berekende energieverbruik omvat het gebouwgebonden én het gebruiksgebonden energieverbruik. De berekeningen die het pakket uitvoert, worden niet op het lokale systeem maar in de cloud uitgevoerd, wat nagenoeg realtime resultaten oplevert. De berekening in de cloud levert tijdswinst op doordat in hetzelfde tijdsbestek meerdere berekeningen uitgevoerd kunnen worden. Iedere wijziging in het 3D-model levert geheel automatisch een aangepaste berekening op. Eerdere resultaten worden echter in de plug-in niet opgeslagen.

Het 3D gebouwmodel kan samen met de ingevoerde globale eigenschappen geüpload worden naar de webapplicatie van het pakket. In de webapplicatie kunnen naast gegevens over ruimtegebruik (gebouwbezetting, aanwezigheidstijden, verlichtings- en gebruikersenergie, eventueel voor meerdere functies in het gebouw) ook de gebouw eigenschappen meer gespecificeerd ingevoerd worden. Met meer gespecificeerd wordt bedoeld dat bijvoorbeeld de warmtedoorgangscoefficiënt en zontoetredingsfactor per geveldeel ingevoerd kunnen worden, er kunnen specifieke gegevens voor de klimatiseringsinstallatie ingevoerd worden en watergebruik van het gebouw kan berekend worden. Uiteindelijk kunnen in de web-applicatie ook de variantenstudies uitgevoerd worden. De berekening in de plug-in is slechts als indicatie bedoeld.

Naast de mogelijkheden op het gebied van energieberekeningen, is het ook mogelijk om met het softwarepakket

daglichtstudies uit te voeren. Ook deze berekeningen worden in de cloud uitgevoerd. Binnen enkele seconden wordt zodoende de daglichtfactor van een heel gebouw berekend. Daglichtstudies zijn echter geen deel van dit onderzoek en wordt verder niet behandeld.

### KLIMAATGEGEVENS

Het softwarepakket corrigeert op basis van de ingevoerde locatie van het project voor het klimaat. Hiervoor maakt het pakket gebruik van een typisch meteorologisch jaar van een of meerdere weerstations bij de locatie in de buurt. Invoer van eigen weerdata in het pakket is niet mogelijk. De weergegevens zijn van invloed op de verwarmings- en koelbehoefte en hebben zodoende invloed op het gesimuleerde energiegebruik van het gebouw. Deze invloed zou gecorrigeerd kunnen worden met een berekening op basis van graaddagen. Het pakket levert echter als output de gemiddelde maandtemperaturen, waardoor deze correctiemethode niet gaat werken. Om hier toch een correctie voor uit te voeren, is de ruimtemtemperatuur gecorrigeerd. Hiervoor is de jaargemiddelde afwijking tussen de buitentemperaturen die het pakket gebruikt, en de werkelijke buitentemperaturen gebruikt voor het jaar waarvoor de berekening is uitgevoerd.

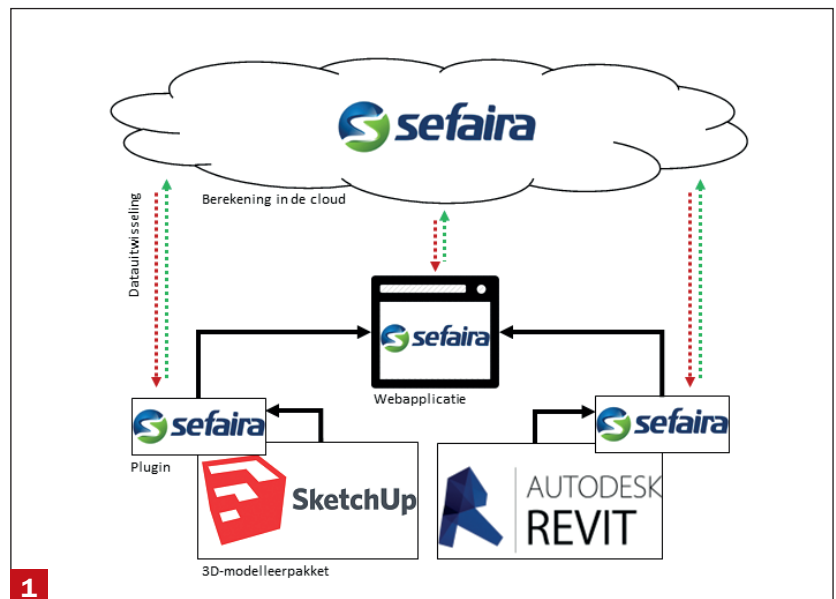
### CASUSSEN

De energetische ontwerpmogelijkheden die het softwarepakket biedt draaien allemaal om het door het pakket uitgerekende energiegebruik van een 3D-gebouwmodel. In hoeverre het uitgerekende energiegebruik van een gebouwmodel en het daadwerkelijke energiegebruik van het gerealiseerde gebouw met elkaar overeenkomen was echter nog niet bekend. Door middel van het uitvoeren van enkele casussen is deze vraag onderzocht.

Bij het berekenen van het totale energiegebruik van een gebouw is normaliter het gebruik van het gebouw de grootste onzekere factor. Er is getracht om deze factor zoveel mogelijk te minimaliseren door een type gebouw te onderzoeken met een zo vast mogelijk gebruikspatroon. Als gebouwtype is uiteindelijk voor schoolgebouwen gekozen omwille van het verwachte vaste en voorspelbare gebruikspatroon. In samenwerking met ICSadviseurs is een lijst samengesteld met recent gebouwde schoolgebouwen. Middels een multicriteria analyse zijn uit deze lijst de meest geschikte kandidaten geselecteerd. Hierin is getracht een waardeoordeel te geven aan criteria die van invloed zijn op de voorspelbaarheid van het energiegebruik. Er is onder andere rekening gehouden met het bouwjaar, de vastheid van lestijden, de aanwezigheid van praktijkonderwijs en de aanwezigheid van eventuele andere gebruiksfuncties in het gebouw.

Uit de analyse volgden uiteindelijk vijf gebouwen waar voldoende gegevens van beschikbaar waren om als casus meegenomen te kunnen worden in het onderzoek. De volgende gebouwen zijn geselecteerd als casus:

- Middelbare school De Matrix, Hardenberg;
- Brede multifunctionele combischool, Rouveen;
- Brede school De Kikker, Amsterdam;
- Middelbare school met praktijkonderwijs De Brêge/De Dyk, Leeuwarden;
- Middelbare school Ynsicht, Leeuwarden.



1 Schematische weergave van de relatie tussen 3D modelleerpakket, plug-in, web-applicatie en berekening in de cloud

Ieder geselecteerd gebouw is bezocht om vast te stellen of er afwijkingen bestonden tussen het gebouw en de bouwtekeningen, bijvoorbeeld in de vorm van een aanbouw aan het gebouw. Dit is gedaan om ervoor te zorgen dat een zo accuraat mogelijk gebouwmodel opgezet kan worden. Tijdens het locatiebezoek is bij de gebouwbeheerder en gebruikers van het pand de gebouwbezetting en aanwezigheidstijden vastgesteld. Het is gebleken dat het zelfs voor een huismeester of gebruiker van een pand soms onzeker is wanneer het pand geopend is of hoeveel gebruikers het pand eigenlijk heeft.

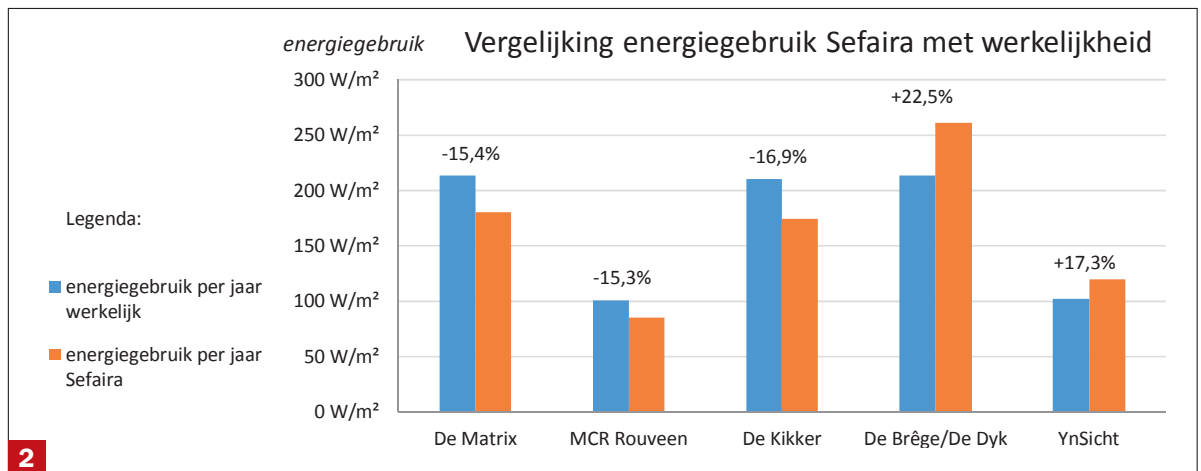
Ook zijn op locatie gegevens over de gebouwinstallaties vastgelegd. Overige gegevens, zoals de isolatiewaarde van het pand, zijn uit het bouwdoosje gehaald. Met deze informatie is per casus een 3D-gebouwmodel opgesteld en in het softwarepakket van de juiste gegevens voorzien. De output van het softwarepakket, het totale energiegebruik van het gebouw, is vastgelegd als hoeveelheid energie per maand in Joule.

Het werkelijke energiegebruik van de gebouwen, in de vorm van het totale elektra- en gasgebruik, is per casus opgevraagd bij de beheerder van het pand. Om een vergelijking te kunnen maken met het berekende energiegebruik is dit omgerekend naar het energiegebruik van het gebouw in Joule.

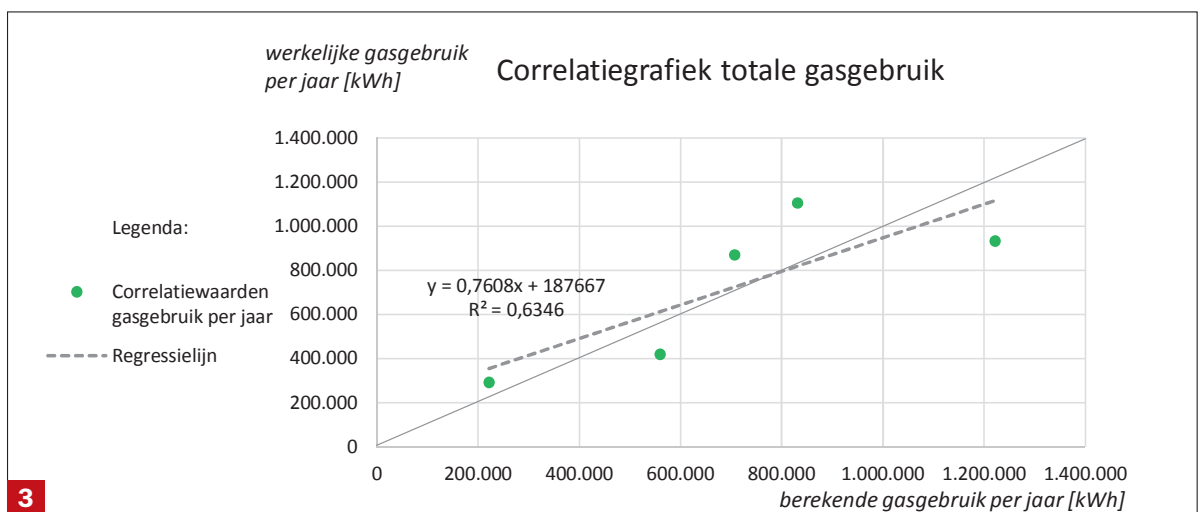
### GEbruikersENERGIE EN RESULTATENANALYSE

Tijdens het onderzoek is gebleken dat het bepalen van de invoergegevens voor de gebruikersenergie zeer lastig is. Zeker bij een van de casussen waarbij praktijkonderwijs aanwezig is in het gebouw, is dit in de praktijk niet mogelijk gebleken. Dit komt met name door de grote diversiteit aan elektrische apparatuur in het gebouw en het zeer onregelmatige gebruik van deze apparatuur. Het pakket heeft echter wel een invoerwaarde voor de gebruikersenergie nodig om de berekening goed uit te kunnen voeren.

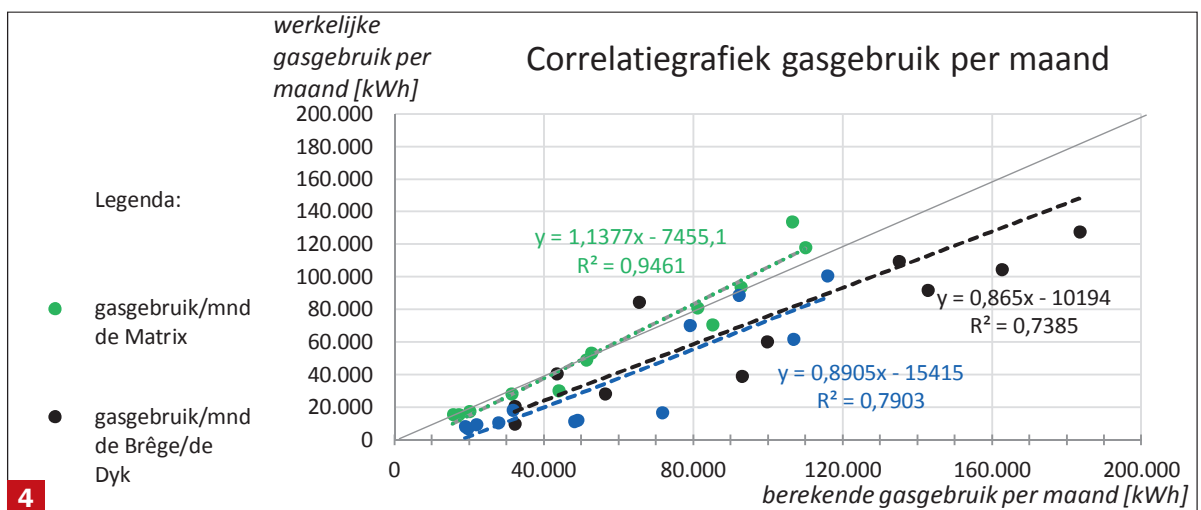
Om toch een waarde voor de gebruikersenergie in te kunnen voeren is een koppeling gemaakt tussen de berekening



Vergelijking van het werkelijke energiegebruik en het energiegebruik berekend met Sefaira, daarnaast is de procentuele afwijking van Sefaira ten opzichte van de werkelijkheid toegevoegd bij elke casus



Correlatiegrafiek met de regressielijn en de determinatiecoëfficiënt van het gasgebruik per jaar



Correlatiegrafiek met de regressielijnen en de determinatiecoëfficiënten van het gasgebruik per maand van een compleet jaar van casus de Matrix, de Brêge/de Dyk en YnSicht

en het werkelijke energiegebruik van het pand. Het werkelijke energiegebruik bestaat uit het gasgebruik en het elektragebruik. De gebruikersenergie betreft enkel het elektragebruik. Er is gebruik gemaakt van het uitgangspunt dat het totale elektragebruik van het pand gelijk is aan de som van het gebruiksgebonden en het gebouwgebonden elektragebruik. Aan de hand van het werkelijke elektragebruik en het berekende gebouwgebonden elektragebruik van de

casus zijn de invoergegevens voor de gebruikersenergie teruggerekend en is per casus een berekening gemaakt. Dit komt overeen met de aanpak wanneer het softwarepakket ingezet zou worden bij een renovatieproject.

Ook is per casus een berekening gemaakt van het totale energiegebruik van het gebouw waarbij gebruik gemaakt is van de standaard invoerwaarden voor de gebruikers-

energie die het pakket biedt. Dit komt overeen met de situatie waarin het softwarepakket in een nieuwbouwproject ingezet zou worden.

Vanzelfsprekend resulteren de twee berekeningen met verschillende uitgangspunten ook in twee verschillende analyses van de resultaten van het pakket. Om aan te tonen hoe sterk of zwak het verband is tussen het werkelijke en het berekende energiegebruik is gebruikt gemaakt van de regressielijn en de determinatiecoëfficiënt ( $R^2$ -waarde).

**DE EERSTE ANALYSE – GEFIT ELEKTRAGEBRUIK**

Het totale gesimuleerde energiegebruik per jaar van de vijf verschillende casussen is weergegeven in figuur 2 naast het totale werkelijke energiegebruik. De resulterende afwijking op het gebouwgebonden energiegebruik is bij iedere casus tussen de 15% en 23%.

Het gasgebruik is statistisch geanalyseerd en figuur 3 laat zien dat de regressielijn relatief dicht bij de grijze lijn ligt, dit betekent dat het gesimuleerde gasgebruik relatief dicht bij het werkelijke gasgebruik komt. Ook uit de determinatiecoëfficiënt blijkt een sterke samenhang tussen het gesimuleerde en het werkelijke gasgebruik.

Drie van de vijf scholen waren in staat om energiegebruik per maand gespecificeerd aan te leveren. Hierdoor werd voor deze gebouwen een uitgebreidere analyse mogelijk. Voor deze drie scholen is het maandelijkse gasgebruik in een correlatiegrafiek gezet, zoals weergegeven in figuur 4. Daarnaast is een aparte analyse gemaakt voor de zomer- en de wintermaanden. De resulterende determinatiecoëfficiënten en richtingscoëfficiënten van de regressielijnen zijn weergegeven in tabel 2 en 3, respectievelijk.

Het softwarepakket kan op basis van de determinatiecoëfficiënten het werkelijke energiegebruik van de school De Matrix het best verklaren. Ondanks de hoge jaarlijkse waarden blijkt dat de samenhang tussen de gegevens van de drie scholen een stuk lager ligt bij de winter- en de zomermaanden apart. Ook de regressielijnen wijzen dit uit; te lage richtingscoëfficiënten in de zomer en te hoge richtingscoëfficiënten in de winter ten opzichte van het werkelijke gasgebruik. Doordat deze maanden elkaar opheffen ontstaat een jaargemiddelde regressielijn, waaruit blijkt dat het pakket het werkelijke gasgebruik voor een groot deel verklaart, terwijl dit voor de zomermaanden en wintermaanden apart niet blijkt (met uitzondering van De Matrix).

**TWEDE ANALYSE – STANDAARDWAARDEN ELEKTRAGEBRUIK**

Naast het gefitte elektragebruik is er ook gebruik gemaakt van de standaardwaarden van het softwarepakket voor de gebruikersenergie. Deze standaardwaarden blijken bij elke casus te laag te zijn aangenomen ten opzichte van de gefitte waarden. Dit blijkt ook uit de in figuur 5 weergegeven totaalvergelijking van het gesimuleerde energiegebruik met het werkelijke energiegebruik.

Uit de correlatiegrafiek (figuur 6) van deze jaarlijkse gegevens blijkt dat er sprake is van een zeer zwakke samenhang tussen de gesimuleerde resultaten en het werkelijke energiegebruik per jaar.

Tabel 1: Samenhang in relatie tot de determinatiecoëfficiënt (universiteit Leiden, 2006)

Determinatiecoëfficiënt ( $R^2$ )		Samenhang
<	0,10	Zeer zwak
0,10	0,25	Zwak
0,25	0,50	Matig
0,50	0,75	Sterk
0,75	0,90	Zeer sterk
0,90	>	Uitzonderlijk sterk

Tabel 2: Determinatiecoëfficiënten van het gasgebruik per maand

Casus	$R^2$ zomer	$R^2$ winter	$R^2$ jaar	Samenhang jaar
De Matrix	0,89	0,84	0,95	Uitzonderlijk sterk
De Brêge/De Dyk	0,49	0,62	0,73	Sterk
YnSicht	0,23	0,70	0,79	Zeer sterk

Tabel 3: Richtingscoëfficiënten van de regressielijnen van het gasgebruik per maand

Casus	RC zomer	RC winter	RC jaar	RC jaar
De Matrix	0,82	1,33	1,14	Te hoog
De Brêge/De Dyk	0,74	1,31	0,84	Te laag
YnSicht	0,17	1,26	0,89	Te laag

Tabel 4: Determinatiecoëfficiënten van het gasgebruik per maand

Casus	$R^2$ zomer	$R^2$ winter	$R^2$ jaar	Samenhang jaar
De Matrix	0,89	0,87	0,89	Zeer sterk
De Brêge/De Dyk	0,46	0,65	0,73	Sterk
YnSicht	0,29	0,75	0,84	Zeer sterk

Tabel 5: Richtingscoëfficiënten van de regressielijnen van het gasgebruik per maand

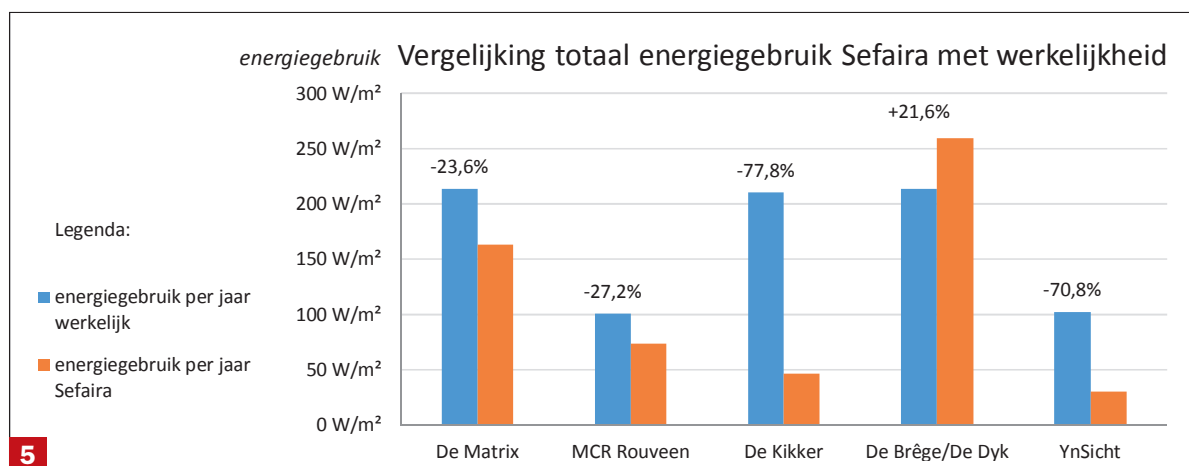
Casus	RC zomer	RC winter	RC jaar	RC jaar
De Matrix	0,96	1,30	1,20	Te hoog
De Brêge/De Dyk	0,93	1,35	0,88	Te laag
YnSicht	0,28	1,06	0,75	Te laag

Bij het analyseren van de maandelijkse gegevens over een heel jaar, van casussen De Matrix, De Brêge/De Dyk en YnSicht, ontstaat echter het beeld dat de samenhang een stuk sterker is. Opgemerkt is dat de samenhang van de winter- en zomermaanden apart een zwakkere samenhang oplevert dan de determinatiecoëfficiënten en regressielijnen van het gehele jaar, met uitzondering van casus YnSicht (tabel 4 en 5).

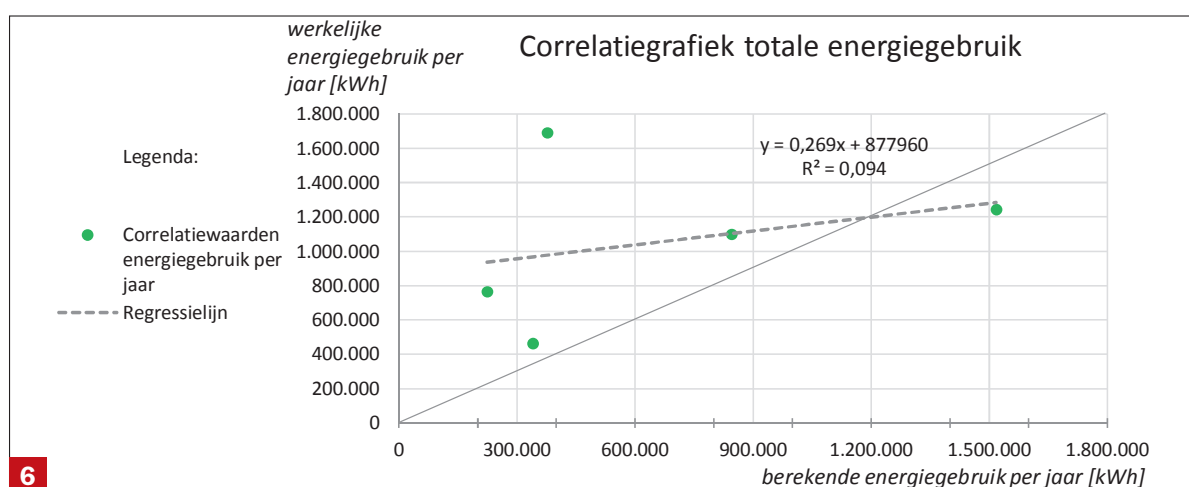
**CONCLUSIE**

Het onderzochte softwarepakket is ontwikkeld met als doel ondersteuning te bieden bij het ontwerpen van energetisch hoog presterende gebouwen. Verschillende ontwerpopties kunnen op basis van energetische berekeningen gefundeerd tegen elkaar worden afgewogen. De producten van het bedrijf zijn relatief nieuw vergeleken met andere simulatiesoftware en nog volop in ontwikkeling. Een groot voordeel van het pakket is dat, mede door het rekenen in de cloud, snel berekeningen en vergelijkkin-





Vergelijking van het werkelijke energiegebruik en het energiegebruik berekend met Sefaira, daarnaast is de procentuele afwijking van Sefaira ten opzichte van de werkelijkheid toegevoegd bij elke casus



Correlatiegrafiek met de regressielijn en de determinatiecoëfficiënt van het totale energiegebruik per jaar

gen gemaakt kunnen worden. Daartegenover staat dat een model nooit een volledige benadering zal worden van de werkelijkheid. De gebruikte invoerwaarden zullen altijd een afwijking bevatten ten opzichte van de werkelijkheid. Belangrijke aannames bij het energetisch simuleren van gebouwontwerpen zijn de hoeveelheid gebruikersenergie, het gebruikersgedrag en de klimaatgegevens.

Op basis van de vijf onderzochte casussen blijkt dat de standaardwaarde van het softwarepakket voor de gebruikersenergie voor schoolgebouwen te laag is. Desondanks blijkt dat het gesimuleerde energiegebruik voor schoolgebouwen, bij de gefitte gebruikersenergie, een zeer sterke samenhang vertoont ten opzichte van het werkelijke jaarlijkse energiegebruik. Dit is voor een groot deel te verklaren door het elektragebruik dat, door de gefitte gebruikersenergie, sterk overeenkomt met het werkelijke elektragebruik. Voor het gasgebruik gaat dit echter niet op, er is niet gefit op het werkelijke gasgebruik. Het gesimuleerde energiegebruik heeft dus bij een goed bepaalde waarde voor de gebruikersenergie een betere overeenkomst met het werkelijke energiegebruik dan bij de standaardwaarde die het pakket bevat.

De samenhang tussen de maandelijkse resultaten is zwakker gebleken dan de jaarlijkse resultaten. Waarschijnlijk zijn er grotere verschillen ontstaan doordat het softwarepakket niet de werkelijke klimaatdata gebruikt.

## AANBEVELINGEN

Het softwarepakket is nog volop in ontwikkeling. Inmiddels zijn er nog twee andere softwarepakketten uitgebracht om gebouwinstallaties te dimensioneren en energiestrategieën uit te werken. De werking en betrouwbaarheid van deze pakketten zijn niet bekend en kunnen nader onderzocht worden. Ook bevelen we aan onderzoek te doen naar de werking van het softwarepakket in combinatie met gebouwen met andere gebruiksfuncties dan een onderwijsfunctie.

Uit dit onderzoek blijkt ook sterk dat de gebruikers van grote invloed zijn op het energiegebruik. Bij meer inzicht in gebruikersgedrag en gebruikersenergie per activiteit zal ook het gesimuleerde energiegebruik nauwkeuriger bepaald kunnen worden. Klimaatgegevens zijn van invloed op het energiegebruik, door de gelimiteerde outputgegevens van het softwarepakket is echter lastig voor een klimaatjaar te corrigeren. Indien een goede correctiemethode hiervoor ontwikkeld wordt, zullen de resultaten van het pakket nauwkeuriger worden.

Als laatste kan zeker gesteld worden dat het onderzochte softwarepakket een toevoeging kan zijn voor het ontwerpproces in een vroeg ontwerpstadium. Hierbij kan het pakket met name ingezet worden om ontwerpopties energetisch te vergelijken om de energiezuinigheid van gebouwen te bevorderen en niet zozeer om het daadwerkelijke energiegebruik te voorspellen. ■