



BOUWFYSICA

VAKBLAD VAN DE NEDERLANDS VLAAMSE BOUWFYSICA VERENIGING



GEVOLGEN VAN HET TOEKOMSTIGE KLIMAAT

► HITTE ONDER DE LOEP ► INVLOED DAGLICHTEISEN OP ONZE GEBOUWEN ► KLIMAAT-
RESPONSIEVE EN -ADAPTIEVE BOUWSYSTEMEN ► ZOMERCOMFORT IN WONINGEN

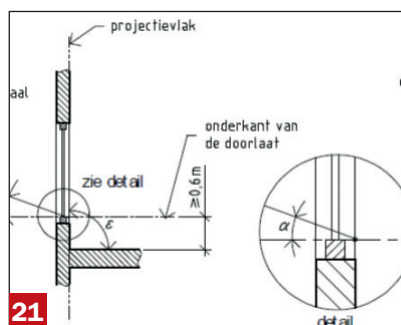
3
2025
JRG 36



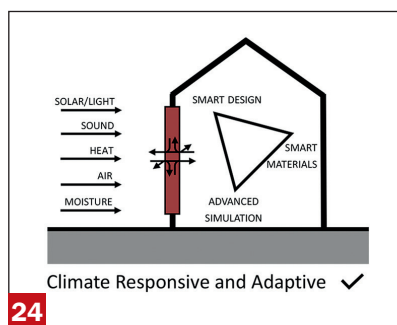
7



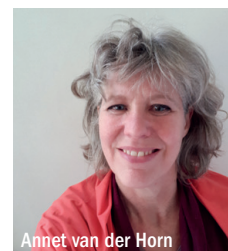
14



21



24



Annet van der Horn

Plannen

Met een nieuwe voorzitter komen er ook nieuwe, frisse ideeën. Saskia Hegeman vertelt er zelf wat over verderop in dit blad. Maar ook de redactie is op zoek gegaan naar plannen voor de toekomst.

We hebben een mindmap gemaakt, waar 'Bouwfysica magazine' heel groot in het midden stond. Daar kwamen woorden omheen zoals: onderwijs, onderzoek, Kennisdag, bedrijven en NVBV. Die waren te verwachten. Maar met een andere kleur stift verscheen er ook ineens: FUN, kortere stukken, papier/digitaal en werkgroepjes verslagen.

Een tweede sessie ging aan de hand van vragen zoals 'Welke nieuwe inhoud zou je willen zien?'. Wat blijkt: we willen naast de gebruikelijke inhoudelijk ook luchtigere stukken, een puzzel, een cartoon, een column, wat opinie, of een boekbespreking. In deze editie vind je alvast een column en een luchtiger stuk. We zijn benieuwd hoe dat bevalt. En als dit aanleiding is om zelf iets (luchtigs of juist wetenschappelijks) te schrijven: altijd welkom. Laat het weten via redactie@nvbv.org.

Qua inhoud zagen we wat actuele onderwerpen zoals biobased, whole life carbon en digitalisering. En het viel op dat we al een tijdje niets over kunstlicht hebben gepubliceerd. In deze editie niets van dat alles, maar juist veel daglicht, klimaatverandering, CO₂-meting en hygro-thermische veiligheid van houten constructies. Nou, vooruit, hout is ook biobased. Een vraag die niet zo veel opleverde was: 'Hoe zou je de vormgeving in de toekomst zien?'. De meeste redactieleden zijn namelijk nog steeds heel tevreden over hoe dit blad eruit ziet. Misschien wat grotere afbeeldingen? Of AI inzetten? Toch de binnenkant van de cover bedrukken? Kortom, verwacht de komende tijd geen radicaal andere vormgeving. Een interessante vraag was: 'Hoe kunnen we nog beter bouwfysische kennis verspreiden?'. Daar zien we vooral een rol voor sociale media. Onze LinkedIn kan nog wel wat hulp gebruiken. We zoeken dus iemand van onze lezers die zin heeft om dat op te pakken. Laat het even weten via een berichtje naar redactie@nvbv.org.

Veel leesplezier! ■

Annet van der Horn

02 GEVOLGEN VAN HET TOEKOMSTIGE KLIMAAT

ing. J. (Johan) Kaspers, ing. T.G. (Theo) Haytink & ir. H.J.J. (Harm) Valk, Nieman, Zwolle

07 CO₂-METINGEN BRUIKBAAR ALTERNATIEF VOOR LUCHTDEBIETMETINGEN?

ir. A.M.S. (Annemarie) Weersink, dr. ir. C. (Christian) Struck, Lectoraat Sustainable Building Technology & studenten Amir Nadirian, Elias Lahdo, Alican Ender en Debora Chamoun, Saxion, Enschede, ir. F.G.H. (Frans) Koene, Energy&Comfort Systems TNO, Delft

14 KLIMAATBESTENDIGHEID: HITTE ONDER DE LOEP

ing. R.F. (Ruben) Stoopendaal, Cauberg Huygen, Amsterdam

21 HOE DAGLICHTEISEN DE GEBOUWDE OMGEVING BEÏNVLOEDEN

ing. J.J.A. (Hans) Broere, Hogeschool Rotterdam & ing. S.G. (Sierd) Tilma, LBP|Sight, Nieuwegein

24 KLIMAAT-RESPONSIEVE EN -ADAPTIEVE BOUWSYSTEMEN

prof. dr. ir. M.J. (Martin) Tenpierik, Technische Universiteit Delft

27 DE ZOEKTOCHT NAAR ZOMERCOMFORT IN WONINGEN

dr. ir. M. (Marije) te Kulve, BBA Binnenmilieu, Den Haag

29 ACTUEEL

30 VERENIGING

WARMTE, LUCHT EN VOCHT

BOUWFYSICA VAN MONUMENTEN

BRANDVEILIGHEID

BINNENMILIEU EN GEZONDHEID

ENERGIE EN MILIEU

GELUID EN TRILLINGEN

WET- EN REGELGEVING

STEDENBOUWFYSICA

GEVOLGEN VAN HET TOEKOMSTIGE KLIMAAT

DE NOODZAAK OM ANDERS TE GAAN BOUWEN EN RENOVEREN

Het klimaat verandert. Dat heeft consequenties voor gebouwen die de komende jaren worden gebouwd of gerenoveerd. Gebruikers van die gebouwen zullen geconfronteerd worden met heel andere klimatologische omstandigheden dan waar we momenteel vanuit gaan in onze ontwerp- en adviespraktijk. Dat maakt klimaatadaptatie een urgent onderwerp voor architecten, bouwfysici en installatie-adviseurs. Dit artikel presenteert de uitkomsten van simulatie-onderzoek met actuele klimaatdata en is een inhoudelijk vervolg op de artikelen in de twee voorgaande edities van dit blad.



ing. J. (Johan) Kaspers,
Nieman Raadgevende
Ingenieurs BV, Zwolle



ing. T.G. (Theo) Haytink,
Nieman Raadgevende
Ingenieurs BV, Zwolle



ir. H.J.J. (Harm) Valk,
Nieman Raadgevende Ingeni-
eurs BV, Zwolle

Vanzelfsprekend worden klimatologische omstandigheden meegewogen in een ontwerp. Vaak intuïtief in het architectonisch ontwerp en expliciet in berekeningen van de gebouwinstallatie of een temperatuuroverschrijdingsberekening. Voor het maken van die berekeningen wordt gebruik gemaakt van samengestelde set uurlijkse meteorologische klimaatdata. Per definitie zijn dit data uit het verleden. Inmiddels hebben we een veel beter inzicht in het toekomstige klimaat, dankzij de KNMI-klimaatscenario's [1]. In Bouwfysica 2025-1 hebben Annet van der Horn en Wim Plokker [2] deze scenario's toegelicht en beschreven hoe dit verwerkt gaat worden in een update van NEN 5060. Daarnaast hebben Annemarie Weersink en Christian Struck in Bouwfysica 2025-2 [3] de opwarming in bestaande woningen beschreven aan de hand van meetdata en hebben zij aanzetten gegeven voor beoordelingsmethoden en criteria.

GEBRUIKTE DATA Scenario's

De KNMI-scenario's [1] zijn primair bedoeld als ondersteuning voor lange termijnbeleid ten aanzien van bijvoorbeeld kustverdediging. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de standaard gebruikte zichtjaren (2050, 2100, 2150). Voor de gebouwde omgeving zijn met name de ontwikkelingen op korte en middellange termijn van belang, omdat gebouwen een ontwerp levensduur hebben van circa 50-75 jaar en in de tussentijd vaak al een ingrijpende renovatie ondergaan. Speciaal voor toepassing in de gebouwde omgeving is daarom in opdracht van RVO en TKI Urban Energy door het KNMI een verfijning doorgevoerd. Het jaar 2033 is toegevoegd en voor dat jaar en voor 2050 zijn de scenario's verfijnd naar datasets [4] op uurbasis in het format van NEN 5060, zodat deze toegepast kunnen worden in bekende gebouwsimulatie-programma's. Ten tijde van deze studie is data in NEN 5060-format beschikbaar voor de locaties Alkmaar, Assen, De Bilt, Roermond en Zierikzee, die samen een goed beeld geven van de verschillen binnen Nederland.

Stijging buitentemperatuur

De zomersituatie volgens de klimaatscenario's zijn vergeleken met recente jaren. Daarin zijn zes recente jaren vergeleken met een nieuw geconstrueerde referentie van het

huidige klimaat en met vijf toekomstscenario's. Bij deze analyse van het buitenklimaat is telkens een zomerseizoen gehanteerd (gedefinieerd als de periode van 30 april tot 28 september) wat overeenkomt met berekeningen in gebouwsimulatiemodellen. In tabel 1 is het aantal uren weergegeven boven een bepaald minimum, gedurende een zomerperiode.

Er is gebruik gemaakt van de volgende datasets gebaseerd op de toekomstscenario's van het KNMI:

- Referentie Een nieuw geconstrueerd referentiejaar, gebaseerd op de jaren 1991-2020
- 2033L Scenario voor zichtjaar 2033
- 2050Md Midden-droog scenario voor zichtjaar 2050
- 2100Md Midden-droog scenario voor zichtjaar 2100
- 2150Md Midden-droog scenario voor zichtjaar 2150

Het gebruik van de term 'zichtjaar' duidt erop dat er geen precieze voorspelling van een toekomstig jaar wordt gedaan, maar dat een beeld wordt geschetst van het decennium rondom het genoemde jaar. Merk op dat er geen constant stijgende lijn in de toekomstige zichtjaren wordt berekend, maar dat er enige schommelingen worden voorzien.

In tabel 2 wordt ingezoomd op langdurige warme perioden. Om de consequentie voor de bestaande bouw te bepalen is daarbij gekeken naar de korte en middellange termijn. Daarbij is de R_{mot} als criterium gebruikt: de 'Running mean outdoor temperature'. Dat is het gemiddelde etmaal temperatuur van 'heden' en de zeven voorgaande dagen. In de tabel wordt aangegeven hoelang er in een aaneengesloten periode een R_{mot} is van meer dan 16 of 22 °C. Die waarden zijn aangehouden omdat 16 °C de grens is voor een zomerperiode en er boven 22 °C gesproken wordt over een warme zomerperiode. Daarnaast wordt apart weergegeven hoeveel uren er sprake is van een nachttemperatuur > 20 °C; er is dan sprake van een 'tropennacht'.

Uit deze gegevens constateren we het volgende:

- Op zowel de korte (2033) als de middellange termijn (2050) is een stijging van de buitentemperatuur zichtbaar ten opzichte van de afgelopen jaren.
- De door het KNMI berekende nieuwe referentie voor het huidige klimaat, is op onderdelen al warmer dan het

Tabel 1 Aantal uren dat een buitentemperatuur voorkomt

	Afgelopen jaren – KNMI De Bilt						Toekomstige zichtjaren – KNMI De Bilt				
T (°C)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	referentie	2033L	2050Md	2100Md	2150Md
24°C	428	257	304	140	321	317	297	471	550	874	532
26°C	201	168	203	47	174	160	168	284	349	551	344
28°C	100	112	122	12	99	74	90	159	202	294	204
30°C	40	67	62	1	44	17	38	78	101	175	93
32°C	23	27	22	0	9	0	5	22	43	80	24
34°C	11	16	0	0	6	0	0	3	9	49	4
36°C	0	10	0	0	0	0	0	0	7	24	2

Tabel 2 Warme perioden en tropennachten recente jaren en toekomstige zichtjaren

	Afgelopen jaren – KNMI De Bilt						Referenties		Toekomstige zichtjaren – KNMI De Bilt				
T (°C)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	NEN 5060 T05	KNMI 2025	2033L	2050Md	2050Mn	2050Hd	2050Hn
Aantal dagen met Rmot > 16°C en 22°C													
>16°C	101	75	78	101	94	94	103	72	123	108	118	116	106
>22°C	7	6	9	0	1	1	5	14	19	32	11	37	20
Aantal uren met tropennacht > 20°C													
>20°C	55	46	74	4	8	42	42	84	157	188	147	242	205

(warme) referentiejaar T05 uit NEN5060, dat momenteel meestal gebruikt wordt voor de beoordeling van oververhitting en de dimensionering van koelinstallaties.

- Voor het zichtjaar 2050 is een duidelijk verschil te zien tussen het 'Midden' en 'Hoog' scenario, waarbij een middenscenario een zekere stabilisatie laat zien ten opzichte van 2033. In de verschillen tussen een 'droog' of een 'nat' scenario, is het natte scenario een stuk milder. (L: laag scenario, Md: midden scenario droog, Mn: midden scenario nat, Hd: hoog scenario droog, Hn: Hoog scenario nat)
- Alle scenario's resulteren in meer en langere perioden met hogere buitentemperaturen, hogere Rmot-waarden > 22°C en langere perioden van hittegolven. Deze opwarming leidt dus niet alleen overdag, maar zeker ook in de nachtperiode tot een hogere buitentemperatuur. Met name deze temperatuurstijging in de nachtperiode is zorgwekkend.

de klimaat zijn op het thermisch comfort en IEQ (indoor environmental quality) van gebouwen. Vooral de consequenties voor woningen is relevant en dan met name de toename van het risico op oververhitting, gezien het risico voor de gezondheid [5].

De consequenties worden geïllustreerd aan de hand van een veel voorkomende grondgebonden tussenwoning uit bouwjaar 1967, die matig geïsoleerd is door enige verbetermaatregelen in de loop der jaren (spouwisolatie, conventioneel dubbel glas). Als oriëntatie is oost/west aangehouden.

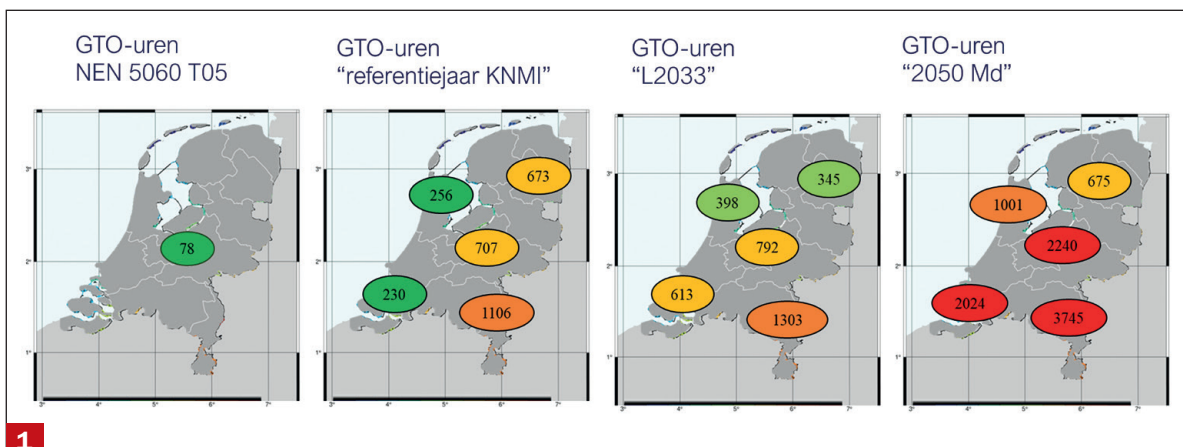
Beoordeling met NEN 5060 T05

In eerste instantie is de woning beoordeeld op het risico op oververhitting op het geldende nieuwbouwcriterium: GTO < 450 h/jr volgens NEN 5060 T05. Met dit huidige referentieklimaat is al een onaanvaardbaar risico op oververhitting, namelijk 2601 GTO-uren. Dit strookt met recente meldingen van oververhittingsproblemen in bestaande woningen [6,7]. Dit kan echter eenvoudig beperkt worden door de toepassing van zonwering, waardoor het zakt tot een zeer aanvaardbare 78 uur.

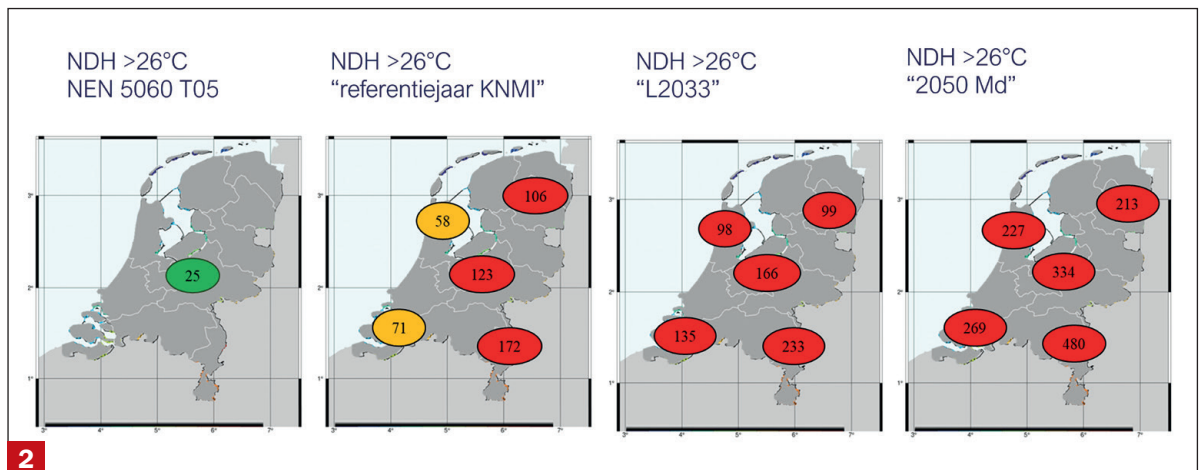
TOEPASSING OP EEN REFERENTIEWONING

Referentie

Voor advies, normalisatie en regelgeving is het van belang te onderzoeken wat de consequenties van het veranderen



GTO-uren met zonwering – woonkamer referentiewoning



2

Aantal uren NDH > 26 °C in slaapkamers referentiewoning – met zonwering

GTO-uren woonkamers met buitenzonwering

Voor het vervolg nemen we daarom de situatie met zonwering als uitgangspunt. In eerste instantie beoordelen we de woonkamer in alle varianten van figuur 1. Omdat de toekomstige scenario's beschikbaar zijn voor meerdere locaties, worden de verschillen binnen Nederland zichtbaar gemaakt. Merk op dat ook in de huidige situatie de verschillen per regio al aanzienlijk zijn, een gegeven dat tot op heden over het algemeen wordt genegeerd, door met een landelijk uniform klimaatbestand te werken.

Aantal uren > 26 °C in slaapkamers in de nacht

Figuur 2 toont de situatie in slaapkamers tijdens de nacht. Hiervoor gebruiken de indicator NDH (night degree hours), die door Kluck [5] wordt gebruikt om deze specifieke situatie te beoordelen. Dit is een indicator die het aantal overschrijdingsuren van de operationele temperatuur boven de 26°C telt tijdens de nachtperiode (tussen 22:00 en 6:00 uur). Als criterium sluiten we aan bij Kluck die een overschrijding van meer dan 88 uur beoordeelt als een 'zeer groot risico'. Opvallend is dat dit, meer nog dan de beoordeling van de woonkamers, leidt tot grote overschrijdingen. Dit heeft met name te maken met de hoogte van de grenswaarde. Het is de vraag of de ijkings van het criterium NDH gelijkwaardig is aan die van de GTO, waarbij bovendien opgemerkt moet worden dat de toepasbaarheid van de GTO-grenswaarde voor woningen ook ter discussie staat. Dat vraagt om nader onderzoek. Onafhankelijk valt (opnieuw) de grote verschillen per regio op: tussen NW-Nederland ('Alkmaar') en ZO-Nederland ('Roermond') is er een verschil met een factor 2 á 2,5 onafhankelijk van het scenario. Geconstateerd moet worden dat de oververhitting in de nachtsituatie een nieuw fenomeen is, dat samenhangt met het veranderen van het klimaat, en specifieke aandacht verdient.

STEDELIJK HITTE-EILAND

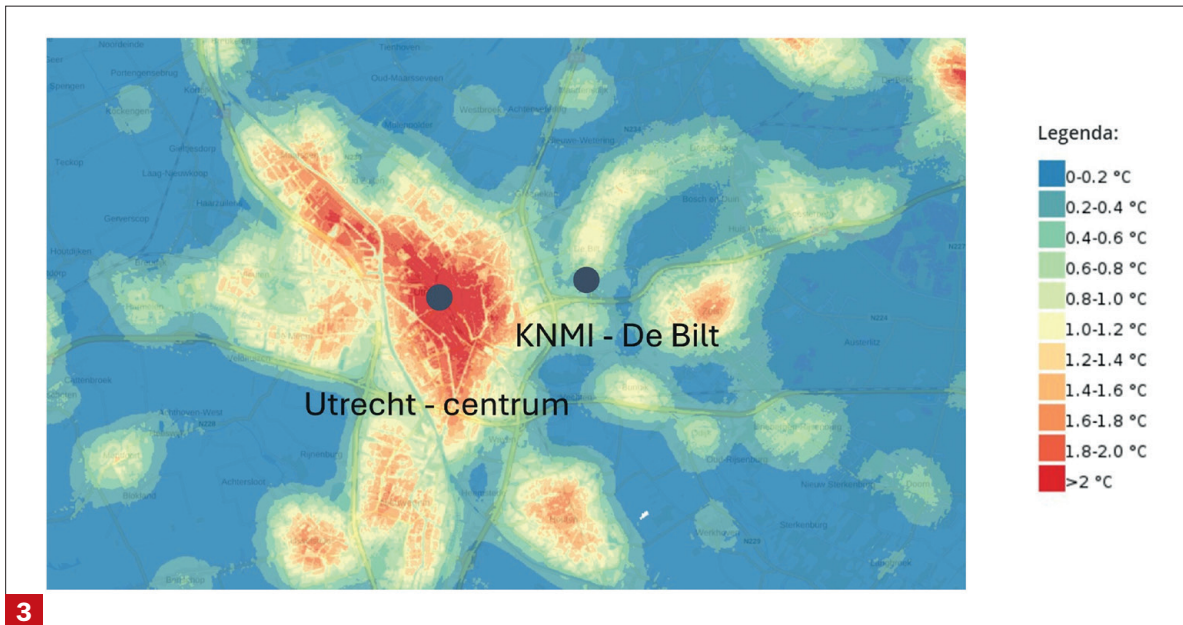
Dat het in een versteende omgeving warmer is dan in een groen buitengebied mag inmiddels als algemeen bekend worden verondersteld. Dit fenomeen wordt aangeduid als 'stedelijk hitte-eiland' (SHE) of 'urban heat island' (UHI). Toch is die term enigszins misleidend, omdat er stedelijke gebieden zijn, waarbij er veel minder een probleem is, door bijvoorbeeld de directe nabijheid van substantieel groen en er ook in kleine plaatsen en sub-urbane omgeving plekken zijn die sterk versteend zijn en dus extra

opwarmen. Voor dit moment conformeren we ons aan de term SHE.

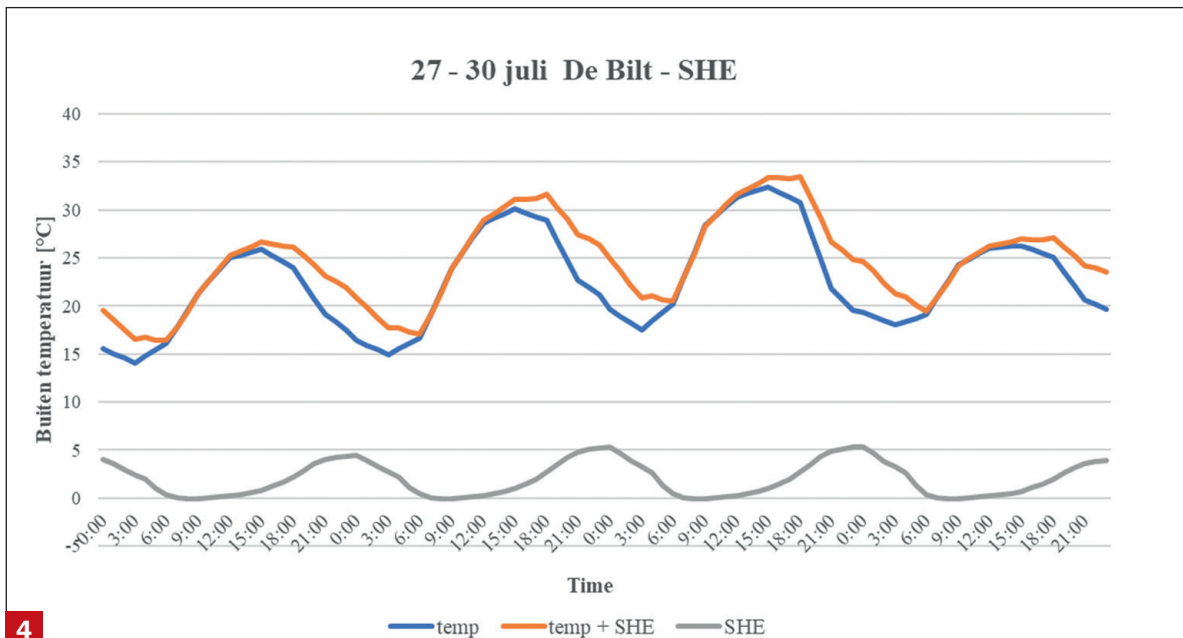
De parameters die de mate van het SHE beïnvloeden zijn het albedo (de mate van reflectie van een materiaal) en de emissiviteit (effectiviteit van uitstralen van warmtestraling). Ook de Skyview factor (het aandeel van de zichtbare hemelkoepel), windstroming en natuurlijk vergroening zijn erg belangrijk. Afhankelijk van de meteorologische situatie kan het SHE variëren van minder dan 1°C tot (in extreme gevallen) meer dan 10°C graden verschil tussen stad en buitengebied. Er is ook een grote spreiding van de mate van het stedelijk hitte eiland binnen één stad. Ook is het SHE is niet constant over een etmaal. De dagelijkse afwisseling met hoge temperaturen en zonneschijn gedurende de dag zorgt ervoor dat het effect van een SHE meestal het grootst is in de vroege avond (paar uur na zonsondergang) doordat de bebouwing dan maximaal is opgewarmd en het buitengebied veel sneller afkoelt. Daarentegen is het SHE het kleinste en soms zelfs negatief in de ochtend (paar uur na zonsopkomst). De consequenties van het SHE kunnen goed worden geïllustreerd door het meetstation van het KNMI in De Bilt en te vergelijken met het nabijgelegen centrum van Utrecht, weergegeven in figuur 3 en 4. Er is meer onderzoek nodig naar de spreiding en effecten van het SHE tussen verschillende steden en ook binnen de stad. Deze situatie uit figuur 3 en 4 geeft beeld van het meest warme deel van Utrecht.

In figuur 5 wordt de invloed van het SHE-effect afgezet tegen de toekomstscenario's voor De Bilt. Daarbij valt direct de toename van het aantal 'tropische nachten' op (minimum nachttemperatuur > 20 °C). Er treedt een verdubbeling op van het aantal uren > 20°C. Die stijging is relatief gezien sterker dan de stijging van de dagtemperaturen.

Het is evident dat het SHE een substantiële bijdrage levert aan de opwarming van de gebouwde omgeving in de stad. Alhoewel tijdens het onderzoek vanuit het KNMI van één stadsprofiel het SHE beschikbaar was, komt het beeld goed overeen met wat in andere studies is gevonden. Uit de berekende situatie voor Utrecht blijkt dat de buitentemperatuur met name in de nachtperiode met 1 á 5 °C kan stijgen ten opzichte van het buitengebied. Dit



3 Stedelijk hitte eiland in Utrecht vergeleken met De Bilt (Afbeelding: op basis van Klimateffectatlas [8])



4 Buitentemperatuur De Bilt met SHE profiel van Utrecht voor drie zomerse dagen

leidt tot een forse stijging van de GTO-uren, de NDH en de maximale temperatuur overdag.

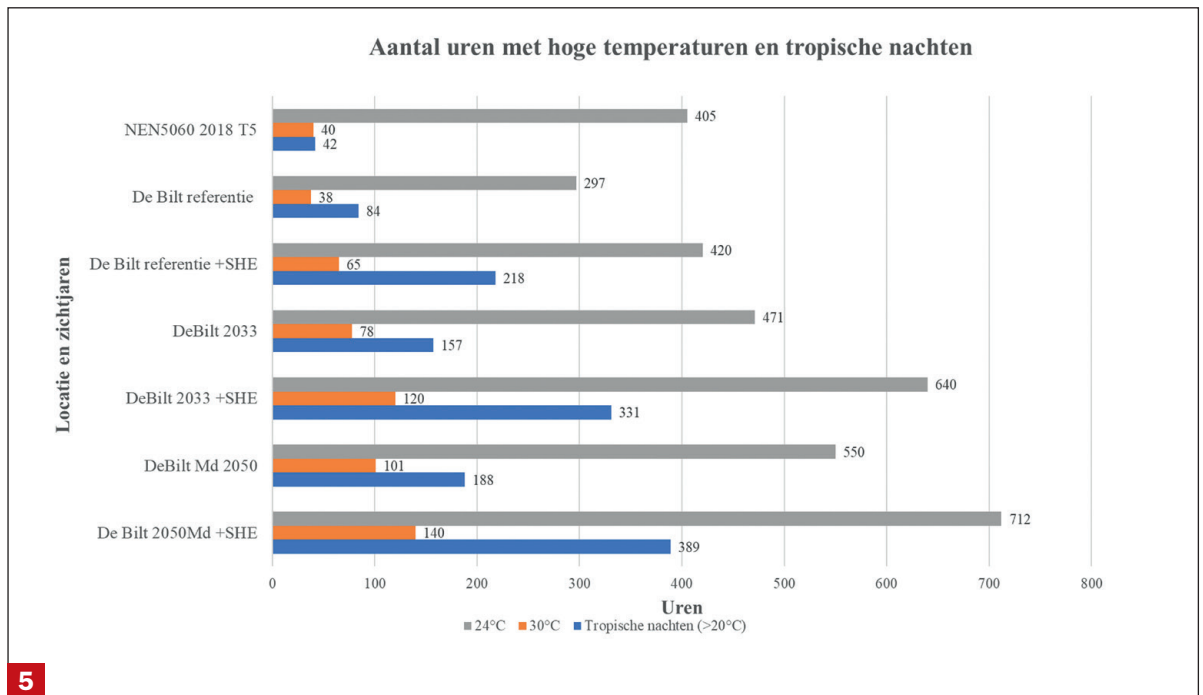
CONCLUSIES

Dit artikel beschrijft een onderzoek naar de consequenties van het toekomstige klimaat voor de gebouwde omgeving, aan de hand van de KNMI klimaatscenario's uit 2023. Uit de onderzoeksresultaten trekken wij de volgende conclusies.

Buitenzonwering is essentieel voor zowel het thermisch comfort als het verminderen van de energie- en elektriciteitsvraag van actieve koelsystemen. Op basis van deze analyse adviseren wij dit als standaardmaatregel mee te nemen bij elk nieuwbouw- en renovatieplan. Naast buitenzonwering zijn voor de toekomstige scenario's aanvullende warmtewerende maatregelen nodig. De rekenresultaten van de simulaties met de toekomstige klimaatscenario's zijn zo hoog dat er in het beleid aan-

dacht moet komen voor (passieve) warmtewerende maatregelen, al dan niet verplicht via de bouwregelgeving. De beoordeling van het thermisch comfort in de zomer moet bij voorkeur locatie- en projectspecifiek plaatsvinden. Bij de beoordeling van projecten moet een koppeling gemaakt worden tussen de toekomstige uurlijkse klimaatdata en specifieke hitte risico's vanuit de omgeving. Er moet meer aandacht komen voor het thermisch comfort in de nachtperiode. Wellicht in de vorm van een toetscriteria naast de GTO-uren. Een hogere buitentemperatuur in de nachtperiode zorgt dat de woningen minder kunnen afkoelen. Ook is de hinder en kwetsbaarheid in de nacht het grootst.

Voor goede voorspelling van de grootte van het stedelijk hitte eiland-effect is nader onderzoek noodzakelijk naar stadstype, vegetatie en sky view factor. De invloed is echter zo groot, dat los van deze nieuwe kennis aandacht



Buitentemperatuur De Bilt met SHE profiel van Utrecht en tropennachten - heden en volgens klimaatscenario's

voor het beperken van dit hitte eiland effect in stedenbouwkundige plannen noodzakelijk is.

DISCUSSIE

Deze verkennende studie geeft al veel inzichten in de consequenties van het toekomstige klimaat voor de gebouwde omgeving. Het is echter een kennisgebied in ontwikkeling. Nader onderzoek is dus gewenst. Een aantal zaken vraagt daarbij aandacht:

In hoeverre wordt adaptatie van het menselijk lichaam aan het veranderende klimaat voldoende meegewogen. In ATG-modellen wordt hiermee gerekend; Weersink en Struck wezen daar ook al op [3]. Zijn de daarbij gehanteerde uitgangspunten nog valide bij het veranderende klimaat en zijn deze voor alle bevolkingsgroepen evenredig van toepassing? Speciale aandacht voor ouderen en kwetsbare personen lijkt daarbij noodzakelijk. Dit vraagt ook input vanuit de gezondheidswetenschap. De toegepaste criteria zijn nog onvoldoende gevalideerd. Aan goed hanteerbare en praktisch meetbare toetskader is echter maatschappelijk een grote behoefte. Dit blijkt bijvoorbeeld uit het aanhouden van alle casussen in de bestaande bouw door de huurcommissie [9]. De parameters die meewegen bij het optreden van het SHE moeten nader worden uitgewerkt, op een manier dat toepassing in het ontwerpproces mogelijk wordt. Dat vraagt om een beoordeling van gebiedsinvloeden, zoals de mate van verstedelijking en de aanwezigheid van schaduw, verdamping, reflectie en ventilatie. Er is nader onderzoek gewenst in de verschillende mate van SHE binnen een stad en tussen verschillende steden.

VERANTWOORDING

Dit artikel is gebaseerd op onderzoek [10] in opdracht van TKI Urban Energy en RVO uitgevoerd door de auteurs namens Nieman Raadgevende Ingenieurs. Het onderzoek maakt gebruik van databestanden die door het KNMI in opdracht van RVO zijn samengesteld voor toepassing van

de KNMI-klimaatscenario's ten behoeve van advieswerkzaamheden in de gebouwde omgeving. Een uitgebreide toelichting is eerder verschenen in TVVL-Magazine (augustus 2025) en is als paper gepubliceerd en gepresenteerd tijdens Clima 2025, 4-6 juni te Milaan. Een Engelstalig artikel op basis van deze paper verschijnt in oktober in het REHVA-Journal. ■

BRONNEN

- [1] KNMI, 2023: KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland, KNMI, De Bilt, KNMI-Publicatie 23-03
- [2] Horn, ir. A.P. van der en ir. W. Plokker; Het wordt warmer, dus we moeten anders bouwen; artikel in Bouwfysica 2025-1, Arnhem, april 2025
- [3] Weersink, ir. A.M.S. en dr. Ir. C. Struck; Oververhitting bestaande woningen kwantitatief beoordeeld; artikel in Bouwfysica 2025-2, Arnhem, juni 2025
- [4] KNMI'23 - Representatieve klimaatjaren voor de stedelijke omgeving, overeenkomstig de KNMI'23-klimaatscenario's; via <https://dataplatform.knmi.nl/dataset/preview/tki-built-environment-climate-years-1-0>
- [5] Kluck, J.; et.al.; Hitte in bestaande woningen 2.0 – Achtergronddocument; NKWK – HvA; Amsterdam, februari 2023
- [6] Hitte in de woning; White paper / eindrapport 'RAAK'-project; HvA, Amsterdam juni 2024
- [7] 'Meer dan helft van de Nederlanders woont in huis met risico op oververhitting'; nieuwsitem Eenvandaag; 9 juli 2024, via eenvandaag.avrotros.nl (geraadpleegd op 31-7-25)
- [8] 16.Klimaat-effectatlas, Stichting Climate Adaptation Services; via www.klimaat-effectatlas.nl
- [9] Zie: <https://www.huurcommissie.nl/actueel/nieuws/2024/08/21/warmteoverlast-in-de-woonruimte-hittewoningen> (geraadpleegd op 31 juli 2025)
- [10] Valk, H.J.J. ir., T.G. Haytink MSc & J. Kaspers MSc; Klimaatadaptatie verduurzaming gebouwde omgeving; RVO 2025 via www.topsectorenenergie.nl

CO₂-METINGEN BRUIKBAAR ALTERNATIEF VOOR LUCHTDEBIETMETINGEN?

Voor het onderzoeksprogramma P3Venti [1] moet in ruim 60 sportgebouwen het ventilatiedebiet worden vastgesteld. Meten van het ventilatiedebiet is in de praktijk regelmatig uitdagend vanwege de bereikbaarheid van toe- en of afvoerpunten in hoge ruimtes en het niet naadloos aansluiten van ventilatiedebietmeters op roosteromkaderingen. Gezocht is naar een eenvoudig alternatief. Vierdejaars bouwkundestudenten van Saxion voerden een praktijkonderzoek uit naar de betrouwbaarheid van het ventilatiedebiet volgens de CO₂-decaymethode [2]. In ruimtes met balansventilatie verschilt het ventilatiedebiet tussen de CO₂-decaymethode en ventilatiedebietmetingen 1-30%. Dit artikel gaat in op een verscheidenheid aan factoren bij beoordeling van de bruikbaarheid van ventilatievoud (ACH) volgens de CO₂-decaymethode.



Ir. A.M.S. (Annemarie) Weersink, Lectoraat Sustainable Building Technology Saxion, Enschede



Ir. F.G.H. (Frans) Koene, Energy&Comfort Systems TNO, Delft



Dr. Ir. C. (Christian) Struck, Lectoraat Sustainable Building Technology Saxion, Enschede

P3VENTI

Het onderzoeksprogramma P3Venti “Programma Pandemisch Paraat” gecoördineerd door TNO en gefinancierd door het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS) is erop gericht te onderzoeken hoe ventilatie kan bijdragen aan het inperken van het door de lucht verspreiden van virussen. Het onderzoek moet leiden tot adviezen voor overheid en de praktijk gericht op beperking van het risico op aerosole virusoverdracht bij toekomstige viruspandemieën. Programmalijn IV van P3Venti is gericht op het in beeld brengen van huidige ventilatiesystemen, in onder meer instellingen voor de langdurige zorg en sportgebouwen. Het onderzoek wordt geleid door TNO. Het lectoraat Sustainable Building Technology (SBT) van Saxion voert de inventarisaties en analyses uit, waarbij ook studenten betrokken worden. Het onderzoek in de sport [2,3] beperkt zich tot fysio-fitness-ruimtes, yogaruimtes en kleedkamers van zwembaden.

EENVOUDIG ALTERNATIEF GEZOCHT

Voor het P3Venti onderzoek [1] moet voor ruim 60 sportgebouwen in beeld worden gebracht hoeveel ventilatie er in ruimtes is. Het gaat om een quick-scan, waarbij per gebouw beperkte tijd beschikbaar is voor uitvoering van het onderzoek. Omdat het uitvoeren van ventilatiedebiet-

metingen per rooster de nodige uitdagingen met zich mee kan brengen in specifieke situaties, is gezocht naar een alternatief, dat een redelijke indicatie van de ventilatiehoeveelheid kan geven [4,5]. Afwijkingen tot 20% worden voor nagestreefde onderzoeksdoelen toelaatbaar geacht.

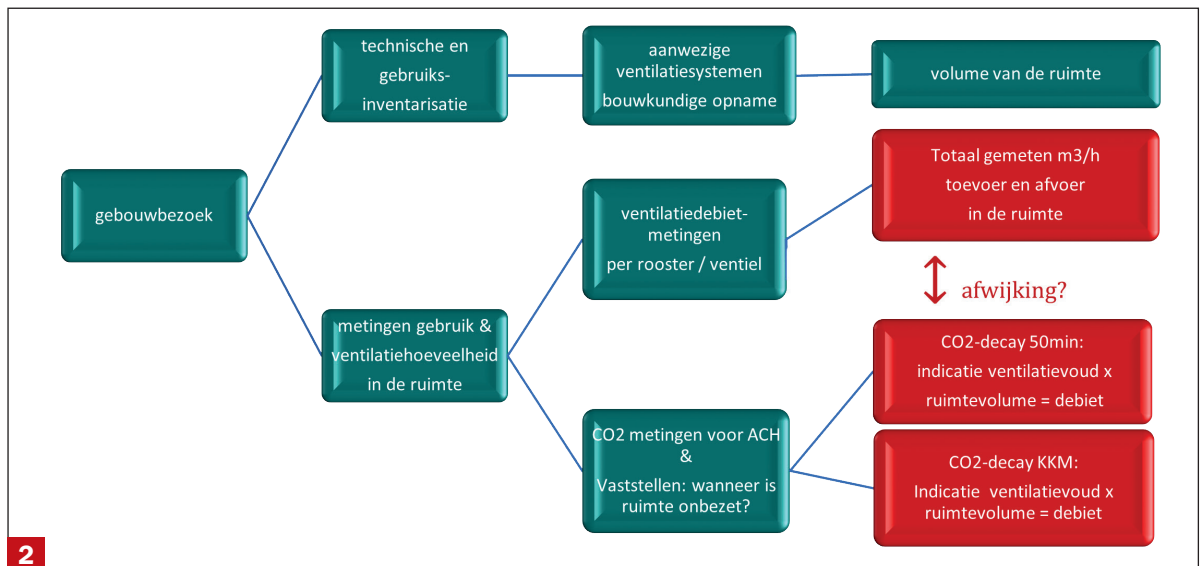
De studentengroep D.Chamoun, A.Ender, E.Lahdo en A.Nadirian ging hiermee aan de slag, begeleid door het lectoraat SBT. Zij voerden enkele inventarisaties uit, aangevuld met eerdere onderzoeksresultaten van P3Venti en gebruikten analysemodellen die SBT/TNO ontwikkelden in het kader van P3Venti.

Indicatie van het ventilatievoud in een ruimte via de CO₂-decaymethode

CO₂ komt in relatief lage concentraties in de buitenlucht voor, maar in meer dan 100x hogere concentraties in de uitgedaemde lucht van de mens. Daarom kan CO₂ die door aanwezigen wordt uitgedaemd dienen als “tracergas” om te bepalen hoeveel er wordt geventileerd met buitenlucht [4]. Nadat alle aanwezige mensen de ruimte hebben verlaten, zoals na afloop van een les, als er collectieve lunchpauze is van therapeuten, of na sluitingstijd, is er geen CO₂-productie (G) meer en geldt $G(t) = 0$. Van dit gegeven maakt de CO₂-decaymethode gebruik. Omdat het uitgangs-



De vier bouwkundestudenten Amir Nadirian, Elias Lahdo, Alican Ender en Debora Chamoun van Saxion die hun praktijkgericht onderzoek uitvoerden naar de betrouwbaarheid van het ventilatiedebiet volgens de CO₂-decaymethode. Studenten: Amir Nadirian, Elias Lahdo, Alican Ender en Debora Chamoun



2

Onderzoeksplan van gebouwbezoek t/m vergelijking gemeten ventilatie-debiet in m³/h en ventilatie-debiet bepaald op basis van CO₂-decaymethoden (twee sporen)

punt $G = 0$ in het onderzoek nooit met 100% zekerheid kon worden vastgesteld, zijn de decaybepalingen op meerdere momenten tijdens de meetweek herhaald en worden afwijkende waarden uitgesloten. Ook geldt bij de decay-methode de voorwaarde dat de hoeveelheid ventilatielucht constant is [4]. In de ruimte neemt de CO₂-concentratie vanaf dat moment door ventilatie met buitenlucht af. Onder de aanname dat de buitenlucht ideaal mengt met de lucht in de ruimte, zal – bij constant ventilatie-debiet – de CO₂-concentratie exponentieel afnemen met de tijd. Hoe meer wordt geventileerd, hoe sterker de afname van de CO₂-concentratie in de tijd. Het verloop van de afname van de CO₂-concentratie is een maat voor het ventilatievoud (ACH) [4], die is te berekenen met formule (1). Daarbij is $C(0)$ de CO₂-concentratie op een tijdstip na het stoppen van de CO₂-productie is en $C(t)$ op een wat later tijdstip onder diezelfde omstandigheden, waarbij het niveau C_e nog niet is bereikt. Uit het berekende ventilatievoud ACH en het ruimtevolumen is met formule (2) het ventilatie-debiet Q te berekenen. De basis hiervoor is $C(t) = C(0) \cdot e^{-(Q/V) \cdot \Delta t}$, waarbij Q/V het ventilatievoud ACH is.

$$ACH = -\frac{1}{\Delta t} \cdot \ln \left(\frac{C(t) - C_e}{C(0) - C_e} \right) \quad (1)$$

$$Q = ACH \cdot V \quad (2)$$

$$C(t) = C_e + (C(0) - C_e) e^{-ACH \cdot t} \quad (3)$$

Met:

ACH = ventilatievoud [h⁻¹]

C_e = CO₂-concentratie buiten [ppm]

$C(0)$ = CO₂-concentratie op tijdstip $t = 0$ [ppm]

$C(t)$ = CO₂-concentratie op tijdstip t [ppm]

Q = ventilatie-debiet [m³/h]

V = ruimtevolumen [m³]

Δt = tijdsverschil tussen $C(t)$ en $C(0)$ [h]

ONDERZOEK

Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag is of, en zo ja wanneer, de CO₂-decaymethode een voldoende betrouwbaar alternatief kan

zijn voor ventilatie-debietmetingen bij de P3Venti-inventarisaties voor sportgebouwen. De uitkomst wordt voor P3Venti-doelinden als voldoende betrouwbaar geacht met afwijkingen van maximaal 20% ten opzichte van de ventilatie-debietmetingen met een balometer ("flowfinder").

Onderzoeksplan

Het onderzoek beperkt zich tot 18 gebouwen die ook in breder perspectief worden onderzocht in P3Venti [3]. De onderzoeksplan is schematisch weergegeven in figuur 2.

De ventilatiesystemen en het gebruik daarvan worden op locatie geïnventariseerd op basis van ontwikkelde taxonomieën van TNO [5]. Tijdens de inventarisaties vinden balometingen plaats met een DIFF Automatic Debietmeter met nuldrukcompensatie [kader 1, figuur 3] met een nauwkeurigheid $\pm 3\%$ van de aflezing ± 1 m³/h (opgave fabrikant). Met een interval van vijf minuten worden een weeklang CO₂-metingen verricht met een AirTeq binnenklimaatmonitor. De monitor wordt in het vertrek op ruime afstand van luchttoevoeropeningen geplaatst. Ruimteafmetingen worden in kaart gebracht, waaruit het ruimtevolumen wordt bepaald.

Na een week worden de opgeslagen CO₂-meetresultaten uitgelezen. Uit informatie over het gebruik van de ruimte en het CO₂-verloop wordt herleid welke tijdsperiodes met forse CO₂-afname naar verwachting bruikbaar zijn ter bepaling van de ACH. Het gaat om CO₂-decayperiodes waarbij de kans op aanwezigheid van bezoekers laag is. Bijvoorbeeld buiten tijden dat er lessen zijn gepland, of bij daluren (lunchpauze, avondeten, voor en na sluitingstijd, e.d.). Ook moet het ventilatiesysteem in gebruik zijn in die decayperiode. Vervolgens wordt met formule (3) de ACH vastgesteld voor één of meerdere decay-trajecten. Dat gebeurt via twee sporen.

Decay-analysespoor 1 (ACH bij $\Delta t = 50$ minuten)

Uit CO₂-decay spoor 1 volgt een indicatieve ACH waarde voor elke decayperiode van tenminste 50 minuten binnen de meetweek, met $\Delta t = 50$ minuten als uitgangspunt. Spoor 1 start met het identificeren van alle CO₂-toppen die worden opgevolgd door een decay-periode. De ACH wordt

ingeschat voor decayperiodes van $\Delta t = 50$ minuten. $C(0)$ is daarbij de CO_2 -concentratie die minimaal 10 minuten na aanvang van een decay-periode optreedt, dus korte tijd nadat de sporters de ruimte hebben verlaten en de CO_2 zich verder in de lucht heeft vermengd. $C(t)$, het tweede punt binnen de decayperiode (formule 1) is 50 minuten na $C(0)$, ofwel $C(50/60)$ met t in uren. Een indicatie van het ventilatievoud ACH per decayperiode volgt uit formule (1) met $\Delta t = 50/60\text{h}$, $C(0)$, $C(50/60)$ en C_e ca. 420 ppm. Die ACH-waarde wordt gebruikt voor een prognose (formule 3) van het verloop van de CO_2 -concentratie in de decay-situatie met $G = 0$.

Overlappen de geprognosticeerde CO_2 -lijn en het werkelijke CO_2 -verloop elkaar en is $G = 0$ aannemelijk, dan is de geselecteerde periode potentieel bruikbaar voor bepaling van de ACH op basis van het theoretisch model. Door de berekende ACH-waarden over alle decayperiodes in beeld te brengen van 0-24h (figuur 5) wordt een beeld verkregen over het gemiddelde en de spreiding van de ACH-waarden (bandbreedte) in de meetperiode. Daarbij moet worden afgewogen of de casus/periode wel/niet aan kritische beoordelingsaspecten voldoet, zoals geen CO_2 -productie ($G = 0$), redelijk gelijkmatige verdeling van de CO_2 -concentratie in de ruimte (goede doorspoeling, invloed van natuurlijke ventilatie), geen CO_2 -meting in de luchttoevoerstroom, een constant ventilatiedebiet, geen invloed van omringende ruimtes en representatieve meetpositie en beoordelingsperiode.

Spoor 1 geeft als eindresultaat een gemiddelde en spreiding van de bepaalde ACH-waarden op verschillende momenten van de week en de dag volgens de decaymethode. Soms is er in een periode weinig overlap tussen het theoretische en werkelijke CO_2 -verloop, bijv. na afloop van een les. Daarvoor zijn verschillende verklaringen plausibel, zoals geen homogene verdeling van de CO_2 -concentratie, nog aanwezige mensen, variabele ventilatiehoeveelheden en verstorende invloeden zoals het openen van ramen of deuren. Dit zijn geen representatieve beoordelingsperiodes.

Decay-analysespoor 2 (KKM)

CO_2 -decay analysespoor 2 doet in essentie hetzelfde als spoor 1, maar waarbij de ACH-waarde nauwkeuriger wordt ingeschat volgens de kleinste kwadratenmethode (KKM). Ook hier zijn de CO_2 -meetdata in een decayperiode na afloop van een activiteit het uitgangspunt. Via de KKM wordt vastgesteld welke ACH tot de geringste afwijking leidt ten opzichte van het werkelijke CO_2 -verloop. Vermenigvuldiging van die ACH-waarde met het ruimtevolumen levert de indicatie van het ventilatiedebiet in de ruimte.

VOORBEELD ANALYSE GEBOUW

De aanpak wordt aan de hand van één voorbeeldgebouw uitgelegd (tabel 1, figuur 4). De resultaten van alle 18 gebouwen staan in tabel 2.

Het voorbeeldgebouw uit 2009 heeft een yogaruimte met een vloeroppervlakte van 53,6 m² BVO en een volume van 160,8 m³. Gedurende een week zijn CO_2 -metingen uitgevoerd in de ruimte. De CO_2 -metingen tonen aan dat er in de meetweek weinig lessen overdag zijn, maar vooral in de avond. De ruimte heeft ventilatiesysteem D, met



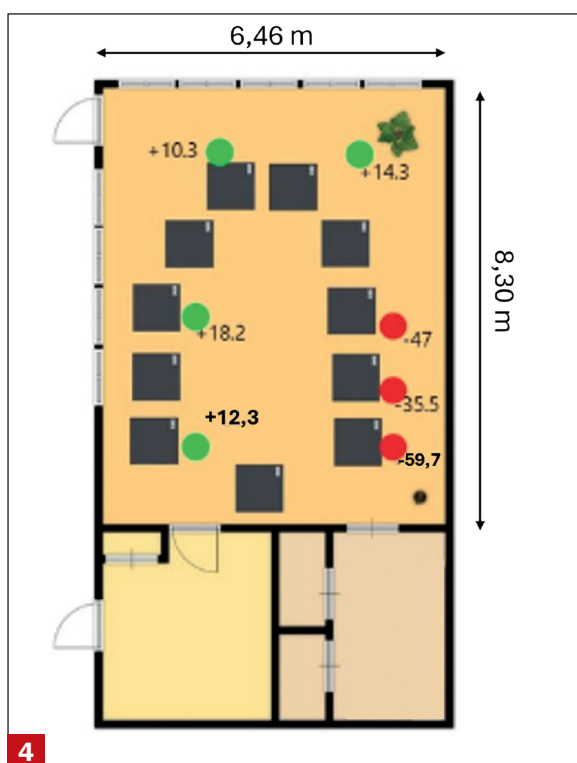
Ventilatiedebietmetingen met een balometer gebaseerd op nuldrukcompensatie

Tabel 1 Kenmerken van het voorbeeldgebouw (gebouw 13 in tabel 2)

Voorbeeldgebouw	
Bouwjaar	2009
BVO	53,6 m ²
Volume	160,8 m ³
Bezetting (typisch)	8 personen
Type ventilatiesysteem	Systeem D (balansventilatie)
Totaal toevoer stand 1 (nachtstand)	Stand 1: 55 m ³ /h
Totaal afvoer stand 1 (nachtstand)	Stand 1: 141 m ³ /h
Resultaten: CO ₂ -decaymethode (50 minuten; 5 decayperiodes) CO ₂ -decaymethode (KKM)	Spoor 1: ACH = 0,95 h ⁻¹ Spoor 2: ACH = 0,88 h ⁻¹

mechanische toe- en afvoerventielen in het plafond en ventilatiespleten in de gang en bij de deur. Het ventilatiesysteem heeft drie standen. Na afloop van de lessen is de ventilatiestand 1.

Resultaten van de balometingen stand 1:
De totale mechanische luchttoevoer in de ruimte bij stand 1: 55 m³/h
De totale mechanische luchtafvoer in de ruimte bij stand 1: -141 m³/h



4

Schematische weergave plattegrond met ventilatievoorzieningen en ventilatiehoeveelheden in m³/h in voorbeeldgebouw (rood: positie luchtafvoerventilen, groen: positie luchttoevoerventilen in plafond, zwart: opstelling yogadocent en cursisten)

De mechanische luchttoevoer is dus 86 m³/h lager dan de mechanische luchtafvoer. Het mechanische ventilatiesysteem D is dus niet in balans. Dit wordt gecompenseerd door natuurlijke ventilatie-openingen.

Uit het verloop van de CO₂-concentraties na afloop van de lessen is op basis van de CO₂-decaymethode het ventilatiedebiet uit de ACH bepaald volgens de twee sporen (figuren 4 en 5).

CO₂-decaymethode spoor 1 (50 min): ACH 0,95 h⁻¹ x 160,8 m³ = 152 m³/h.

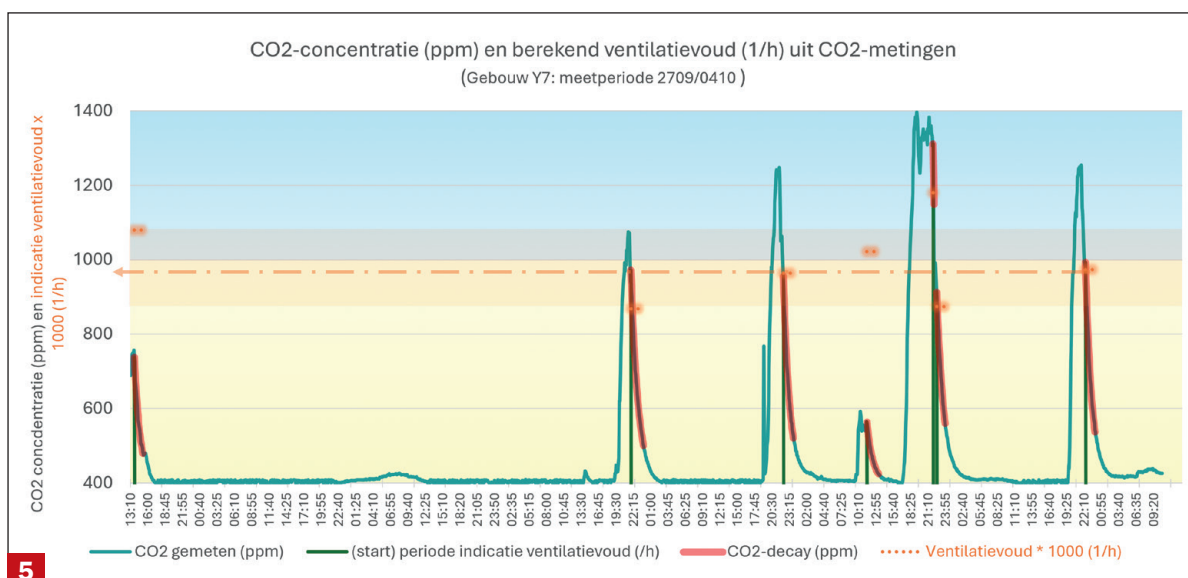
CO₂-decaymethode spoor 2 (KKM): ACH 0,88 h⁻¹ x 160,8 m³ = 140 m³/h.

De afwijking van het ventilatiedebiet volgens de twee CO₂-decaymethodes ten opzichte van het gemeten lucht-afvoerdebiet is 8% (spoor 1) en 1% (spoor 2). De conclusie is voor dit gebouw dat de CO₂-decaymetingen binnen de gestelde toegestane marge van 20% nauwkeurig het ventilatiedebiet in stand 1 voorspellen. Geconstateerd is een forse disbalans tussen de luchttoevoer en luchtafvoer. Dit zou met alleen CO₂-decaybepalingen nooit zijn achterhaald. Dit geeft de meerwaarde van balometingen aan. In de praktijk wordt stand 1 tijdens de les weinig gebruikt, maar wel na de les. Stand 2 met een hoger debiet, wordt regelmatig tijdens de les gebruikt, maar stand 3, met het hoogste debiet, wordt slechts incidenteel gebruikt vanwege geluidsoverlast. Het ventilatievoud is echter alleen te bepalen als er geen mensen meer in de ruimte zijn, en dan kan het ventilatiedebiet dat met de decaymethode is bepaald afwijken ten opzichte van dat in de lesperiode. Dit is een aandachtspunt.

INZICHTEN OP BASIS VAN 18 GEBOUWEN

Overzicht resultaten

Ventilatiegegevens van 18 inventarisaties van sportgebouwen uit het P3Venti onderzoek zijn gebruikt voor de vergelijkende studie. In slechts 10 van de 18 gebouwen was het mogelijk om gemeten ventilatiedebieten te vergelijken met uitkomsten van de CO₂-decaymethode. De resultaten zijn weergegeven in tabel 2. Rekening houdend met het maatgevende toe- of afvoerdebiet in geval van disbalans, bedraagt de gemiddelde afwijking 10%. In slechts twee van de tien gebouwen waar de vergelijking mogelijk was, is de afwijking meer dan de maximum toelaatbare afwijking van 20%. In 5 van de resterende 8 gebouwen blijkt de afwijking t.o.v. de CO₂-decaymethode groter te worden als ook het verschil in gemeten toe- en afvoerdebiet verhoudingsgewijs toeneemt. Bij de overige 3 gebouwen is er een sterke overeenkomst met de luchttoevoer of de lucht-



5

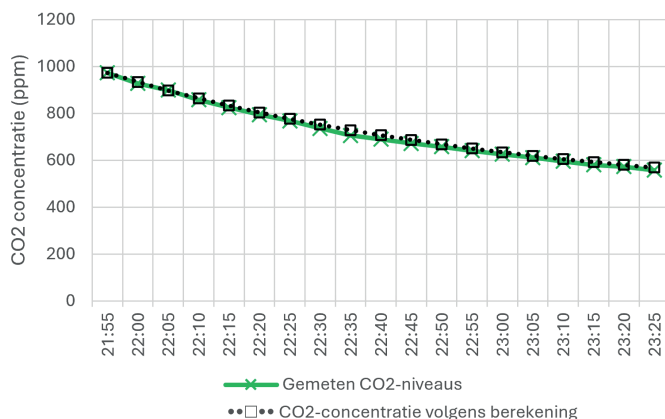
Verloop van de CO₂-concentratie in het voorbeeldgebouw gedurende de week van 2709 t/m 0410 2024 (groen) en het daaruit afgeleide ventilatievoud op basis van de CO₂-decaymethode (spoor 1) (oranje streeptjes)

Indicatie m^3/h op basis van CO_2 -decay uit meetdata

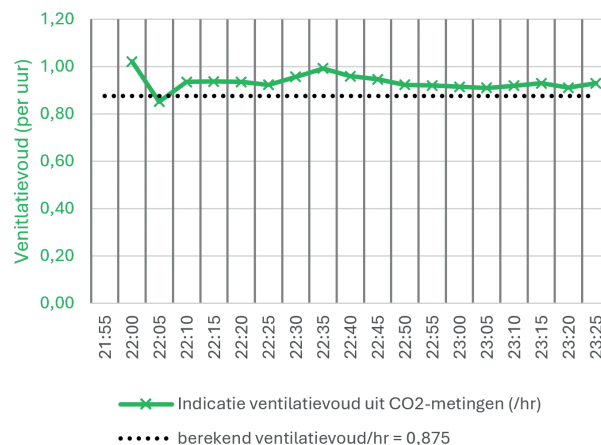
CO2 toevoerlucht ppm	420	m3/h schatting	ppm meting (t=0)
		140 KKM	972
tijdstap minuten	5	ruimtevolume (m3)	starttijdstip t=0
		160	21:55
		vent.voud (per uur)	
		0,88	

m3/h volgens balometer	
--- m3/h BALO gemeten	141 m3/h
progn-werk	progn:werk
-1 m3/h	99%

CO2 concentratie meting en berekening
t=21:55 (einde CO_2 -productie in de ruimte)



Indicatie ventilatievoud en ventilatiedebiet
op basis van metingen vanaf t=21:55



6

Het ventilatievoud dat is herleid op basis van de CO_2 -decaymethode spoor 2 en gebruikmaakt van de benaderingsmethode KKM. De KKM geeft als resultaat: 140 m^3/h ventilatiedebiet, gemeten is: 141 m^3/h

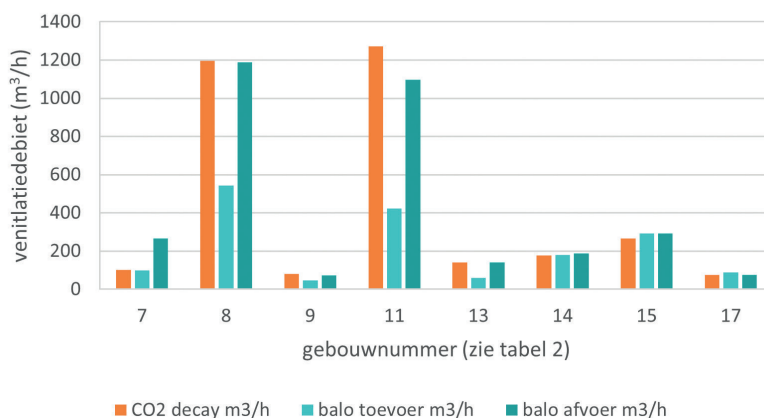
VENTILATIEDEBIETMETINGEN VIA NULDRUKCOMPENSATIE, DRUKVERSCHILMETING OF LUCHT-SNELHEIDSMETING

Balometers zijn luchtdebietmeters. Er zijn verschillende principes voor het bepalen van het ventilatiedebiet van lucht die van en naar kanalen en roosters stroomt. Drie principes worden veel toegepast ter bepaling van de luchttoe- of -afvoerhoeveelheden per rooster/ventiel.

Veel gebruikt worden elektronische debietmeters waarvan de werking is gebaseerd op anemometrie technologie of een (pitot-)drukverschilmeting. Ook zijn er luchtstroommeters waarvan het principe is gebaseerd op nuldrukcompensatie. Deze laatste zijn o.a. bekend onder de naam "Flowfinder".

Tenslotte zijn er de conussen waarin een anemometer wordt geplaatst. De afgelezen luchtsnelheid is daarbij de maat voor de in- of uitstromende luchthoeveelheid.

Vergelijking ventilatiedebiet volgens CO_2 -decay en balometingen mechanische luchttoe- en -afvoer



7

Vergelijking van het ventilatiedebiet volgens de CO_2 -decaymethode en balometingen in 8 gebouwen. In geval van disbalans lijkt of de mechanische toevoer of de mechanische afvoer maatgevend.

afvoer (afwijking slechts 1%). Op basis daarvan is te concluderen dat de methode een bruikbaar alternatief kan zijn om een indicatie te krijgen van de ACH (figuur 7), maar dat sterke disbalans in toe- en afvoer een aandachtspunt is. Een gevoeligheidsanalyse was geen onderdeel van het onderzoek, maar is wel aan te bevelen als vervolgonderzoek om meer specifiek de bruikbaarheid van de methode te kunnen duiden.

Randvoorwaarden

Er zijn veel randvoorwaarden waarmee rekening moet worden gehouden om te bepalen of de CO_2 -decaymethode

als redelijk alternatief bruikbaar is ter indicatie van het ventilatiedebiet.

Het onderzoek heeft verschillende inzichten opgeleverd wanneer CO_2 -metingen meer of minder geschikt zijn voor het bepalen van de ACH in een ruimte op basis van de CO_2 -decaymethode, zoals de volgende:

Vergelijkingen tussen balometingen en CO_2 -decayresultaten zijn niet te maken bij gebouwen met ventilatietype A (natuurlijke ventilatie), als het aandeel natuurlijke toe- en afvoer domineert boven de mechanische ventilatie, zoals bij spui-ventilatie via te openen ramen of dwarsventilatie

via dakramen, of als de CO₂ niet homogeen in de ruimte is verspreid.

Er zijn reële risico's dat de positie van één CO₂-meter in de ruimte geen representatieve gemiddelde CO₂-concentratie weergeeft ter bepaling van de ACH, vanwege te verwachten CO₂-concentratieverschillen in de ruimte [3]. Dat is o.a. als de lucht niet homogeen is vermengd (bijv. bij natuurlijke ventilatie), bij beperkte luchtwisselingen of 'dode' hoeken of gebieden die slecht worden doorspoeld en bij kortsluiting van toe/afvoer.

Bij sterke onbalans tussen mechanische luchttoe- en -afvoer is de vraag hoeveel (verse) lucht in de ruimte wordt toe-/afgevoerd en waar de lucht vandaan komt. Welke invloed heeft het openen en sluiten van ramen en (binnen)deuren bijvoorbeeld op de luchtaan- en afvoerhoeveelheden? Bij onderdruk kan (vervuilde) lucht uit omringende ruimtes komen of via ramen/deuren en andere openingen in de gebouwschil van buiten worden aangezogen. Dan zal vaak meer overeenkomst met de CO₂-decay zijn te verwachten dan bij aanzuig van lucht uit nevenliggende ruimtes met hogere CO₂-concentraties.

Bij inductieventilatie is de gemeten lucht volumestroom uit het rooster niet gelijk aan de verse luchttoevoerhoeveelheid.

Bij CO₂-sturing op het ventilatiesysteem of een variabel volumedebiet levert bepaling van de ACH op basis van de CO₂-decay slechts een gemiddelde ACH-waarde tussen het dan beschouwde begin- en eindpunt, die niet te vergelijken is met één momentane balometing.

Regelmatig weten de therapeuten/instructeurs niet hoe het ventilatiesysteem is geregeld. Wordt de ventilatie na afloop van de lessen uitgeschakeld of in een andere stand gezet, dan is de ACH volgens de CO₂-decaymethode niet representatief voor het ventilatievoud tijdens de lessen. Bij volledige uitschakeling van het ventilatiesysteem na sluitingstijd levert de CO₂-decay in nachtperiodes inzicht in de ongecontroleerde luchttoevoer via naden en kieren in de gebouwschil, in plaats van het ventilatievoud. In voorkomende gevallen met een handschakeling kan instructeurs verzocht worden tijdelijk de ventilatiestand niet aan te passen of de ventilatiestand te registreren. Meerdere decay-periodes analyseren is aan te raden.

Tabel 2 Kenmerken en resultaten van de ventilatiesystemen in de 18 gebouwen en resultaten van de volumedebieten volgens balometingen en de CO₂-decay bepalingsmethode.

Systeem A=natuurlijke ventilatie Systeem B=mechanische toevoer Systeem C=mechanische afzuiging Systeem D=balansventilatie

	Systeem	Volume	ACH	Debiet vlg. CO ₂ -decay methode	Debiet balometer toevoer	Debiet balometer afvoer	Debiet CO ₂ -decay : Debiet balometer	Bruikbaarheid CO ₂ decay-methode	opmerkingen
	(+ airco)	m ³	h ⁻¹	m ³ /h	balo m ³ /h	balo m ³ /h	x 100%		
1	A	232	0,3	77			nvt	niet geschikt	type A (geen balometingen)
2	A+	122	0,2	20			nvt	niet geschikt	type A (geen balometingen)
3	C	405	0,2	93		136	-32%	twijfelachtig	alleen bruikbaar als toevoer=mech. afvoer
4	C	263	0,3	82		24	nvt	niet geschikt	natuurlijke ventilatie dominant
5	C	278	0,3	86		45	nvt	niet geschikt	natuurlijke ventilatie dominant
6	C+	378	0,2	68	142	142	nvt	niet geschikt	uitschakeling in avondperiode
7	D	160	0,6	101	100	267	1%	ja	
8	D	543	2,2	1195	543	1187	1%	ja	
9	D	201	0,4	81	46	73	11%	ja	
10	D	201	0,4	81	88	140	nvt	niet geschikt	ventilatorstand onbekend
11	D	424	3,0	1272	424	1096	16%	ja	
12	D	198	0,9	180	146	75	23%	afwijking >20%	
13	D	161	0,9	140	59	141	-1%	ja	
14	D	319	0,6	178	180	187	-5%	ja	
15	D	59	4,5	267	292	292	-9%	ja	
16	D	142	4,0	574	1049	190	nvt	niet geschikt	CO ₂ -sturing op ventilatiesysteem
17	D+	139	0,6	76	88	75	-14%	twijfelachtig	deur naar gang regelmatig open
18	D+	354	0,3	110		60-100-135 L - M - H	Nvt	niet geschikt	ventilatorstand onbekend door regeling (L=laag M=midden H=hoog)

AANDACHTSPUNTEN BIJ DE UITVOERING

Bij debietmetingen met een conus/anemometer of een balometer moeten de conus of het opzetstuk van de balometer naadloos aansluiten op de ondergrond. Is dat niet het geval dan kan dit leiden tot valse luchtaanzuiging, en daarmee geen correcte meting. Openingen kunnen ontstaan door bijvoorbeeld oneffenheden in de ondergrond, het ontbreken van aansluitrubber op de conus/opzetstuk of onvoldoende ruimte voor plaatsing van meetinstrumenten rondom het rooster, bijvoorbeeld nabij hoeken van wanden/plafonds.

Omdat de luchtsnelheid door roosters varieert, is het al snel nodig om een aantal minuten te meten. Het naadloos aandrukken van de conus/het opzetstuk tegen plafonds of wanden vergt de nodige kracht en uithoudingsvermogen. Als de roosters zich hoog in het plafond bevinden wordt op een ladder deze uitdaging nog groter. Ronde kanalen leveren bij deze metingen uiteraard ook aansluitproblemen. Ook afmetingen van rechthoekige kanalen kunnen problemen opleveren als roosters breder zijn, of als kanalen smaller zijn, dan de afmetingen van conus of opzetstuk. Dan zijn additionele luchtdichte afsluitingen en verbindingen nodig, te realiseren met folie, platen, tape en rubber, om voor een correcte meting een luchtdichte aansluiting tussen ondergrond en meter te realiseren.

te voeren en daarnaast komen frequent praktijksituaties voor waarbij valt te betwijfelen of wordt voldaan aan het uitgangspunt bij de CO₂-decaymethode van een homogene CO₂-verdeling.

In slechts 10 van de 18 beschouwde gebouwen bleek een vergelijking mogelijk tussen balometingen en het ventilatiedebiet volgens de CO₂-decaymethode, waarvan 9 met balansventilatie. De gemiddelde procentuele afwijking is kleiner dan 12%, met 32% als maximumafwijking. In slechts 2 van die 10 gebouwen is de afwijking groter dan 20%. Voor volledig natuurlijk geventileerde gebouwen zijn balometingen niet geschikt, maar is homogeniteit een aandachtspunt voor CO₂-decayanalyse [3].

Op basis van de resultaten is te concluderen dat onder voorwaarden de CO₂-decay een geschikt alternatief kan zijn voor de bepaling van het ventilatiedebiet. Dit artikel geeft een opsomming van aandachtspunten die zijn geïdentificeerd bij gebruik van de CO₂-decaymethode ter indicatie van de ACH. Verdiepend onderzoek inclusief een gevoeligheidsanalyse wordt aanbevolen om beter grip te kunnen krijgen op de invloed van de randcondities op de betrouwbaarheid van de CO₂-decaymethode en daarmee de inzetbaarheid van die methode als alternatief voor balometingen. ■

BRONNEN

- [1] www.p3venti.nl
- [2] Chamoun, D., Ender A., Lahdo E., Nadirian A., 2024, Indicatie ventilatiekwaliteit uit CO₂-metingen in maatschappelijk urgente sportgebouwen, Praktijkgericht onderzoek opleiding Bouwkunde Hogeschool Saxion Enschede
- [3] Weersink, A.M.S., Struck C., Koene, F.G.H., 2025, P3Venti rapportage Saxion Lectoraat SBT/TNO, Technische en gebruiksinventarisatie ventilatiesystemen in bestaande maatschappelijk urgente sportgebouwen, op basis van een taxonomie en vragenlijst
- [4] Clinchard S., Haverinen-Shaughnessy U., Shaughnessy R., 2025, Assessing ventilation performance in schools using continuous CO₂ monitoring: Insights from renovation projects, Building and Environment, Volume 269
- [5] Zhang, D., Ding, E., Bluyssen, P.M., 2022, Guidance to assess ventilation performance of a classroom based on CO₂ monitoring. Indoor and Built Environment, 31(4), 1107-1126
- [6] McWilliams, J., 2003, Review of airflow measurement techniques, IEA Energy Conservation in Buildings & Community Systems Programme – Annex V Air Infiltration and Ventilation Centre
- [7] Hall, J., 2018, AABC Engineering Guide, Proper Use of Airflow/Air Velocity Measuring Instrumentation

In ruimtes waar de deur naar de gang vaak openstaat, is luchtuitwisseling tussen vertrekken mogelijk. Dit beïnvloedt het verloop van de CO₂-concentratie en de daaruit volgende ACH. Bij gebouw 17 (tabel 2) is in een gebruikersinterview aangegeven dat de binnendeur regelmatig openstaat. De meetresultaten wijzen ook in die richting. Daar is het ventilatievoud volgens de CO₂-decaymethode 14% lager dan volgt uit het gemeten debiet/ruimtevolume.

Als geen lessen of trainingen worden gegeven met duidelijke begin- en eindtijden, is het onzeker of wel/niet personen aanwezig zijn, immers er is geen aanwezigheidsregistratie. De uitkomst van de ACH op basis van de CO₂-decay is dan onzekerder. De spreiding van de ACH in vergelijkbare tijdsperiodes geeft een mogelijke indicatie of de geprognosticeerde ACH-waarde al dan niet bruikbaar is voor het onderzoek.

Het bepalen van de ACH volgens de CO₂-decaymethode met $t = 0$ bij de maximum CO₂-concentratie aan het eind van de les, wordt afgeraden. Rond die periode treden veel verstoringen op, zoals deuren die open staan en mensen die de ruimte verlaten en is er geen sprake van een homogene situatie. De analyses laten stabielere waarden van de ACH zien met $t = 0$ ca. 10 minuten na afloop van de les.

CONCLUSIES

In het kader van P3Venti is onderzocht in hoeverre de CO₂-decaymethode als eenvoudig alternatief kan worden ingezet om een indicatie te krijgen van het ventilatievoud en ventilatiedebiet in sportgebouwen met mechanische ventilatie. In deze gebouwen is het regelmatig uitdagend om ventilatiedebietmetingen aan roosters uit

KLIMAATBESTENDIGHEID: HITTE ONDER DE LOOP

KNMI KLIMAATSCENARIO'S IN RELATIE TOT HET RISICO OP OVERVERHITTING VAN WONINGEN

Dat het in Nederland warmer wordt is al jaren bekend maar met dank aan klimaatscenario's uit 2023 van het KNMI [1] is het nu ook duidelijk met hoeveel graden het warmer kan/gaat worden. Nu de opwarming van het Nederlandse klimaat in beeld is gebracht, kwam de vraag op wat dit betekent voor het binnenklimaat van woningen en voor de adviezen om het risico op oververhitting te voorkomen. Deze vraag diende als uitgangspunt voor afstudeeronderzoek dat door Ruben Stoopendaal als student van de Haagse Hogeschool namens Cauberg Huygen is uitgevoerd.



ing. R.F. (Ruben)
Stoopendaal, Cauberg
Huygen, Amsterdam

Het risico op oververhitting in nieuwbouwprojecten wordt getoetst aan de hand van TO-juli of de GTO-methode. Beide methodes maken gebruik van het NEN 5060:2018 [2] klimaatjaar om het binnenklimaat van een woning te bepalen. Het klimaatjaar is een representatief jaar waarin meerdere meteorologische gegevens zijn opgenomen op uurbasis. Echter, het klimaatjaar is opgebouwd uit een samenstelling van maanden uit de jaren 1996 tot en met 2015. Hierdoor wordt er onvoldoende rekening gehouden met het opwarmende klimaat. Toch wordt er advies gegeven voor de komende 50 tot 75 jaar (beredeneerd uit de MPG methode) met dit klimaat. Hierdoor sluit het huidige advies onvoldoende aan bij het toekomstige risico op oververhitting.

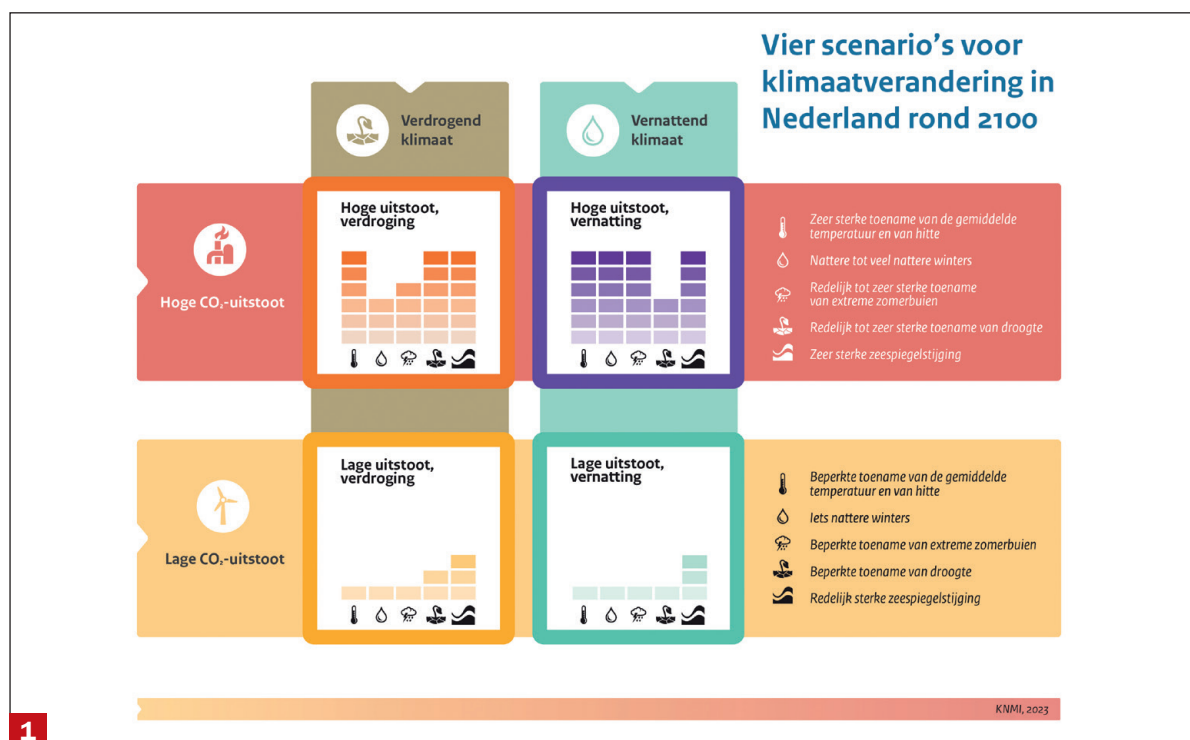
KNMI'23 KLIMAATJAREN

Achtergrond

In 2023 publiceerde het KNMI hun Klimaatscenario's voor het toekomstige Nederlandse klimaat [1]. Daarbij presen-

teerde het KNMI een hoog en laag uitstootscenario, gebaseerd op de uitstootscenario's van het IPCC. Het lage uitstootscenario is representatief voor een toekomstig klimaat als er wordt voldaan aan de afspraken van het Klimaat-akkoord van Parijs 2015. De hoge uitstootscenario laat zien wat de gevolgen zijn van het blijven uitstoten tot ongeveer 2080. Door onzekerheden of het Nederlandse klimaat in de toekomst droger of natter wordt heeft het KNMI nog een splitsing gemaakt in de scenario's. Dit resulteert in de vier klimaatscenario's die zijn gepresenteerd: hoge of lage CO₂-uitstoot met een verdrogend of vernattend klimaat.

Doordat in de bouwsector behoefte is aan klimaatgegevens die in de toekomst liggen, heeft het KNMI in opdracht van het RVO voor de Topsector Energie op verzoek van TKI Urban Energy in 2024 hun klimaatscenario's verder uitgewerkt tot referentieklimaatjaren [3].



De vier KNMI'23 Klimaatscenario's, het aantal blokjes staat voor de mate van klimaatverandering rond het jaar 2100 ten opzichte van 1991-2020 (bron: KNMI)

Deze klimaatjaren zijn in hetzelfde format gepresenteerd als dat van het huidige NEN 5060:2018 klimaatjaar, waardoor het eenvoudig toegepast kan worden in huidige softwareprogramma's en berekeningen.

Type klimaatjaren

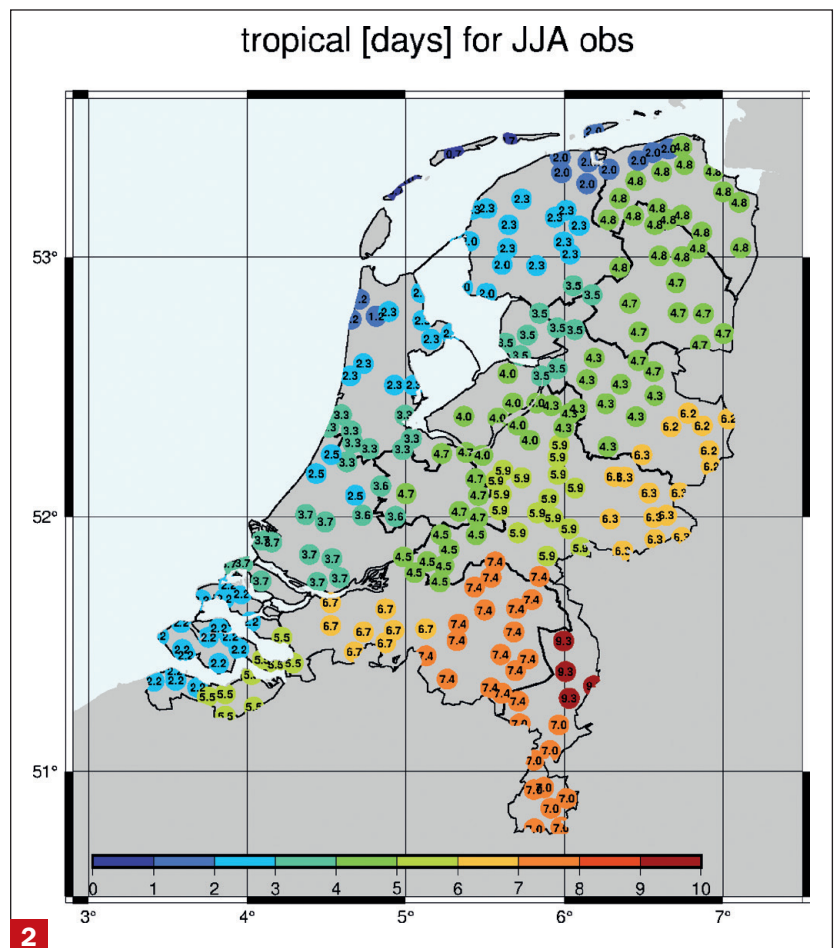
Het KNMI heeft in totaal drie sets van 80 klimaatjaren ontwikkeld die gebaseerd zijn op hun Klimaatscenario's. Een set voor de warmtevraag, een set voor de koudevraag en een gemiddelde set voor de energievraag. Deze 80 klimaatjaren zijn op te delen in 16 klimaatjaren voor vijf verschillende locaties in Nederland.

Uit een vooronderzoek van Weather impact [4] kwam naar voren dat in de huidige NEN 5060:2018 onvoldoende rekening wordt gehouden met lokale verschillen in klimaat. Het huidige klimaatjaar is gebaseerd op gegevens gemeten door het weerstation in De Bilt, maar dit klimaat verschilt met het klimaat in het kustgebied of bij de Duitse grensstreek. In figuur 2 zijn deze lokale verschillen in klimaat te zien aan de hand van het aantal tropische dagen in de maanden juni, juli en augustus. Waarbij het kustgebied koeler is dan De Bilt en het Duitse grensgebied warmer. Hierdoor zijn er aparte klimaatjaren ontwikkeld voor de gebieden rondom Alkmaar, Assen, De Bilt, Roermond en Zierikzee.

Voor elk van deze locaties zijn de volgende 16 klimaatjaren uitgewerkt:

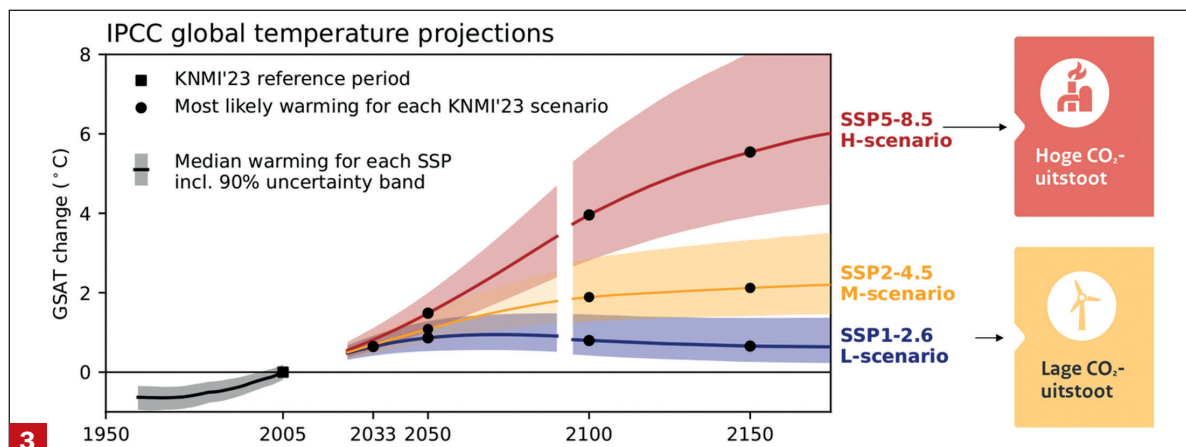
- 2033L
- 2050Hd;Hn;Md;Mn
- 2100Hd;Hn;Md;Mn;Ld;Ln
- 2150Hd;Hn;Md;Mn
- Referentie (1990-2020)

Het jaartal aan het begin geeft aan dat het gaat om het klimaat rond die tijd (het zichtjaar) en wordt opgevolgd door een scenario aanduiding. De eerste letter na het zichtjaar staat voor de CO₂ uitstootniveau, "H" voor hoog en "L" voor laag. De tweede letter staat voor een vernatend "n" of een verdrogend "d" klimaat. Naast de hoge en lage uitstootscenario's heeft het KNMI ook een matig CO₂ scenario uitgewerkt, aangeduid met een "M". Dit matige uitstootscenario is ook gebaseerd op de uitstootscenario's van het IPCC en ligt tussen het hoge en lage uitstootscenario's in. Het matige uitstootscenario was in de publica-



Aantal gemeten tropische dagen in de maanden juni-juli-augustus (bron: KNMI)

tie van de 2023 klimaatscenario's niet apart benoemd, maar opgenomen in het lage uitstootscenario. Zie figuur 3. In dezelfde figuur is ook te zien dat in het jaar 2033 het verschil tussen de uitstootscenario's nog niet zo groot is. Hierdoor is er maar één klimaatjaar voor dit zichtjaar. Aan de andere kant ontbreken er ook de lage uitstootscenario's voor de zichtjaren 2050 en 2150. Dit komt ook doordat de lage uitstootscenario's onderling weinig verschillen met elkaar over de jaren heen, waardoor ervoor gekozen is om alleen voor het zichtjaar 2100 de lage uitstootscenario's te realiseren. Het KNMI geeft hierbij aan dat de 2100Ld en 2100Ln dan ook maatgevend zijn voor de 2050 en 2150 zichtjaren. Het laatste klimaatjaar is een referentie jaar voor het huidige klimaat. Omdat de metho-



Veranderingen van temperatuur per KNMI scenario (bron: KNMI)

de waarmee de klimaatjaren van het KNMI tot stand zijn gekomen verschilt van die van NEN 5060:2018, kunnen de klimaatjaren van het KNMI niet direct met die van NEN 5060:2018 worden vergeleken.

Totstandkoming klimaatjaren

De methode waarop de klimaatjaren van de KNMI en NEN 5060:2018 tot stand zijn gekomen verschillen van elkaar. Het grootste verschil is dat het NEN 5060:2018 klimaatjaar is opgebouwd uit historische klimaatdata en de klimaatjaren van het KNMI uit gesimuleerde klimaatdata [3]. Voor het NEN 5060:2018 klimaatjaar is er gekeken naar de klimaatdata in de periode van 1995 tot en met 2015. Van al deze jaren is er per maand gekeken welke waarden in 5% en 1% van de gevallen overschreden worden [2]. Vervolgens zijn al deze maanden samengevoegd toe een samengesteld klimaatjaar. De reden achter de 5% en 1% is om een zeer warm respectievelijk warm klimaatjaar te ontwikkelen.

De klimaatjaren van het KNMI zijn tot stand gekomen door voor elke scenario en zichtjaar een set van 240 jaar te simuleren. Door bij elk van deze 240 jaar net iets andere uitgangspunten te nemen verschillen ze uiteindelijk van elkaar. Net als bij NEN 5060:2018 is er gekeken om een respectievelijk warm klimaatjaar te selecteren, echter is er niet gekeken naar een jaar met een 5% of 1% overschrijdingskans maar een van 10%. Daarnaast is er niet per maand gekeken maar per jaar. Het KNMI heeft dus uit de 240 jaren een klimaatjaar geselecteerd die maar in 10% van de gevallen overschreden werd.

BEREKENING

GTO-methode

Van de twee rekenmethodes die nu opgenomen zijn in het Bbl, TO-juli en GTO-methode [5], is de GTO-methode vele malen uitgebreider voor het berekenen van het risico op oververhitting. Daarom is er voor dit afstudeeronderzoek gekozen om het risico op oververhitting te berekenen aan de hand van de GTO-methode. De basis voor het bepalen van een temperatuuroverschrijding volgens de GTO-methode komt voort uit het behaaglijkheidsmodel van prof. P.O Fanger [6]. In zijn model beschrijft hij een formule, de Predicted Mean Vote (PMV), waarmee het thermische comfort van een mens berekend kan worden bij een bepaald klimaat. Verschillende PMV-klimaten zijn vervolgens in de praktijk nagebootst in gecontroleerde ruimtes, waarin mensen zijn gevraagd hun ervaring van het klimaat te beoordelen. Hierdoor heeft Fanger vast kunnen stellen welk percentage van de mensen ontevreden is met een bepaald PMV-klimaat. Deze groep noemt hij de “ontevredenen”. Vervolgens heeft hij een formule opgesteld die dit percentage van ontevredenen kan voorspellen, genaamd de Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD). De samenhang van de PMV en PPD definieert wat een (gewogen) temperatuuroverschrijding is. Bij een klimaat met een PMV van +0,5 is er sprake van een 10% ontevredenheid (PPD) en wordt er volgens de GTO-methode gesproken over een temperatuuroverschrijding. Hierbij dient het PPD percentage als wegingsfactor van 1,0. Dat wil zeggen dat het ene uur, met een PMV klimaat van 0,5, 1 keer meetelt. Wanneer het PMV stijgt, neemt ook het PPD en de wegingsfactor toe. In tabel 1 zijn de wegingsfactoren weergegeven in verhouding tot de PMV.

Tabel 1 Factor van het wegen van de overschrijdingsuren (bron: Van der Linden)

PMV	PPD	Weegfactor
0,5	10	1,0
0,7	15	1,5
1,0	26	2,6
1,5	51	5,1
2,0	77	7,7

Om een voorbeeld te geven hoe dit leidt tot een GTO-uur: Als in een ruimte gedurende een uur een temperatuur van 27,7 °C wordt gemeten, wat overeenkomt met een PMV van 0,7, telt dat ene overschrijdingsuur 1,5 keer mee. Dus in plaats van 1 TO-uur spreek je dan over 1,5 GTO-uren.

RVO referentie woningen

De GTO-methode berekent doormiddel van een gebouwssimulatie het binnenklimaat van een ruimte per uur voor een geheel jaar. Voor een GTO-berekening moeten daarvoor bouwkundige en installatietechnische eigenschappen gedefinieerd worden en dient er een 3D model gemaakt te worden van de woning. RVO heeft in 2017 nieuwbouw referentiewoningen samengesteld die representatief zijn voor verschillende woningtypes in Nederland [7]. Voor dit onderzoek is ervoor gekozen om de volgende woning types door te rekenen:

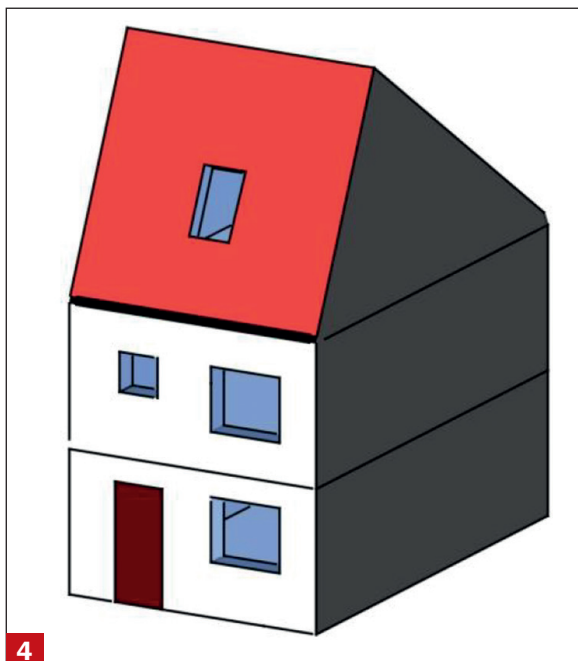
- Woning S tussen – rijwoning;
- Woongebouw M – portiekwoning;
- Combinatiegebouw L – galerijwoning.

Deze drie woningtypes bieden een goede doorsnede van de Nederlandse woningvoorraad en zal naar verwachting ook maatgevend zijn voor de aanstaande nieuwbouwopgave. Onderling verschillen de woningtypes genoeg van elkaar om apart meegenomen te worden in het onderzoek. De verschillen waar het voornamelijk om gaat zijn: het aantal geveldelen, de geveloriëntatie, omvang van de woning, aangrenzende ruimtes of woningen, gevelopeningen en overstekken.

Toepasbare voorzieningen ter bestrijding van warmte

In de handreiking ‘hitte in bestaande woningen 2.0’ [8] worden de voorzieningen opgesomd die effect hebben op het voorkomen van oververhitting. In tabel 2 staat een overzicht van deze voorzieningen en de effectiviteit van deze voorzieningen.

Door beperkingen in de berekening is het niet mogelijk om voorzieningen zoals “groen in de omgeving” en groene daken en gevels toe te passen. Het 's nachts en 's ochtends spuien wordt automatisch geregeld door het rekenprogramma, hierdoor is het niet mogelijk om een aparte regeling hiervoor te creëren. Het aanbrengen van overstekken en balkons is voor dit onderzoek ook buiten beschouwing gelaten, omdat dit veel impact kan hebben op andere toetsingskaders, zoals daglichttoetredingen en BENG.

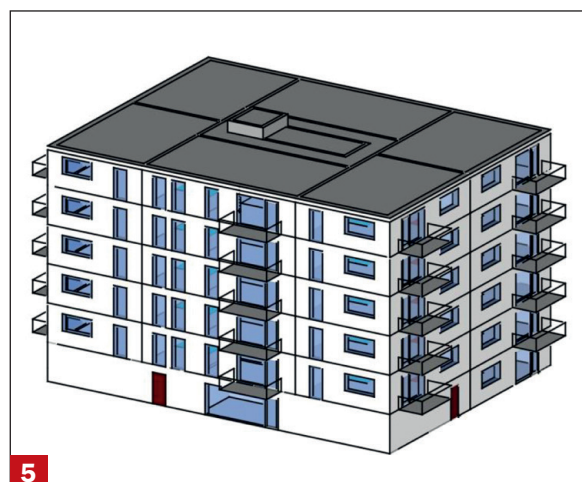


Voorbeeld van een Woning S tussen (bron: RVO)

De voorzieningen die wel toegepast zijn: zonwerende beglazing, buitenzonwering in de vorm van screens, voorwaardelijke nachtkoeling, actieve koeling of een combinatie hiervan. Door limitaties in de berekening is het niet mogelijk om zonneschermen en dergelijke door te rekenen naast screens. Onder voorwaardelijke nachtkoeling wordt verstaan: het nachtelijk koelen middels het ventilatiesysteem, door het ventilatiesysteem in de nacht of avond in de hoogstand te zetten. Het werkt volgens hetzelfde principe als het in de nacht een raam openzetten omdat het dan relatief koeler is. Deze voorziening werkt dan ook als extra maatregel. Indien deze voorzieningen onvoldoende effect hebben om te voldoen is er gekeken naar het toepassen van actieve koeling. In de berekening is rekening gehouden met vloerkoeling als afgifte-installatie.

RESULTATEN

In de onderstaande tabellen zijn de resultaten te zien van het basismodel en de variant met voorzieningen die benodigd zijn om te voldoen aan de eis van ≤ 450 GTO-uren



Voorbeeld van een Woongebouw M (bron: RVO)

Tabel 2 Voorzieningen om oververhitting te voorkomen gerangschikt naar effectiviteit

Effect	Voorziening
Sterk positief effect	• Buitenzonwering • Zonwerend glas • Overstek • Actieve spuiventilatie
Positief effect	• 's Nachts en 's ochtends spuventileren • Reflecterende binnenzonwering • Groen in de omgeving • Dakisolatie
Gering of geen effect	• Binnen zonwering (gordijnen) • Groene daken en gevels

rekening houdend met het NEN 5060 T5 klimaatjaar. De ruimtes die voldoen zijn aangegeven in groen. De afkortingen ZW, NW en NO staan voor de oriëntatie.

De voorzieningen die nodig zijn om de RVO woning te laten voldoen aan de eis van ≤ 450 GTO-uren bij het toepassen van het NEN 5060 klimaat zijn:

Woning S tussen – rijwoning:

- Matige buitenzonwering op alle doorgerekende oriëntaties.

Woongebouw M – portiekwoning:

- Matige buitenzonwering op alle doorgerekende oriëntaties.

Combinatiegebouw L – galerijwoning:

- Matige buitenzonwering op het Zuidwesten.
- Voorwaardelijke nachtkoeling.

Bij het toepassen van het KNMI referentie klimaat en de klimaatscenario's blijkt dat deze voorzieningen onvoldoende zijn om aan de eis te voldoen. Voor de scenario's Hd en Hn in het zichtjaar 2100 zijn de resultaten zelfs nog boven de tienduizend gewogen uren per jaar. Voor de klimaatscenario's 2100Ln;Ld en 2100Hn;Hd is vervolgens onderzocht welke combinatie van koeling en zonwering nodig is om de woningen te laten voldoen aan de eis. Hieronder zijn de voorzieningen opgesomd per woning die minimaal nodig zijn om te voldoen aan de eis ≤ 450 GTO-uren.



Voorbeeld van een Combinatiegebouw L (bron: RVO)

Tabel 3 Resultaten aantal GTO-uren Woning S tussen per klimaatjaar

RvO type: Woning S tussen	GTO-uren							
	NEN 5060	KNMI referentie	KNMI 2100					
			Ld	Ln	Md	Mn	Hd	Hn
Voorziening: Basis – geen voorzieningen								
Woonkeuken (ZW-NO)	5.314	7.310	11.561	13.810	17.788	15.529	19.171	22.495
Slaapkamer 1 (NO)	3.906	6.515	10.578	12.731	16.917	14.494	18.643	22.307
Slaapkamer 2 (ZW)	4.019	6.065	9.714	11.714	16.683	14.170	18.257	22.042
Slaapkamer 3 (ZW)	4.776	6.597	10.581	12.715	17.298	14.910	18.641	22.289
Voorziening: Matige buitenzonwering – ZW & NO								
Woonkeuken (ZW-NO)	129	559	1.089	1.008	6.735	4.106	13.287	16.384
Slaapkamer 1 (NO)	71	474	962	931	6.373	3.804	13.109	16.056
Slaapkamer 2 (ZW)	37	389	761	770	5.854	3.361	12.820	15.598
Slaapkamer 3 (ZW)	49	425	819	814	6.064	3.512	12.929	15.778

Tabel 4 Resultaten aantal GTO-uren Woongebouw M per klimaatjaar

RvO type: Woongebouw M	GTO-uren							
	NEN 5060	KNMI referentie	KNMI 2100					
			Ld	Ln	Md	Mn	Hd	Hn
Voorziening: Basis - geen voorzieningen								
Woonkeuken (ZW)	4.657	6.975	10.653	13.025	17.969	14.673	18.782	22.586
Slaapkamer 1 (NW)	2.882	6.043	9.078	11.418	16.317	13.025	17.786	21.987
Slaapkamer 2 (ZW)	6.796	8.363	13.146	15.347	19.957	16.916	20.252	23.252
Voorziening: Matige buitenzonwering - ZW & NW								
Woonkeuken (ZW)	278	1.030	1.397	1.582	6.735	4.304	13.312	16.414
Slaapkamer 1 (NW)	36	537	779	998	5.473	3.232	12.701	15.401
Slaapkamer 2 (ZW)	144	856	1.176	1.384	6.640	4.107	13.244	16.293

Tabel 5 Resultaten aantal GTO-uren Combinatiegebouw L per klimaatjaar

RvO type: Combinatie-gebouw L	GTO-uren							
	NEN 5060	KNMI referentie	KNMI 2100					
			Ld	Ln	Md	Mn	Hd	Hn
voorziening: Basis – geen voorzieningen								
Woonkamer (ZW)	7.419	9.478	14.908	14.860	19.749	17.532	20.789	23.442
Slaapkamer 1 (NO)	2.828	6.847	10.761	12.108	16.674	13.956	18.700	22.372
Slaapkamer 2 (ZW)	5.804	7.441	12.356	12.706	18.310	15.573	19.542	22.817
Slaapkamer 3 (ZW)	7.433	8.924	14.316	14.452	19.662	17.143	20.512	23.326
Voorziening: Matige buitenzonwering – ZW + Voorwaardelijke nachtkoeling								
Woonkamer (ZW)	232	1.354	1.715	2.057	7.208	4.799	13.604	16.846
Slaapkamer 1 (NO)	158	2.060	2.728	3.237	8.659	6.379	14.203	17.240
Slaapkamer 2 (ZW)	0	471	608	819	4.516	2.544	11.945	14.062
Slaapkamer 3 (ZW)	36	787	1.007	1.265	5.530	3.353	12.604	15.172

De minimale voorzieningen die nodig zijn bij het toepassen van 2100Ln;Ld klimaatscenario:

Woning S tussen – rijwoning:

- Goede buitenzonwering op alle doorgerekende oriëntaties.
- Voorwaardelijke nachtkoeling.

Woongebouw M – portiekwoning:

- Sterk zonwerende beglazing, $g = 0,28$, op alle doorgerekende oriëntaties.
- Vloerkoeling, capaciteit van 10 W/m^2 vloeroppervlakte

Combinatiegebouw L – galerijwoning:

- Zonwerende beglazing, $g = 0,38$, op alle doorgerekende oriëntaties.
- Vloerkoeling, capaciteit van 10 W/m^2 vloeroppervlakte

De minimale voorzieningen die nodig zijn bij het toepassen van 2100Hn;Hd klimaatscenario:

Woning S tussen – rijwoning:

- Matige buitenzonwering op alle doorgerekende oriëntaties.
- Vloerkoeling, capaciteit van 10 W/m^2 vloeroppervlakte

Woongebouw M – portiekwoning:

- Zonwerende beglazing, $g = 0,38$, op alle doorgerekende oriëntaties.
- Vloerkoeling, capaciteit van 20 W/m^2 vloeroppervlakte

Combinatiegebouw L – galerijwoning:

- Zonwerende beglazing, $g = 0,38$, op alle doorgerekende oriëntaties.
- Vloerkoeling, capaciteit van 10 W/m^2 vloeroppervlakte

Effectiviteit zonwerende maatregelen

Uit de resultaten blijkt ook dat de effectiviteit van zonwering afneemt. Het toepassen van zonwerende beglazing bij het klimaatjaar van NEN 5060 reduceert het aantal GTO-uren met gemiddeld 74%. Deze reductie is bij het klimaatscenario 2050Md nog maar 41% en voor 2100Hn maar 14%. Dit komt omdat in het huidige klimaat de binnentemperatuur voornamelijk opgewarmd wordt door zoninstraling en niet direct door de buitentemperatuur.

In de klimaatscenario's neemt de zonstraling niet veel toe, echter neemt de buitenluchttemperatuur wel flink toe. Deze buitenluchttemperatuur komt via de ventilatiesystemen in de woning en warmt vervolgens de woning op. De opwarming is zo groot dat de buitentemperatuur maatgevender is geworden in het creëren van oververhitting in een woning dan zonnestraling. Om te zorgen dat een woning voor de toekomstscenario's ook voldoet aan de eis van ≤ 450 uur moet een vorm van koeling toegepast worden om de toevoer van warme buitenlucht te bestrijden.

Analyse klimaatjaren

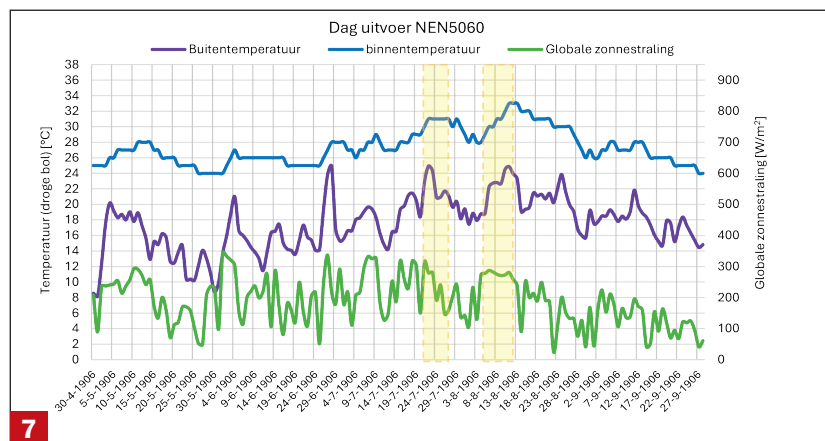
Zoals eerder is aangegeven zijn de klimaatjaren van het KNMI en de NEN 5060:2018 op verschillende wijze tot stand gekomen. Hierdoor is het niet mogelijk om de twee direct met elkaar te vergelijken. Wel is er gekeken hoe de klimaatjaren ten opzichte van elkaar verhouden. Hiervoor is er gekeken tussen het NEN 5060:2018 (1995-2015) klimaatjaar en het KNMI referentie (1990-2020) klimaatjaar. Deze klimaatjaren zeggen beide op hun eigen manier wat over het 'huidige' klimaat.

Tabel 6 aantal GTO uren van NEN 5060 en het KNMI referentie klimaatjaar

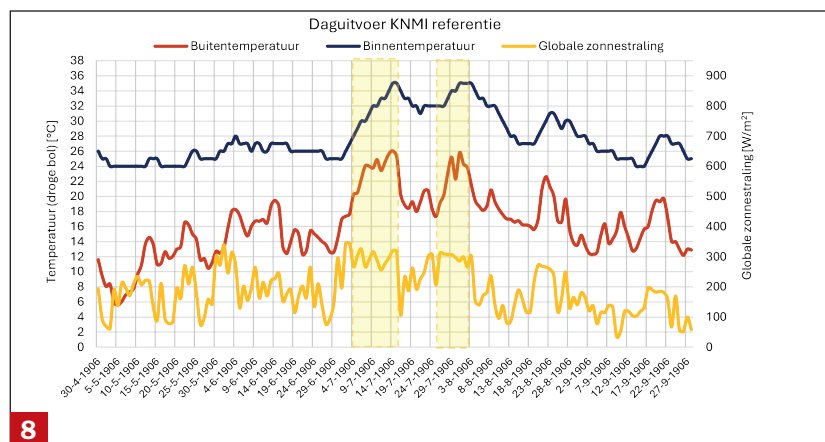
Ruimte	GTO-uren		
	NEN5060 T5	KNMI Ref T10	Verskil t.o.v. de NEN5060 T5
Rv0 type: Woning S tussen			
Woonkeuken	5.314	7.310	+1.996
Slaapkamer 1	3.906	6.515	+2.609
Slaap kamer 2	4.019	6.065	+2.046
Slaapkamer 3	4.776	6.597	+1.821
Rv0 type: Combinatiegebouw L			
Woonkamer	7.419	9.478	+2.059
Slaapkamer 1	2.828	6.847	+4.019
Slaapkamer 2	5.804	7.441	+1.637
Slaapkamer 3	7.433	8.924	+1.491
Rv0 type: Woongebouw M			
Woonkamer	4.657	6.975	+2.318
Slaapkamer 1	2.882	6.043	+3.161
Slaapkamer 2	6.796	8.363	+1.567

Als er dan alleen gekeken wordt naar de overschrijdingskansen waarop de klimaatjaren zijn geselecteerd, 5% voor die van de NEN 5060:2018 en 10% voor de KNMI, kan er gedacht worden dat het klimaatjaar van de NEN 5060:2018 zal resulteren in een hoger aantal GTO-uren. Ook al zijn de klimaatjaren dan niet uit dezelfde database geselecteerd (NEN 5060:2018 uit historische data en KNMI uit gesimuleerde data). Maar als er gekeken wordt naar de maximale buitentemperatuur is dit weer anders. De maximale temperatuur van NEN 5060:2018 is $32,6^\circ\text{C}$ en die van het KNMI referentie klimaatjaar is $32,7^\circ\text{C}$. Hierdoor kan er weer gedacht worden dat het aantal GTO-uren ongeveer gelijk zullen zijn. Tijdens het onderzoek was dan ook de hypothese dat "het aantal GTO-uren van het KNMI referentie klimaatjaar minder dan of gelijk aan zullen zijn met het aantal GTO-uren van het NEN 5060:2018 klimaatjaar". Echter blijkt toch het tegendeel, zoals te zien is in tabel 6.

Een nadere analyse van de klimaatjaren zelf laat zien waar deze toename vandaan komt. In figuur 7 en 8 zijn het daggemiddelde van de binnen- en buitentemperatuur en de globale zonnestraling van beide klimaatjaren voor een geheel jaar te zien. Wat opvalt is dat de temperatuur en zonnestraling in het NEN 5060 klimaatjaar veel pieken en dalen vertonen, met een gemiddelde duur van 4 dagen. Door deze snelle fluctuaties tussen hoge en lage temperaturen en hoeveelheden zonnestraling maakt het mogelijk voor een woning om na een warme periode weer af te koelen. Daar tegenover staat dat de periodes van warm weer en veel zonlicht meer gegroepeerd zijn in het referentie klimaatjaar van het KNMI. Door de langere periodes van warm weer in combinatie met veel zonlicht koelt een woning veel minder af, waardoor hogere temperaturen bereikt worden binnen in een woning gedurende de daaropvolgende dagen. Een voorbeeld hiervan is de periode van 3 juli tot en met 8 augustus, waarin zich twee opeenvolgende hittegolven voordoen: van 4 juli tot en met 15 juli en van 27 juli tot en met 3 augustus. Tussen deze twee hittegolven neemt de buitentemperatuur welis-



Daguitvoer NEN 5060, daggemiddelde van de binnen- en buitentemperatuur en de globale zonnestraling



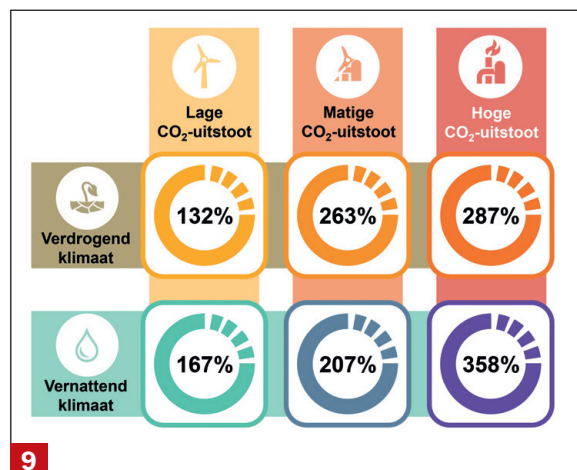
Daguitvoer KNMI referentie, daggemiddelde van de binnen- en buitentemperatuur en de globale zonnestraling

waar af voor 6 à 7 dagen, maar blijft de zonnestraling relatief hoog. Hierdoor daalt de binnentemperatuur uiteindelijk slechts met zo'n 2 tot 3 graden. Daarbij is de duur van de hittegolven ook langer vergeleken met NEN 5060. NEN 5060 bevat twee hittegolven van zeven en negen dagen terwijl de KNMI referentie hittegolven heeft die twaalf en acht dagen duren, zie de gele velden in de grafieken.

CONCLUSIE

Aan de hand van de KNMI-klimaatjaren wordt duidelijk dat het risico op oververhitting in Nederlandse woningen in de toekomst drastisch zal toenemen. Het advies dat wordt gegeven op basis van het huidige NEN 5060 klimaatjaar biedt onvoldoende bescherming tegen het opwarmende klimaat. Dit advies schiet zelfs tekort om te voldoen aan het KNMI-referentieklimaatjaar, dat representatief is voor het huidige Nederlandse klimaat. Om toekomstige risico's op oververhitting te beperken, is het daarom van groot belang dat extra voorzieningen worden getroffen. Waar voorheen zonwering voldoende kon zijn, is het nu noodzakelijk om daarnaast ook een vorm van koeling te realiseren. Zonder deze maatregelen is de kans groot dat woningen in de toekomst onacceptabel warm zullen worden.

Sinds het KNMI hun klimaatscenario's en -jaren heeft gepubliceerd is NEN ook bezig met het samenstellen van een normcommissie voor het updaten van de NEN 5060



Gemiddelde toename van het aantal GTO uren in 2100 ten opzichte van NEN 5060:2018

klimaatjaar. Het doel hiervan is om het klimaatjaar van de NEN 5060 meer toekomstgericht te maken, waarbij meer rekening wordt gehouden met het opwarmende klimaat. Daarbij zijn onderwerpen zoals regionale verschillen in het klimaat en het stedelijke hitte eiland effect ook punten waar naar gekeken zal worden. Een update van het NEN 5060 klimaatjaar naar een toekomst gerichte klimaatjaar, zal dan een positieve stap zijn naar het voorkomen van het toekomstige risico op oververhitting. ■

BRONNEN

- [1] KNMI, 2023, KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland
- [2] NEN 5060:2018+A1:2021: Hygrothermische eigenschappen van gebouwen - referentieklimaatgegevens.
- [3] Van Voorst, L. en Van den Brink, H., 2024, De impact van klimaatscenario's op de warmte- en koudevraag voor gebouwde omgeving, Technisch rapport TR 24-04. <https://www.knmi.nl/research/publications/de-impact-van-klimaatscenario-s-op-de-warmte-en-koudevraag-voor-de-gebouwde-omgeving>
- [4] Ligtenberg, S. L., 2023, Vooronderzoek: Impact van klimaatscenario's op de warmte- en koudevraag voor de gebouwde omgeving. <https://topsectorenergie.nl/nl/kennisbank/impact-van-klimaatscenario-s-op-de-warmte-en-koudevraag-voor-de-gebouwde-omgeving/>
- [5] Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2023, Omgevingsregeling, Bijlage XVI bij artikel 5.31c van deze regeling (beperking oververhitting)
- [6] Van der Linden, A. C., 2005, Gebouwklimatisering samengevoegd. In Klimapedia.nl, Kennisbank Bouwfysica. <https://klimapedia.nl/wp-content/uploads/2017/09/1958-Tab-01-03-Kennisbank-BF-Gebouwklimatisering-samengevoegd.pdf>
- [7] RVO, 2017, Referentie gebouwen BENG. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2017/02/Referentiegebouwen%20BENG.pdf>
- [8] Coppel, L. C., Kluck, J. K., Van der Strate, E. v. d. S., & Medaghi, B. M., 2023, Handreiking hitte in bestaande woningen 2.0: Kennis en advies voor gemeenten en corporaties voor het aanpakken van hitte in woningen. <https://klimaatadaptatienederland.nl/>

HOE DAGLICHTEISEN DE GEBOUWDE OMGEVING BEÏNVLOEDEN

ONDERZOEK NAAR DE IMPACT VAN NEN-EN 17037 TEN OPZICHTE VAN NEN 2057

In de toekomst gaat een nieuwe Europese norm gelden voor daglicht: NEN-EN 17037 [1]. Deze norm wordt ter vervanging van de huidige NEN 2057 [2]. Dit artikel behandelt een afstudeeronderzoek aan de Hogeschool Rotterdam van de opleiding Bouwkunde. Gedurende dit afstudeeronderzoek is, in opdracht van LBP|SIGHT, vastgesteld wat de gevolgen zijn als de Europese daglichtnorm NEN-EN 17037 in werking treedt. Dit is gedaan voor eenzijdig georiënteerde verblijfsruimtes, een kritische en veelvoorkomende situatie in de Nederlandse woningbouw. Met een parametrische studie zijn ruim 29.000 ruimteconfiguraties geanalyseerd. De resultaten zijn verwerkt in twee interactieve dashboards. Deze dashboards bieden ontwerpers en adviseurs inzicht in de invloed van ontwerpkeuzes op het resultaat in de nieuwe daglichtnorm.



ing. J.J.A. (Hans) Broere,
Hogeschool Rotterdam,
opleiding Bouwkunde



ing. S.G. (Sierd) Tilma,
LBP|SIGHT, Nieuwegein

WAAROM DIT ONDERZOEK?

Als de nieuwe NEN-EN 17037 voor daglicht de huidige NEN 2057 vervangt, heeft dat gevolgen. Waar tot nu toe wordt gerekend met de equivalente daglichtoppervlakte, vraagt de nieuwe norm om simulaties van de daglichtfactor (D_T).

Deze overgang kan bij eenzijdig georiënteerde ruimtes tot uitdagingen leiden. Binnen LBP|SIGHT is gedurende dit onderzoek onderzocht wat de gevolgen zijn bij het stellen van twee niveaus van eisen in de nieuwe rekenmethode. Het doel? Inzicht krijgen in het effect van ontwerpkeuzes op het daglichtresultaat.

WAT MAAKT DE NIEUWE NORM ANDERS?

NEN 2057 beoordeelt daglichttoetreding op basis van de equivalente daglichtoppervlakte. De glasoppervlakte boven 0,6 meter gemeten vanaf bovenkant vloer wordt gecorrigeerd met reductiefactoren voor belemmeringen. Dit geeft een globale inschatting van de daglichttoetreding.

De nieuwe NEN-EN 17037 daarentegen, maakt gebruik van simulaties. Op een horizontaal rekenvlak op 0,85 meter hoogte boven de vloer, moet op tenminste 50 procent van de punten een minimale daglichtfactor worden behaald.

Het verschil zit daarmee in de benadering: de huidige norm beoordeelt vooral de gevel, terwijl de nieuwe norm kijkt naar

de ruimte als geheel. De nieuwe norm geeft een realistischer beeld van de lichtverdeling in de ruimte, maar houdt rekening met meer invloedsfactoren waardoor het complexer is.

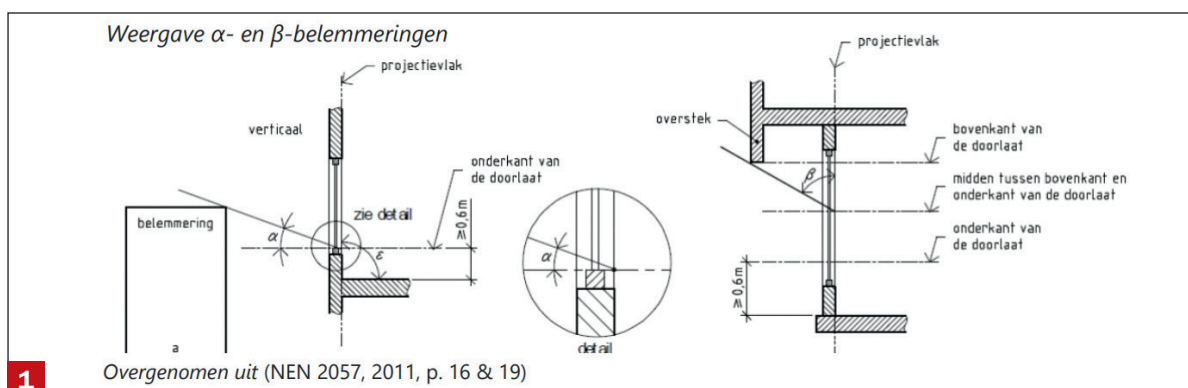
HOE IS HET ONDERZOEK AANGEPAKT?

De kern van het onderzoek bestond uit een grootschalige variantenstudie. Met behulp van de tools Rhino/Grasshopper en Ladybug werden meer dan 29.000 verschillende configuraties doorgerekend, variërend in ruimteafmetingen, glasoppervlakte, raamposities, belemmeringen zoals overstekken en belemmeringen door tegenovergelegen gevels. Elke variant is doorgerekend volgens zowel NEN 2057 als NEN-EN 17037. Op die manier werden de verschillen duidelijk met elkaar vergeleken.

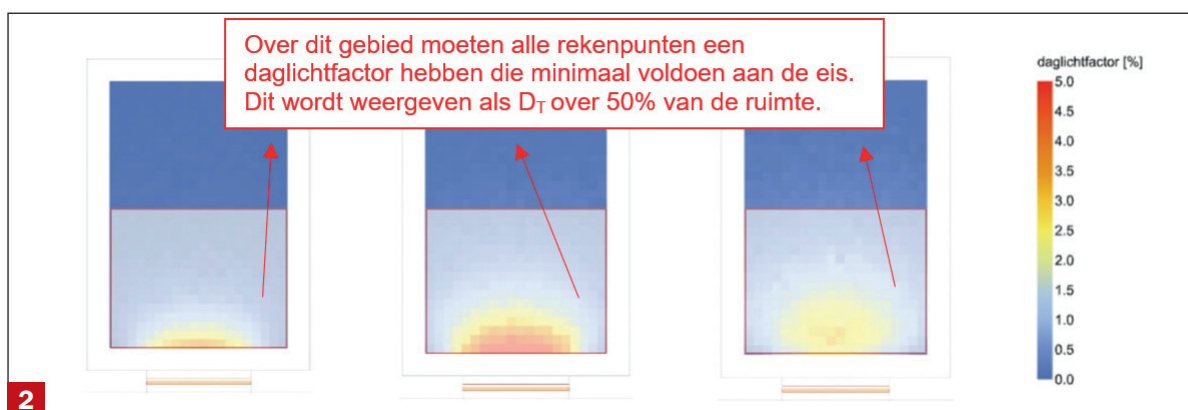
In deze vergelijking zijn de gevolgen voor ruimtes met de regelgeving volgens NEN 2057, vergeleken met twee opgestelde eisen voor het onderzoek. De waarden van de twee eisen zijn opgesteld volgens NEN-EN 17037, met respectievelijke waarden van 0,7 procent en 1,0 procent.

WAT LATEN DE RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK ZIEN?

Een sterke conclusie vanuit de resultaten is dat beide normen nauwelijks rechtstreeks met elkaar te vergelijken zijn; het gaat hier om appels en peren. De verschillen in uitkomsten schieten daardoor alle kanten op. Opvallend is dat vooral diepere ruimten gevoelig zijn voor deze



Handmatige methode voor berekenen dan equivalente daglichtoppervlakte.



2 Daglichtfactor – verdeling van het daglicht in de ruimte.

afwijkingen, terwijl ondiepere ruimten juist beter presteren onder de nieuwe rekenmethodiek.

In de analyse komt een duidelijk omslagpunt naar voren tussen beide normen. Dit omslagpunt betreft de diepte tot wanneer de nieuwe rekenmethodiek gunstigere resultaten geeft. Bij onbelemmerde situaties ligt dit omslagpunt bij een eis van 0,7 procent op 7 meter en bij een eis van 1,0 procent rond de 5 meter. Bij overstekken ontstaat het omslagpunt 1 à 2 meter eerder. Bij tegenover gelegen belemmeringen treedt het omslagpunt aanzienlijk eerder op, waarbij de nieuwe rekenmethodiek uiteindelijk bij een belemmeringshoek van 40 à 50 graden, zelfs bij een vertrekdiepte van 2 meter, nog ongunstigere resultaten geeft.

In de onderstaande grafieken is dit omslagpunt met een zwart bolletje weergegeven bij onbelemmerde situaties. Voor overstekken verschuift dit omslagpunt naar het grijze bolletje. Voor tegenover gelegen belemmeringen laat de rode lijn zien dat het omslagpunt bij een nog kleinere vertrekdiepte ligt die afhankelijk is van de hoogte van de belemmering.

Als in de resultaten verder wordt gekeken naar de overgang van de huidige naar de nieuwe norm, ontstaat een grenswaarde van 0,2 procent. Dit geldt wanneer ruimten

die conform de huidige norm en eisen voldoen, ook moet voldoen bij toepassing van NEN-EN 17037. Deze benadering heeft echter tot gevolg dat er ook ruimtes zijn die nu niet voldoen, maar wel voldoen met de nieuwe norm.

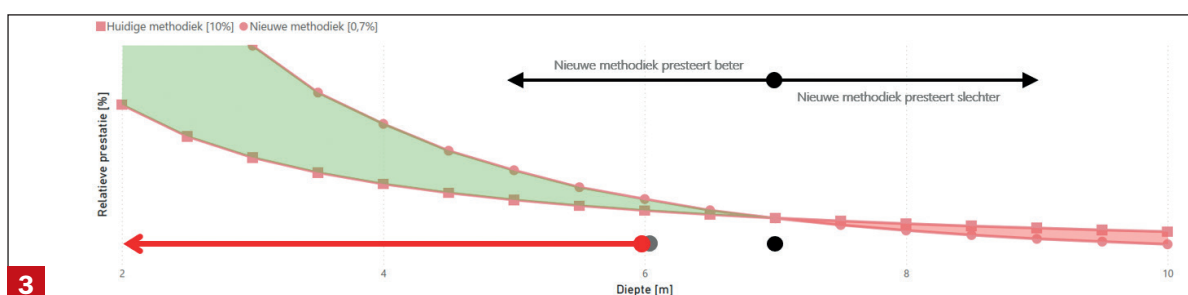
HOE ZIJN DE RESULTATEN VERTAALD NAAR DE PRAKTIJK?

Om de onderzoeksresultaten toegankelijk te maken voor ontwerpers en adviseurs zijn twee interactieve Power BI-dashboards ontwikkeld. Daarmee kunnen gebruikers eenvoudig variëren met parameters als raamhoogte, glaspercentage of ruimtebreedte. Zo is te zien of een ontwerpconfiguratie voldoet aan de eisen.

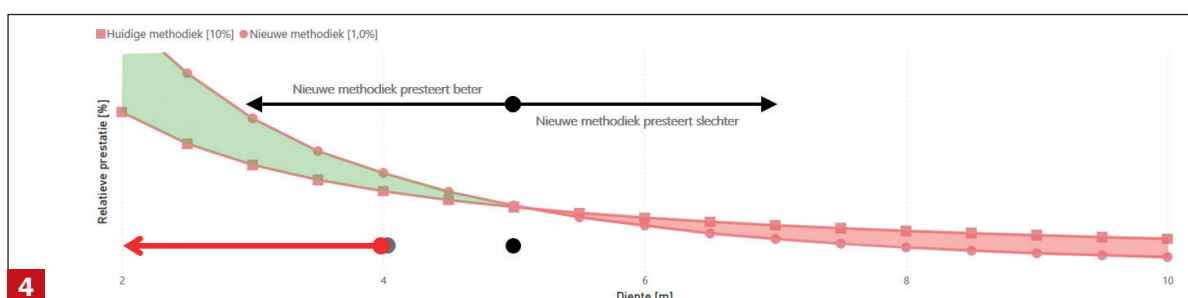
Een voorbeeld: door het glaspercentage of de raamhoogte aan te passen, laat het dashboard direct zien wat het effect is op de daglichtfactor. Het is daarmee een handig analyse-instrument voor een eenvoudige indicatie. Daarnaast is het geschikt voor gebruik in de vroege ontwerpfasen, nog vóór complexe simulaties.

WAT BETEKENT DIT VOOR DE PRAKTIJK?

De overstap naar NEN-EN 17037 vraagt om een andere aanpak. De toetsing wordt realistischer, maar ook uitgebreider. Wel wordt daglicht hierdoor nauwkeuriger in kaart gebracht.



3 Verschil in resultaten in beide methodieken bij een eis van 0,7 procent



4 Verschil in resultaten in beide methodieken bij een eis van 1,0 procent

Zeker voor ruimtes met eenzijdige daglichttoetreding is het niet vanzelfsprekend dat bestaande ontwerpprincipes overeind blijven. Het is niet langer voldoende om een bepaalde glasoppervlakte te realiseren. De verdeling van daglicht in de ruimte en de invloed van belemmeringen worden doorslaggevend.

Dankzij de uitgebreide variantenstudie en de vertaling naar interactieve dashboards biedt dit onderzoek een praktische en toegankelijke manier om onderbouwde ontwerpkeuzes te maken. Het vergroot het inzicht in daglichtprestaties en helpt bij het voorkomen van knelpunten in latere projectfasen.

DE BELANGRIJKSTE AANBEVELINGEN VOOR DE PRAKTIJK

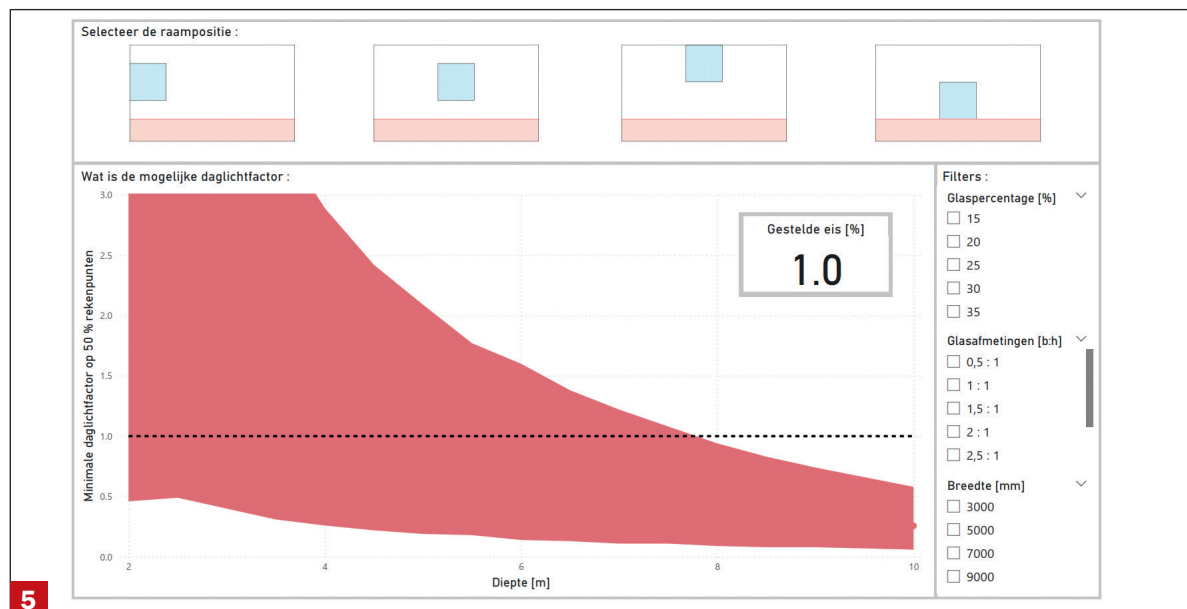
Voor ontwerpers en adviseurs is het aan te raden om daglichttoetreding al vroeg in het ontwerpproces te toetsen aan de nieuwe norm. Daarbij is het niet alleen zinvol om simulaties uit te voeren, maar ook om gebruik te maken van tools die direct feedback geven op het ontwerp.

De dashboards uit het onderzoek zijn daar een goed voorbeeld van. Deze laten zien dat het mogelijk is om grote hoeveelheden data om te zetten in bruikbare ontwerp-informatie. Dat helpt bij het optimaliseren van individuele ruimtes. Zo wordt het ook mogelijk om daglichtambities en -eisen in lijn te brengen met andere ontwerpdoelstellingen, zoals thermische prestaties of BENG-eisen.

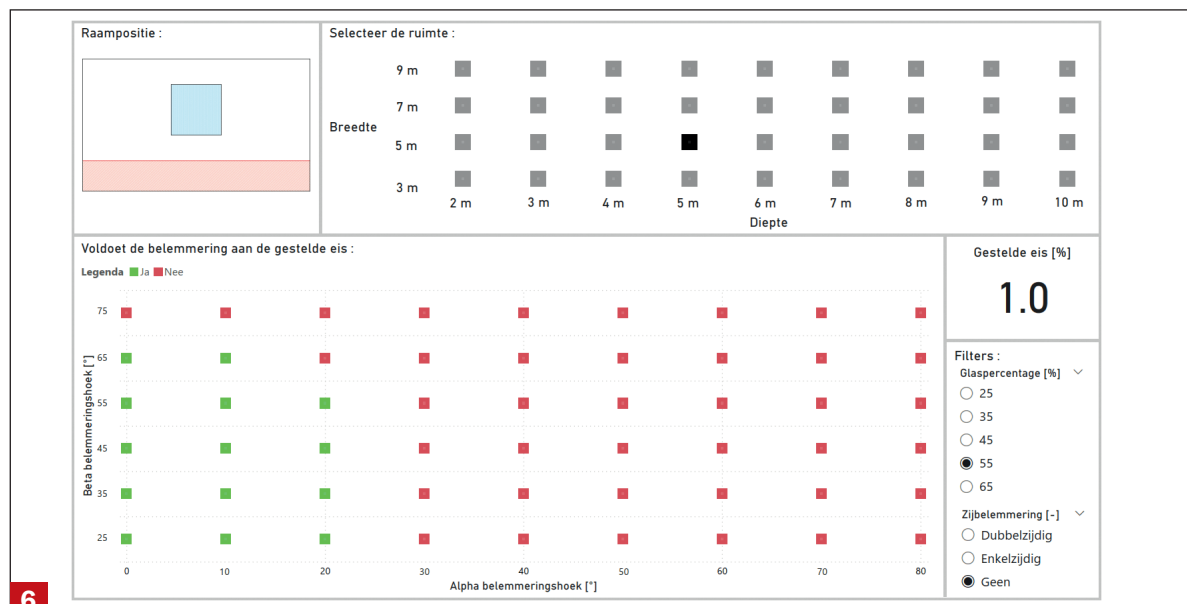
Door daglichttoetreding actief mee te nemen in de eerste ontwerpfasen kan inzichtelijk gemaakt worden hoe het ontwerp gewijzigd moet worden om te kunnen voldoen aan de eisen van NEN-EN 17037, zonder verrassingen in latere projectfasen. ■

BRONNEN

- [1] NEN-EN 17037:2022, Daglicht in gebouwen
- [2] NEN 2057:2011, Daglichtopeningen in gebouwen – Bepalingsmethode voor daglichttoetreding



Interactieve grafiek voor variabele parameters gevel, waarin resultaten eenvoudig kunnen worden gefilterd en aangepast door te klikken.



Interactieve grafiek voor variabele parameters belemmeringen, waarin resultaten eenvoudig kunnen worden gefilterd en aangepast door te klikken.

KLIMAAT-RESPONSIEVE EN -ADAPTIEVE BOUWSYSTEMEN

Op 18 februari 2025 is Martin Tenpierik benoemd tot hoogleraar Bouwfysica aan de faculteit Bouwkunde van de TU Delft. Dit stuk is geschreven naar aanleiding hiervan en geeft enkele van de belangrijke uitdagingen binnen het vakgebied voor de komende jaren weer. Op 6 maart 2026 om 15 uur zal zijn intrede plaatsvinden in de Aula van de TU Delft.



prof.dr.ir. M.J. (Martin) Tenpierik, Faculteit Bouwkunde, TU Delft

KLIMAAT-INSENSITIEVE EN -COMBATTIEVE GEBOUWEN

Naar verluidt presenteerde Willis Carrier op 17 juli 1902 het eerste moderne airconditioningsysteem. In de loop der tijd zijn deze systemen steeds verder doorontwikkeld, zodanig dat zij voor vrijwel alle gebouwen een comfortabel binnenklimaat kunnen realiseren. Het gevolg hiervan was dat er gebouwen ontworpen konden worden die geen rekening hielden met de lokale klimaatomstandigheden, en dat er in die gebouwen veel energie nodig was om een comfortabel binnenklimaat te creëren binnen strak gedefinieerde comfortgrenzen. Hierdoor ontstonden gebouwen die klimaat-insensitief waren.

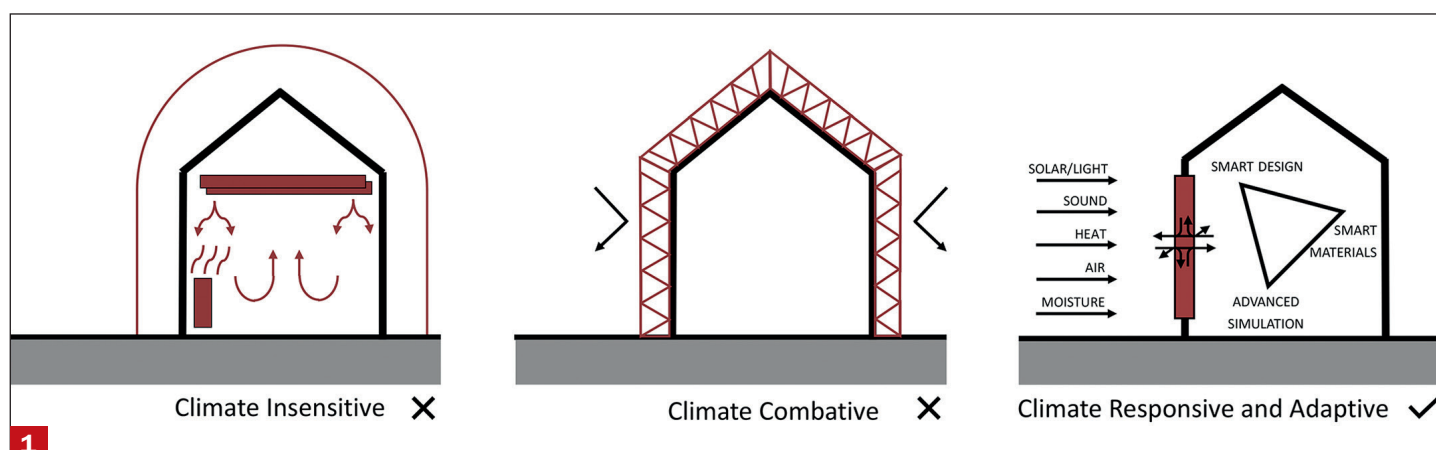
Sinds de jaren '70 en '80 van de 20^{ste} eeuw werd mede als gevolg van diverse oliecrises wetgeving op het gebied van energiezuinigheid van gebouwen ingevoerd, hetgeen in eerste instantie leidde tot regels voor de hoeveelheid thermische isolatie. Deze regels werden in de loop der jaren steeds uitgebreider en vormden de huidige BENG-eisen. Gebouwen in Nederland werden daardoor voorzien van een dikke isolatielaag, werden steeds luchtdichter en werden voorzien van geavanceerde installatiesystemen. De klimaat-combattieve gebouwen die hierdoor ontstonden waren een stuk energiezuiniger, maar velen hebben een aanzienlijke koellast of een hoog risico op oververhitting.

Dit risico op oververhitting wordt de komende decennia als gevolg van klimaatverandering alleen maar groter, met een steeds groter wordende koellast tot gevolg. Het meest recente *emissions gap report* van de UNEP uit oktober

2024 gaat uit van een gemiddelde mondiale temperatuurstijging aan het einde van deze eeuw van tussen de 2,6 en 3,1 °C, uitgaande van de huidige belofte van overheden om de uitstoot van broeikasgassen te reduceren [1]. De meest recente klimaatscenario's van het KNMI uit 2023 gaan voor Nederland uit van een jaargemiddelde temperatuurstijging in het jaar 2100 van 0,9 °C in het lage scenario tot 4,4 °C in het hoge scenario [2].

KLIMAAT-RESPONSIEVE EN -ADAPTIEVE GEBOUWEN

De landen binnen de Europese Unie hebben afgesproken in de Europese Klimaatwet om in 2050 klimaatneutraal te zijn [3]. De meest recente versie van de EPBD (Directive on the Energy Performance of Buildings EU/2024/1275) [4] stuurt aan op zogenaamde Nul-Emissie Gebouwen in 2050. Om daadwerkelijk te komen tot Nul-Emissie Gebouwen die ook gezond en comfortabel zijn, is meer nodig dan de huidige stand der techniek kan bieden; met name de laatste stappen in de verduurzaming van gebouwen zullen steeds moeilijker worden. Dit vereist een (nog) sterkere nadruk op bouwfysica en bouwfysische principes tijdens het ontwerpproces, al vanaf de eerste fases, om gebouwen te ontwerpen die klimaat-responsief en -adaptief zijn (figuur 1). Met klimaat-responsief wordt bedoeld: snel (op een passieve manier) reagerend op korte-termijn fluctuaties in omgevingscondities. En met klimaat-adaptief wordt bedoeld: langzaam reagerend op lange-termijn veranderingen in de omgevingscondities zoals klimaatverandering, ofwel voorbereid zijn op klimaatverandering. In 2017 heeft Looman in zijn proefschrift al een belangrijke basis gelegd met principes voor klimaat-responsief ont-



Klimaat-insensitieve en klimaat-combattieve gebouwen versus klimaat-responsieve en -adaptieve gebouwen.

werpen voor gematigde klimaten [5]. Daarnaast zijn er in die periode ook andere activiteiten geweest die een belangrijke rol hebben gespeeld zoals de IEA ECBCS Annex 44 [6] en de COST Action 1403 Adaptive Facade Network [7].

KLIMAAT-RESPONSIEVE EN -ADAPTIEVE BOUWSYSTEMEN

Dergelijke gebouwen zullen ook gebruikmaken van klimaat-responsieve en -adaptieve bouwsystemen (CRABS). CRABS zijn delen van een gebouw (gevel, dak, vloer, binnenwanden, etc) die ontworpen interacties aangaan met de energie- en massastromen (warmte, geluid, licht, vocht, lucht) binnen en buiten het gebouw. Denk daarbij bijvoorbeeld aan Trombe wanden (figuur 2), warmte-bufferende gevels, schakelbare isolatie, *smart glass* (figuur 3), slimme natuurlijke ventilatie door gevels, en slimme coatings. Als passieve klimatisering vormen zij een belangrijke intermediair tussen het binnen- en buitenklimaat. Geavanceerde simulatie-, optimalisatie- en AI-technieken en ontwikkelingen op het gebied van materiaaltechnologie maken het mogelijk om nieuwe CRABS te ontwikkelen en te optimaliseren. Hierin zullen slimme materialen, geavanceerde simulatiemethoden en slimme ontwerpconcepten een rol spelen.

RESPONSIEVE MATERIALEN EN BOUWCOMPONENTEN

Nieuwe, slimme materialen en componenten zijn essentieel voor CRABS. Slimme materialen, ofwel *smart* of *responsive materials*, zijn ontworpen materialen met een eigenschap of eigenschappen die op een gecontroleerde manier kan of kunnen veranderen op basis van veranderingen in externe stimuli. Veel huidige materialen en componenten hebben onveranderlijke eigenschappen en reageren niet op dagelijkse en seizoensgebonden klimatologische fluctuaties. Zo heeft thermische isolatie een constante thermische weerstand gedurende het hele jaar, terwijl idealiter in een gematigd klimaat een hoge weerstand in de winter vereist zou zijn, maar onder bepaalde omstandigheden in de zomer een lagere. Slimme materialen bieden de mogelijkheid om gevels te herontwerpen als passieve thermische regelementen, die reageren op korte-termijn en lange-termijn (micro)klimaatvariaties. Voorbeelden hiervan zijn faseveranderingsmaterialen, coatings met een hoge reflectie in het zonnespectrum en een hoge emissie in het midden-infraroodbereik, schakelbare thermische isolatie en speciale glastypen. Voor dergelijke bouwcomponenten is het verband tussen de responstijd, de stimulus, de geometrie en de uiteindelijke prestaties belangrijk. Ook op het vlak van de akoestische materialen zijn er belangrijke ontwikkelingen in onderzoek, waaronder zogenaamde akoestische meta-materialen waarvan het absorptiespectrum precies afgestemd kan worden op de specifieke situatie (figuur 4).

GEAVANCEERDE SIMULATIEMETHODEN

Gedetailleerde prestatie-evaluaties van nieuwe CRABS ontbreken echter veelal, vooral wanneer ze gecombineerd worden en er synergetische of conflicterende effecten worden verwacht. Bovendien moeten voor veel slimme materialen nog simulatiemodellen worden doorontwikkeld en geïntegreerd in gebouwsimulatiemodellen om gedetailleerde prestatieanalyses mogelijk te maken. Belang-

rijke ontwikkelingen binnen het vakgebied zijn het modelleren en koppelen van meerdere schaalniveaus (multi-scale) en meerdere domeinen (multi-domain) om tot gedetailleerde geïntegreerde ontwerp oplossingen te komen. Hierin kunnen ook nieuwe ontwikkelingen op het gebied van kunstmatige intelligentie (AI), surrogaatmodellen en optimalisatie-algoritmes een rol spelen. Deze kunnen ook een rol spelen in het versnellen van simulatieprocessen, hetgeen ook voor de bouwfysische praktijk interessant kan zijn. En daarnaast zullen we ook meer rekening moeten houden met onzekerheden als gevolg van onbekende inputvariabelen, klimaatverandering en ontwerp- en bouwkeuzes. Daar kunnen onder andere probabilistische simulatiemethoden een belangrijk rol in spelen. Dit is bijvoorbeeld heel waardevol bij het analyseren van welke isolatiematerialen toegepast kunnen worden bij na-isolatie van historische gebouwen, waarbij minimalisatie van het risico op vochtschade een belangrijke rol speelt.

SLIMME ONTWERPMETHODEN

Klimaatverandering en de steeds strenger wordende eisen op het gebied van energiezuinigheid, comfort en gezondheid vragen dat wij steeds slimmer gaan ontwerpen, zowel bij nieuwbouw als bij renovatieprojecten en monumenten, en daarbij rekening houden met de energie- en massastromen in en rondom onze gebouwen. Ook bij historische gebouwen zijn er nog diverse vragen over hoe



2 Een moderne Trombe wand op basis van faseveranderingsmateriaal, ontwikkeld binnen het Double Face 2 project aan de TU Delft.



3 Electrochrom glas zoals onderzocht in het Windows to the Future project aan de TU Delft.



4 Geluidabsorberende wand op basis van kwart-golfenlengte-buizen, ontwikkeld binnen het ADAM project aan de TU Delft.

deze het beste verduurzaamd kunnen worden, waarbij ontwikkelingen omtrent zogenaamde capillair actieve isolatiematerialen een rol kunnen spelen. Bouwfysica krijgt daarom een steeds belangrijkere rol in de vormgeving van nieuwe gebouwen en bij de renovatie van bestaande gebouwen. Welke nieuwe ontwerpmethodes zijn nodig om niet alleen integraal te ontwerpen, wat nu al vaak gebeurt, maar bouwfysica leidend te laten worden in de vormgeving van het gebouw? Gelukkig gebeurt er in de Nederlandse praktijk al heel veel goeds.

BESLUIT

De komende jaren zal er steeds meer aandacht nodig zijn voor het vakgebied om onze nieuwe en bestaande gebouwen voor te bereiden op de zogenaamde Nul-Emissie Gebouwen doelstelling en klimaatneutraliteit in 2050. Gebouwen zullen sterk ontworpen moeten worden vanuit de energie- en massastromen binnen en buiten. Daarin zullen nieuwe slimme materialen en bouwdeelen, geavanceerde simulatiemethoden en slimme ontwerpmethoden een rol spelen, op alle deelgebieden van de bouwfysica. Wat dat betreft gaan we een interessante tijd tegemoet. ■

BRONNEN

- [1] United Nations Environment Programme (2024), Emissions Gap Report 2024: No more hot air ... please! With a massive gap between rhetoric and reality, countries draft new climate commitments, Nairobi, <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/46404>.
- [2] KNMI (2023), Kerncijfers KNMI'23, data, <https://klimaatscenario-data.knmi.nl/kerncijfers>
- [3] EU (2021), Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law'), Official Journal of the European Union, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj>
- [4] EU (2024), Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast), Official Journal of the European Union, <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj>
- [5] Looman, R.H.J. (2017), Climate-responsive design: A framework for an energy concept design-decision support tool for architects using principles of climate-responsive design, PhD dissertation, TU Delft, Delft.
- [6] Heiselberg (ed.) (2009), IEA ECBSC Annex 44 Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings - Expert Guide – Part 1 Responsive Building Concepts, https://iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annex_44_Expert_Guide_RBC.pdf.
- [7] Luible, A., Overend, M., Aelenei, L., Knaack, U., Perino, M. & Wellershoff, F. (2015), Adaptive Façade Network – Europe, Delft: TU Delft Open, https://tu1403.eu/wp-content/uploads/2015_Posterbook-WEB.pdf

DE ZOEKTOCHT NAAR ZOMERCOMFORT IN WONINGEN

We weten het allemaal: de zomers in Nederland worden warmer. De recent door het KNMI ontwikkelde klimaatscenario's laten zien dat het niet alleen overdag warmer wordt, ook de nachten worden warmer. Hoe houden we ons hoofd koel?

Wat doe je als je het te warm hebt in huis? Natuurlijk, je zoekt verkoeling! Pak het PMV model erbij en je weet waar je mee aan de slag kan. Laten we maar beginnen met een briesje, zet het raam open en de wind doet het werk. De temperatuur neemt misschien wel wat toe, maar daar hebben we een mobiele airco voor: men steekt de stekker in het stopcontact en voilà, dat voelt al een stuk aangenamer. Klein nadeel: het tocht wel, dus een sjaal en een vestje is geen overbodige luxe. Dat PMV model had het ook over vochtigheid; wat is er beter dan om het zwembad in de tuin op te zetten, goed te vullen en een duik te nemen? Let er wel op dat je jezelf rustig houdt, want ook het metabolisme speelt een belangrijke rol om niet oververhit te raken. Daar kunnen we rondom ons huis wel wat mee, een betegelde tuin zorgt voor weinig onderhoud. Om helemaal tot rust te komen na die duik, zetten we de parasol op en ook het minimaliseren van de stralingscomponent hebben we te pakken. Opgelost! Toch?

Airco op standje diepvries, de buitenunit die de omgeving verwarmd, betegelde tuinen zonder natuurlijke schaduw en drinkwater consumeren alsof er overvloed is: in je woning gaat het even goed, maar het is het recept voor klimaatverandering. Want een hoog energiegebruik, weinig groen en watergebruik dragen niet alleen bij aan verdere opwarming van de aarde, maar ook aan droogte en afname van de biodiversiteit. Daarnaast ver-

groten we op deze manier onze kwetsbaarheid door de afhankelijkheid van het overvolle stroomnet en verliezen we onze weerbaarheid tegen hogere temperaturen. Dat kan en moet anders. Laten we het zomercomfort nemen als motivatie om klimaatverandering tegen te gaan door klimaatadaptatie op het gebied-, gebouw- en gebruikersniveau. Ook daar kunnen de componenten van het PMV model aan bijdragen: zorg voor voldoende schaduw en groen in de omgeving en tuin en beperk zoninstraling in de woning. Goed tegen hittestress en droogte en positief voor de biodiversiteit. Zet zoveel mogelijk in op passieve koeling in de woningen door gebruik te maken van plafondventilatoren en zet de ramen pas open als de buitentemperatuur lager is dan binnen. Maar vergeet adaptatie van de gebruiker niet. We kunnen best wel wat hebben, zeker als we 'trainen'. Bij langdurige warmte wordt ons lichaam toleranter voor hogere temperaturen: het lichaam is dan beter in staat om om te gaan met de warmte (adaptatie). Die capaciteit willen we niet verliezen om ook in de zomer te kunnen genieten van een groene omgeving, met voldoende schaduw, natuurlijk water voor verkoeling en aangename plekken om elkaar te ontmoeten.

Binnen zitten in je gekoelde woningen met als enige uitstapje het opzetzwembad in de betegelde tuin, klinkt in mijn oren als een eenzame wachtkamer tot de golfstroom is stilgevallen. ■



dr. ir. M. (Marije) te Kulve,
bba binnenmilieu,
Den Haag

VERENIGING

VAN HET BESTUUR

De Nederlands Vlaamse Bouwfysicavereniging (NVBV) draait op de inzet van haar leden. Na een wisseling van de wacht in het bestuur met een nieuwe voorzitter en twee nieuwe bestuursleden is het een mooi moment om ook de mensen die wat meer op de achtergrond meewerken uit te lichten. De vereniging treedt voornamelijk naar buiten via het prachtige blad dat u nu voor u heeft liggen en via de activiteiten die worden georganiseerd. De recente benoeming van Mirjam Peters tot erelid laat zien hoe belangrijk de inzet van leden is voor de vereniging en hoezeer die inzet wordt gewaardeerd. Binnen de activiteitencommissie is in de afgelopen jaren ook een grote verandering geweest

waarbij we inmiddels een mooie mix van jonge krachten en ervaren bouwfysici hebben. Niet alleen gevarieerd in leeftijd en ervaring, maar ook verankerd in veel verschillende hoeken van de bouwfysicawereld. Zo werken onze leden bij TNO (Christianne Luitjen), de Provincie Noord-Brabant (Janneke de Kort), als docent onderzoeker bij Avans Hogeschool (Mark de Waard), of als bouwfysicus bij een adviesbureau (Juliët Wahlen en ikzelf). Daarnaast worden we inmiddels ook ondersteund vanuit het Rijksvastgoedbedrijf en vanuit de TVVL. Door deze verscheidenheid aan achtergronden en perspectieven, blijven we op de hoogte van de laatste onderzoeken naar biobased

materialen, zoals we hebben kunnen zien tijdens de afgelopen ALV bij TNO in Delft. We krijgen mee hoe het beleid voor de verduurzaming van onze provincies wordt opgesteld, terwijl de kennis van de bouwpraktijk en de verbinding met de komende generatie bouwfysici ook wordt onderhouden. Deze mix zorgt voor een enthousiast en energieke commissie die inmiddels weer druk bezig is om ook deze variëteit binnen ons vakgebied over te brengen in een mooi programma voor de aankomende Kennisdag in mei 2026! ■

Bo Dorresteyn

LAMPJES OP HET DASHBOARD

De zomervakantie is (bij het schrijven van dit stuk) bijna ten einde. Dat betekent ook: de eerste 90 dagen van het NVBV-voorzitterschap zitten erop! Je zou kunnen zeggen: tijd voor een terugblik, maar er zijn vooral plannen voor de komende bestuursperiode gesmeed!

Opgelid als bouwfysicus, maar met vooral meters in de brandveiligheid, was ik even blij als verrast. Ik wist natuurlijk dat de werelden technisch niet eens zoveel verschillen van elkaar (brand is extreem binnenklimaat: hoge temperaturen, hoge snelheden en grote drukverschillen; gewoon fysica dus!). Maar ook het netwerk van vakbroeders over de breedte van de bouwfysica bleek als vanouds dichtbij. En met de verzamelde kennis bij de collega's van Nieman, kan ik ook buiten de muren van dit mooie bedrijf op de meeste inhoudelijke onderwerpen prima mee!

Bovenaan m'n 90-dagen lijstje stond het écht kennismaken met m'n medebestuurleden. Wat drijft ons, hoe zien we de vereniging, en waar liggen onze dilemma's en onze kansen?

Het ging natuurlijk over het bouwfysicablad, een kroonjuweel van de vereniging. Over de onderwerpen, de deadlines en niet te vergeten: de inzet en energie van de redactie. Dat is meteen een mooi bruggetje naar 6 mei van dit jaar. Op die datum benoemden we Mirjam Peters tot erelid van de NVBV, als dank voor 15 jaar (!!) inzet als eindredacteur van het blad.

Het ging ook over de samenwerking met TVVL, een belangrijke partner. TVVL zorgt ervoor dat wij als bestuur bezig kunnen zijn met 'bestuursdingen'. Veel van het praktische eromheen is bij TVVL in goede handen! De samenwerking (administratief en financieel) is gerust professioneel te noemen, dat geeft rust en ruimte in onze vereniging en daarmee aan ons, als bestuur.

In de gesprekken blikten we uiteraard terug op de ALV en keken we vooruit naar de volgende NVBV-Kennisdag (2026). En naar andere manieren waarop we elkaar kunnen ontmoeten, onze kennis kunnen delen en samen kunnen werken in ons werkveld: op persoonsniveau, soms ook op bedrijfsniveau. In de kern is de vereniging een netwerk: de kwaliteit ervan is precies wat we er zelf van maken. Als die kwaliteit goed is, plukken we daar allemaal de vruchten van: dan komen dingen in beweging, krijgen ze momentum en gaan ze groeien. En dat drijft mij, want als rasechte Brabantse is netwerken en verbinden me met de spreekwoordelijke paplepel ingegoten.



ir. S. (Saskia) Hegeman,
Nieman groep, Utrecht;
NVBV voorzitter



“In de kern is de vereniging een netwerk”

Naar de toekomst toe wordt namelijk ook ons netwerk buiten de vereniging belangrijk(er). Veel partijen in de bouw zien vastgoed als een auto: merk en type geven status, comfort is belangrijk en betrouwbaarheid is bijzonder fijn. Wat er onder de motorkap gebeurt doet er pas toe als er lampjes gaan branden op het dashboard; toch? Maar wij weten: er lopen daar onder die motorkap wel degelijk dingen warm. Ambities op duurzaamheid, comfort en veiligheid raken in menig project op elkaar gestapeld op een manier die we technisch, vaak maanden later, maar met moeite uitgebalanceerd krijgen. Klimaatadaptatie en natuurinclusie brengen ons daarnaast tot buiten het gebouw, waar ‘in mijn tijd’ alleen stedenbouwfysica wind en -geluid ECTS/studiepunten opleverden.

We mogen aandacht vragen voor onze uitdagingen en dilemma's. En dat gaan we doen, in het belang van de bouw als geheel. Zodat de motor als een zonnetje blijft lopen en alle lampjes – ook bij tropische temperaturen – uit blijven! ■

NIEUWE NEN-NORMEN

IN DEZE RUBRIEK WORDT EEN OVERZICHT GEGEVEN VAN DE NORMEN, NORMONTWERPEN, CORRECTIEBLADEN EN AANVULLINGSBLADEN OP HET GEBIED VAN DE BOUWFYSICA DIE VANAF MEI 2025 ZIJN VERSCHENEN.

Normnummer	Titel	Publicatiedatum
NEN-ISO 23591:2021/A1:2025 en	Akoestische kwaliteitscriteria voor muziek oefenruimten - Amendment 1: Aziatische (Koreaanse) traditionele muziek (Gugak)	28-5-2025
NEN-EN 17990:2025 en	Thermische isolatie en energie-efficiëntie van gebouwen - Methode voor het bepalen van de duurzaamheid van verlijmingen met kleefbanden en kleefmassa's voor het realiseren van luchtdichte lagen onder klimaatcondities representatief voor het binnenmilieu	30-6-2025
NEN 2686:2025 nl	Luchtdoorlatendheid van gebouwen - Meetmethode	14-7-2025
NPR-CEN/TR 18180:2025 en	Gebouwakoestiek - Gegevenswoordenboek	18-9-2025
NPR 2068:2025 Concept nl	Thermische isolatie van gebouwen - Vereenvoudigde rekenmethoden	19-9-2025
NEN-EN-ISO 10077-2:2017/A1:2025 en	Thermische eigenschappen van ramen, deuren en luiken - Berekening van de warmtedoorgangscoefficiënt - Deel 2: Numerieke methode voor kozijnen	22-9-2025

VRAAG EN ANTWOORD

IS DAGLICHT ONDERGESCHIKT AAN OVERVERHITTING?

Aan onze deskundigen in de bouwphysicapool (lees: de lezers) vragen we om antwoord te geven op prangende vragen die spelen binnen het bouwphysisch spectrum. Hieronder antwoorden op de vraag van vorige keer. Als toetje een volgende vraag die klaarligt om beantwoord te worden. Zo houden we de boel draaiende.

VRAAG

Het klimaat wordt warmer, zeker in de zomer. We moeten dus anders bouwen om comfortabele gebouwen te houden. Dat betekent keuzes maken. De vraag is daarom: Is daglicht ondergeschikt aan oververhitting?

Abigaïl Boerma, Gemeente Leeuwarden

Het comfortabelste daglicht komt uit het noorden. Ideaal voor kunstenaars en tekenaars. Zacht, regelmatig en schaduwvrij. Triple glas op het noorden zorgt voor genoeg stralingswarmte in de winter en is koel in de zomer.

Een raam pal op het zuiden, onder een veranda, balkon of galerij draagt bij aan een koel binnenklimaat. 's Winters in het zonnetje zitten als de zon je plafond verlicht. En



zomers indirect, diffuus licht waardoor je ogen ontspannen.

Oriëntatie is de sleutel. Veel ontwerpplezier!

Gertjan Verbaan, DGM

De daglichtnorm NEN 2057 is uit 1991 en is inmiddels achterhaald. Die simpele methode geeft geen goed beeld van de daglichtverdeling in de ruimte, er wordt alleen uitgerekend hoeveel daglicht er op de gevel van een woning valt. Inmiddels zijn er betere methoden met een daglichtfactor die vanaf 2017 in Europa al veel wordt gebruikt.

In de Europese norm NEN EN 17037 is ook een eenduidige en goed te controleren methode 1 voorgeschreven om de daglichtfactor te bepalen. Daarmee kun je snel een berekening maken. Daarnaast is ook een NPR 4057 ontwikkeld met uitleg en voorbeelden hoe dit in de praktijk toe te passen.

Voordeel van de Europese norm is dat er ook een methode 2 met uurlijkse berekeningen bestaat waarbij ook rekening met de zon wordt gehouden en de resultaten dus oriëntatie afhankelijk zijn. Dit betekent dat er bijvoorbeeld kleinere ramen op Zuid mogelijk zijn (meer zon, meer daglicht) en daarmee

een gezonde en goede balans van daglicht met TO juli en BENG kan worden gevonden. Ook de keuze voor de juiste zonwering wordt hiermee een stuk makkelijker. In BREEAM en Frisse Scholen zien we die eisen al terug.

Voor het volgende blad ligt al een vraag klaar:

VRAAG

Slimme gevels, slimme installaties, slimme gebouwen? Alles lijkt wel slim te moeten! Is het marketing, of is het de toekomst? Wat is echt nodig, en waar kunnen we beter zonder?

Wie o wie gaat deze beantwoorden? Stuur uw reactie – van kort advies tot compleet betoog – voor 8 december 2025 naar redactie@nvbv.org. Wie weet komt uw reactie dan in het volgende blad en ontvangt u de NVBV-chocolade! Geef het ook aan als u anoniem wilt blijven. De redactie behoudt zich het recht voor ingezonden reacties in te korten.

Heeft u zelf een prangende vraag? Stuur het met een korte toelichting naar redactie@nvbv.org.

SPONSORS VAN DE NVBV

Haskoning
Enhancing Society Together

Bekijk onze oplossingen
haskoning.com

CAUBERG HUYGEN

www.cauberghuygen.nl

**EERLIJK+
DUURZAAM**

- + Inspectie + Brandveiligheid
- + Akoestiek + Bouwfysica
- + Energiebeheer
- + Installatietechniek

www.k-plus.nl

K+ADVIESGROEP

M+P

Mensen met oplossingen
voor een goed leef- en
werkcomfort

M+P | MBBM groep
www.mp.nl

40 jaar

NIEMAN
DE RAADGEVENDE INGENIEURS

WIJ MAKEN GEBOUWEN EN HUN OMGEVING BETER:
VEILIG, DUURZAAM EN COMFORTABEL

www.NIEMAN.nl www.WERKEN BIJ NIEMAN.nl

**Aanbesteden & Contracteren
Bouwfysica & Bouwtechniek
Bouwmanagement**

Zri

Van Zanten Raadgevende ingenieurs
Balistraat 1, 2585 XK Den Haag
070-3615559 contact@zri.nl www.zri.nl

ARUP
www.arup.com 020 305 85 00

LocHal Tilburg

nelissen
ingenieursbureau

- installatietechniek
- bouwfysica, akoestiek en brandveiligheid
- duurzaamheid

NatLab 2.0 te Eindhoven

www.nelissenbv.nl

SPONSORS VAN DE NVBV

Onze overtuiging is dat mensen het beste tot hun recht komen in een duurzame, veilige en gezonde omgeving.

Levend bewijs

We dagen onszelf elke dag uit om met vernieuwende oplossingen te komen.

www.dgmr.nl

Adviseurs voor bouw, industrie, verkeer, milieu en software

dGm^R

EDGE Olympic Amsterdam

LBP|SIGHT

Een veilige, gezonde en duurzame leefomgeving? Wij geloven dat het kan!

LBP|SIGHT: onafhankelijk advies- en ingenieursbureau in Nieuwegein

lbpsight.nl

Eindhoven / Venlo / Geleen

077 351 55 51



Volantis

CONSULTANCY | DESIGN | ENGINEERING

"Change the perspective"

www.volantis.nl

ALCEDO

GEEN GEDOE.
GRAAG GEDAAN.



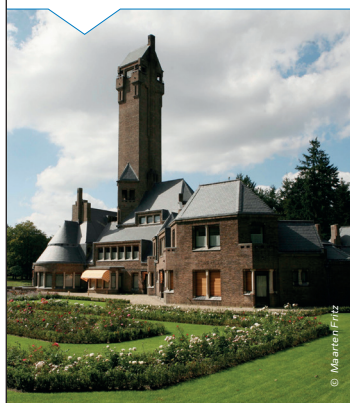
Advies voor bouw, omgeving en gebouwen



WWW.ALCEDO.NL

abt

abt.eu



**Grensverleggend
waarmaken**

Wil jij samen met ons de gebouwde omgeving duurzamer en gezonder maken?

Kijk dan op werkenbijabt.eu

**Here's where
engineering matters**

Bouwfysica, akoestiek, brandveiligheid en installaties

Wij werken in de afdeling bouwfysica & energie met circa 50 adviseurs, projectleiders en specialisten aan grote en complexe projecten zoals commercieel en openbaar vastgoed, ziekenhuizen, luchthavens, laboratoria. Deerns is een internationaal adviesbureau met een informele sfeer en veel ontwikkelingsmogelijkheden.



Contact: Pieter Schepman
Nummer: +31 643990851
Scan QR code voor meer info

Deerns

B U R O

BOUWFYSICA

Akoestiek - Brandveiligheid - Bouwfysica - Duurzaamheid

www.burobouwfysica.nl

BLONK ADVIES
Bouwfysica | Akoestiek | Brandveiligheid

atriensis

Bouwvisie

RAADGEVENDE INGENIEURS





Noorman
Bouw- en milieu-advies

Akoestiek Bouwfysica Brandveiligheid Geluid Milieu



noormanadvies.nl
Groningen | Apeldoorn

Toe aan een duurzame carrière?

- Installatietechniek
- Bouwfysica, akoestiek, brandveiligheid
- Duurzaamheid
- Prestatiemonitoring



KLICtET

bekijk vacatures

Oisterwijk | 0416 669 999 | info@klictet.nl | www.klictet.nl



moBius consult



Bouwfysica • Brandveiligheid • Akoestiek • Duurzaam bouwen
Driebergen - Delft

moBiusconsult.nl

PEUTZ

peutz group
vestigingen in nederland, België,
duitsland, frankrijk en spanje

www.peutz.nl

IN HET VOLGENDE NUMMER

'Slimme gevels' wordt het thema voor het volgende nummer. Wie ervaring heeft met slimme technologie in gevels, mag daar dus een mooi stuk over schrijven. Wie op een slimme manier met ouderwetse gevels bezig is, mag dat ook! Wie een mening heeft over slimme gevels kan natuurlijk een column schrijven. We hopen op een column van iemand die helemaal voor en van iemand die helemaal tegen

slimme gevels is. Zou het mogelijk zijn een slimme quiz of puzzel over gevels te maken? We horen het allemaal graag via redactie@nvbv.org. Gelukkig hebben we al een paar gevel-artikelen binnen. Deze gaan over detailleren van gevelconstructies bij optopwoningen, met biobased materialen en over isolatie bij gevelophangsystemen. Natuurlijk is er ook plek voor andere onder-

werpen. We willen aandacht besteden aan het boek 'Architectuur als klimaatmachine'. En we hopen dat het verhaal over vleermuisverblijven nu gepubliceerd kan worden. Dit was echt zo'n pech-artikel dat we al een paar uit moesten stellen. Maar nu past het weer in het thema. De verblijven zitten immers in/op een gevel en vleermuizen zijn best slim. Toch?

COLOFON

Bouwfysica

36e jaargang, nr 3,
november 2025
ISSN 0928-5377

Redactie

• ir. Annet van der
Horn-de Vries
(hoofdredacteur, NEN)
• ir. Svebor Heruc
(eindredacteur)
• ir. Rona Vreenegoor
(eindredacteur, HAN)
• ir. Lennart Schmitz
(Haskoning)

• ir. Ernst Kabel (Peutz)
• ir. Tom Bouwhuis (M+P)
• ir. Regina Bokel (TU Delft)
• ir. Kitty Huijbers (ABT)

Cover

Freepick_jcomp
Redactieadres
bij voorkeur per e-mail:
redactie@nvbv.org
of anders:
t.a.v Annet van der Horn
Postbus 5059
2600 GB Delft

Abonnementen

€ 77,25 per jaar

Advertentietarieven

Op aanvraag

Grafische realisatie

daily creative
agency Zeist

Gedrukt op
chloorvrij papier

NEDERLANDS VLAAMSE BOUWFYSICA VERENIGING

Bestuur

ir. Saskia Hegeman
(voorzitter, Nieman)
ir. Douwe de Jong
(penningmeester,
Haskoning)
ir. Paul van der Aa
(secretaris, LBP | SIGHT)
ir. Manon Derks
(ledenadministratie,
Peutz)
ir. Annet van der Horn
(communicatie, NEN)
ir. Bo Dorrestijn
(activiteiten, Arup)

Secretariaat en informatie

Nederlands Vlaamse
Bouwfysica Vereniging
Weerdjesstraat 70
6811 JE Arnhem
Postbus 153
6800 AD Arnhem

Bij voorkeur per
e-mail naar:
secretaris@nvbv.org
website: www.nvbv.org
Bankrekening:
NL25TRI00379471833

Lidmaatschap

€ 80,- per jaar (bij
automatische incasso);
studenten 15 euro;
zie website voor details
en inschrijvingsformulier.

Leden en sponsors van
de Nederlands Vlaamse
Bouwfysica Vereniging
ontvangen het blad
Bouwfysica.





TECHNIEK
EN MANAGEMENT

Investeer in de nieuwste kennis en kunde in bouwfysica

ONTWIKKEL JE MET ÉÉN VAN DEZE SKB-OPLEIDINGEN EN ONTVANG NA AFRONDING EEN GECERTIFICEERD CPION-DIPLOMA

OPLEIDING BOUWFYSICA

SKB Post-hbo-opleiding over de integrale aanpak ter bevordering van een gezond binnenmilieu.

» Start 29 januari 2026
» O.l.v. dhr. ir. A.G.J. Vervoort (Peutz)



Tijdens deze opleiding leer je bouwfysische vraagstukken onderbouwd te analyseren en op te lossen met behulp van bouwfysisch detailleren, het Mollier diagram en ontwerpprincipes op het gebied van brandveiligheid, comfort en geluidsisolatie.

Resultaten

Door het volgen van deze opleiding leer je:

- alles over bouwfysica en de achterliggende theorieën
- problemen in de bouwpraktijk voortijdiger signaleren en oplossen
- meetmethoden en -instrumenten die gebruikelijk zijn
- benodigde berekeningen maken, zoals geluidsisolatie-, ontvluchtungs- en dampspanningsberekeningen
- meer over gebouwsimulatieprogramma's

Bedoeld voor

Personen met hbo-niveau bouwkunde, natuurkunde of werktuigbouwkunde of degenen met een vergelijkbaar en aantoonbaar kennisniveau op basis van hun werkervaring bij een architecten- of ingenieursbureau of een overheidsdienst.

OPLEIDING MILIEUGELUID

SKB Post-hbo-opleiding op het gebied van geluid en voorkomen van geluidsoverlast

» Verwacht september 2026
» O.l.v. dhr. dr.ir. W. Soede (Ardea Acoustics & Consult)



Tijdens deze opleiding leer je problemen op het gebied van geluid en trillingen onderbouwd te signaleren en op te lossen met behulp van het brede scala aan meetmethoden, instrumenten, berekeningen en simulaties.

Resultaten

Door het volgen van deze opleiding krijg je inzicht in:

- de fysische grondbeginselen van geluid en trillingen
- de oorzaken van geluidsoverlast en trillingen en de ingrepen om dit te beperken (lawaaibeheersing)
- zelfstandig rekenen aan de geluidsoverdracht, ten gevolge van industrie, installaties en weg-, rail- en luchtvaartverkeer
- rekenen aan geluid in en rond gebouwen, al dan niet beïnvloed door scheidingsconstructies
- de relevante regelgeving voor geluid en trillingen zoals vastgelegd in de Omgevingswet, Het Besluit Bouwwerken Leefomgeving en NEN normen.

Bedoeld voor

Medewerkers bij adviesbureaus voor akoestiek, lawaai- en trilling beheersing, verkeers- en industrielawaai en medewerkers milieu en geluid werkzaam bij overheden, toeleveranciers, opdrachtnemers en vervoersbedrijven.

Meer informatie of inschrijven?
Ga naar www.paotm.nl

In samenwerking met

SKB

Stichting
Kennisoverdracht
Bouwfysica

