

## **Bundeling van zonlicht door gekromde gevels**

### **Een concreet probleemgeval onderzocht met parametrische tools, simulatie en controlemetingen**

Schipper, H.R.; Brembilla, E.

#### **Publication date**

2023

#### **Document Version**

Final published version

#### **Published in**

Bouwfysica Blad

#### **Citation (APA)**

Schipper, H. R., & Brembilla, E. (2023). Bundeling van zonlicht door gekromde gevels: Een concreet probleemgeval onderzocht met parametrische tools, simulatie en controlemetingen. *Bouwfysica Blad*, 1(34), 10-14. <https://nvbv.org/publicaties/bouwfysica-blad/edities/2023/1>

#### **Important note**

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).  
Please check the document version above.

#### **Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

#### **Takedown policy**

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.  
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

***Green Open Access added to TU Delft Institutional Repository***

***'You share, we take care!' - Taverne project***

**<https://www.openaccess.nl/en/you-share-we-take-care>**

Otherwise as indicated in the copyright section: the publisher is the copyright holder of this work and the author uses the Dutch legislation to make this work public.

# BUNDELING VAN ZONLICHT DOOR GEKROMDE GEVELS

EEN CONCREET PROBLEEMGEVAL ONDERZOCHT MET PARAMETRISCHE TOOLS, SIMULATIE EN CONTROLEMETINGEN

**Wat te doen als je prachtige gekromde glazen gevel onverwacht als vergrootglas blijkt te werken? Het fenomeen, dat al enigszins bekend was van de beruchte “Walkie Talkie” in Londen, is al eens eerder beschreven in Bouwfysica in 2018 [1]. Helaas kon dat artikel niet voorkomen dat ook in Nederland dit probleem vorig najaar plotseling optrad bij een nieuw gebouw dat op het punt stond opgeleverd te worden. Smeltende auto-onderdelen op het ondergelegen parkeerterrein, mogelijk gevaar voor bezoekers en een ongeruste opdrachtgever waren het resultaat. Parametrische tools en software voor simulatie van bezonning hielpen het ontwerpteam en de opdrachtgever om samen te zoeken naar de meest geschikte oplossing.**



dr. ir. H.R. (Roel) Schipper, TU Delft Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Delft



dr. E. (Eleonora) Brembilla, TU Delft Faculteit Bouwkunde, Delft

Het gebouw in kwestie is beduidend lager dan de genoemde hoogbouw in Londen: slechts twee bouwlagen. De nieuwgebouwde, gebogen loopbruggen plus een nieuw centraal entreegebouw verbinden op het niveau van de eerste verdieping de vleugels van een bestaand gebouw met elkaar (figuur 1). De nieuwe buitengevels van het entreegebouw en de loopbruggen worden gekenmerkt door grote transparantie. De gevels bestaan uit cilindrisch gebogen dubbelglas-units met een externe reflectiefactor van 24% (waarvan 16% voor het zichtbare deel). Deze waarde is door de leverancier gegeven voor een hoek van 90°, en zal naar verwachting bij benadering geldig zijn voor hoeken groter dan 30°. De glaspanelen hebben afmetingen orde-grootte  $b \times h = 2,35 \times 2,75 \text{ m}^2$ , waarbij de kromming alleen in het horizontale vlak is aangebracht (cilindrisch dus, niet dubbel gekromd) met een straal van tussen de  $R = 15 \text{ m}$  en  $R = 25 \text{ m}$ , verschillend per gevel. Pas na plaat-

sing van het glas medio 2021 werd de bundeling van zonlicht opgemerkt. Op figuur 2a is het patroon zichtbaar dat op het parkeerterrein onder de zuidgevel zichtbaar was op zonnige dagen. Het patroon verplaatste zich redelijk vlot over de grond, spiegelbeeldig met de positie van de zon. In het patroon zijn strepen zichtbaar van elk van de individuele glasunits die op dat moment beschenen werden door de zon. De strepen kruisen elkaar, en met name in het snijpunt was de warmte duidelijk voelbaar.

## SCHADE

Door de opdrachtgever, die de beschikking had over een professionele infraroodcamera (FLIR T420bx), werden diverse warmtebeelden vastgelegd (figuur 2b) waarop in enkele gevallen verontrustend hoge oppervlaktetemperaturen zichtbaar waren, zelfs op de zware betonklinkers van het parkeerterrein. Dit was niet zonder aanleiding:



1

Gekromde, grotendeels glazen gevel van het gebouw in kwestie, georiënteerd op het zuiden. Ook op het oosten en westen zijn vergelijkbare gekromde glaspanelen aangebracht



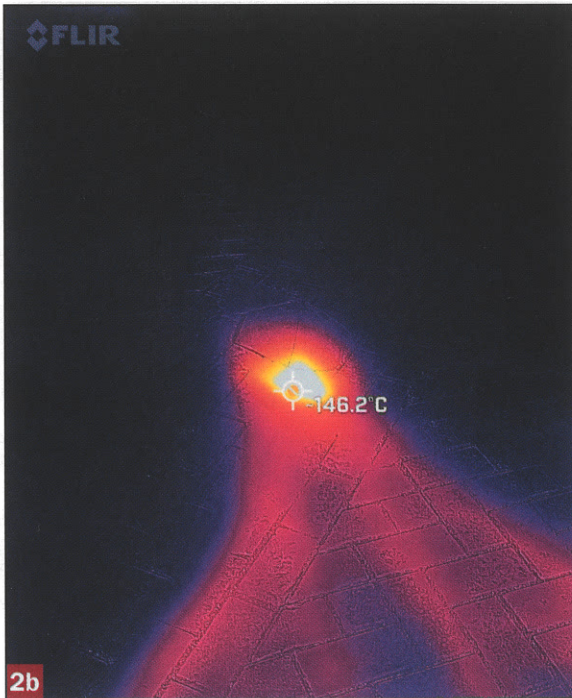


Foto brandpunt en IR-meting door opdrachtgever



Door warmte vervormd front van auto

Figuur 3 laat het effect zien op de voorzijde van een auto die in de baan van het zich verplaatsende brandpunt geparkeerd stond: het kunststof front van de auto is vervormd, wat wijst op een materiaaltemperatuur van zo'n 180 à 200°C gedurende een voldoende lange tijdsduur. Het was duidelijk dat hier sprake was van een zeer ongelukkige samenloop van geometrie, oriëntatie en glaseigenschappen, wat allerlei lastige vragen oproep. Bij het zoeken naar vergelijkbare situaties trof het projectteam het artikel in Bouwfysica uit 2018 aan. TU Delft werd benaderd om mee te denken over wat hier aan de hand was en hoe het opgelost kon worden.

### ANALYSE

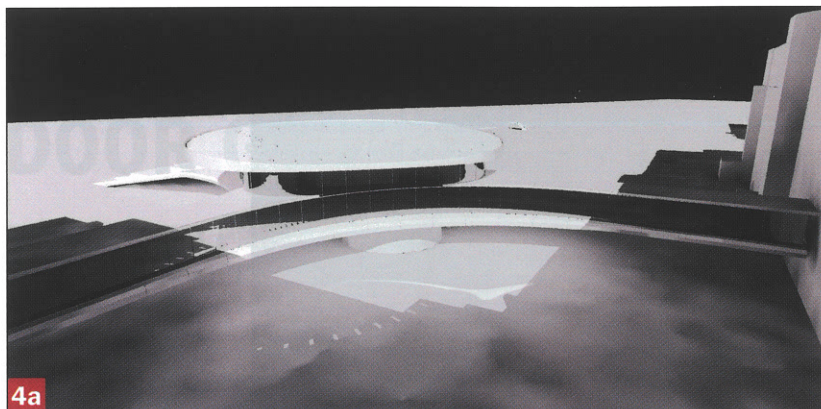
De 3D geometrie was beschikbaar via de architect (Rhino-3D). Het geometrische model en de juiste materiaaleigenschappen werden ingevoerd in Radiance v5.4a, gevalideerd

de software die gebruikt wordt om via *ray-tracing* reflecties en lichtniveaus accuraat te berekenen. De gebruikte techniek is analoog aan die in [2], een gedetailleerde studie van het fenomeen bij de Walkie Talkie. In onze simulatie is gebruik gemaakt van een onbewolkte hemel volgens het *ASHRAE Revised Clear Sky Model* (Tau Model) [3] met een veiligheidsfactor 1,33 en een vergelijking met de dataset van meteorostation Cabauw, dat onderdeel uitmaakt van het *Baseline Surface Radiation Network* waar de zonnestraling met zeer nauwkeurige instrumenten wordt gemeten [4]. Figuur 4a laat een virtuele snapshot zien van een specifiek moment in het jaar waarvan bekend was dat er op die dag een brandpunt zichtbaar was geweest. Verificatie van het rekenmodel was mogelijk doordat op het bestaande gebouw een goede webcam gemonteerd stond die overzicht had over het parkeerterrein, en waarvan de beelden bewaard waren gebleven (figuur 4b). Eveneens met behulp van Radiance werd een simulatie gedraaid van een compleet kalenderjaar, waarbij vanuit een bovenaanzicht van het gebouw de maximaal (waar dan ook) optredende zonnintensiteit werd geplotted als functie van datum en tijd (figuur 5). Dit gaf een beeld van de optelsom van directe en gereflecteerde zonnestraling op een horizontaal vlak. Uit de schaal (oplopend tot 2500 W/m<sup>2</sup>) is al zichtbaar dat de totale intensiteit een factor 4 hoger kan zijn dan die van directe horizontale zonnestraling, die in de maanden waarin het schadefenomeen zich voordeed een waarde van zo'n 700 à 800 W/m<sup>2</sup> kan bereiken. Een verder resultaat was dat er duidelijk momenten in het jaar en gedurende de dag aan te wijzen waren waarop de bundeling optrad.

### PARAMETRISCH MODEL

Een complementaire en nieuwe aanpak die werd gekozen was om ook een parametrische reconstructie van de reflecties in Rhino-Grasshopper te bouwen (figuur 6). Er werd een kunstmatige bundel parallelle zonnestraling op de gevel "afgevuurd", waarvan per straal één reflectie werd berekend en gevisualiseerd. Via schuifknoppen in het model kon eenvoudig de datum en kloktijd verzet worden, waar-





4a



4b

Simulatie in Radianc (boven) vanuit dezelfde gezichtshoek als de webcam op de bestaande bebouwing (onder)

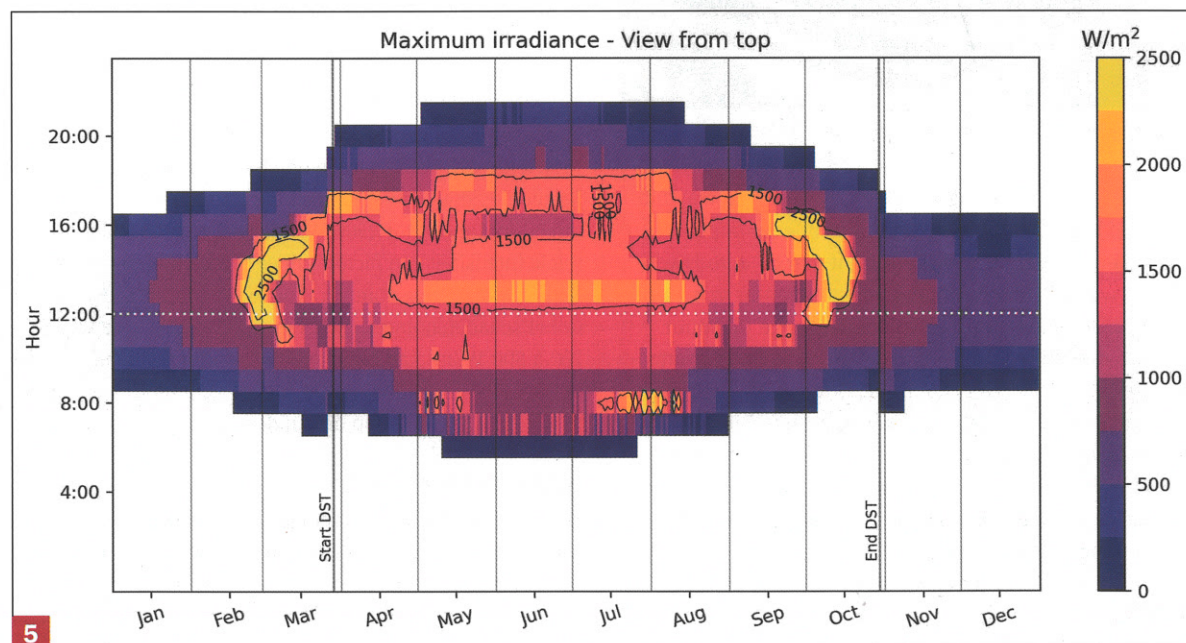
na de zonnehoek zich aanpaste en de bijbehorende reflecties zonder noemenswaardige rekentijd werden getekend. Bijzondere patronen werden zichtbaar (figuur 7), en het werd duidelijk dat hier ook wel van een ongelukkige samenloop van geometriekeuzes sprake moest zijn. Met het Grasshopper-script in Rhino 3D<sup>1</sup> kon snel worden

<sup>1</sup> Geïnteresseerden kunnen de code van het parametrische model bij de auteurs van dit artikel verkrijgen. Via [gitlab.tudelft.nl](https://gitlab.tudelft.nl) is op verzoek meer data te downloaden.

bestudeerd hoe de reflecties en de bundeling in het brandpunt precies tot stand kwamen. Dit model hielp enorm bij het doorgronden van het probleem in het team van ontwerpers en opdrachtgever en het nadenken over oplossingen. Wat lastig bleef was om de thermische effecten goed in te schatten, omdat deze afhankelijk zijn van de verplaatsingssnelheid van het brandpunt, de exacte waarde van de gebundelde zonintensiteit, van de materiaaleigenschappen van het ontvangende object (kleur, absorptie, soortelijke warmte en warmtegeleidingscoëfficiënt) en de afgifte van warmte aan de omgeving [3]. De waargenomen schade stelde niet echt gerust, omdat deze niet eens in de zomer werd vastgesteld maar in het najaar. Wat waren de risico's op andere tijden in het jaar? Bestond er ook gevaar voor letsel? Simulaties hebben een beperkte nauwkeurigheid en zijn zeer afhankelijk van de ingevoerde geometrie en materiaaleigenschappen. Tijdens de bouw kunnen ook afwijkingen optreden ten gevolge van toleranties in de plaatsing van het glas, en dubbel glas kan een andere kromming hebben door verandering van spouwdruk [5]. De auteurs durfden het daarom niet aan om harde uitspraken te doen over maximale temperaturen en maximale zonintensiteit: een controlemeting was nodig. Inmiddels bleek echter dat in het hart van de wintermaanden het fenomeen niet zou optreden als gevolg van beschaduwing door de omliggende bebouwing. Dit gaf enige tijd om met elkaar na te denken over oplossingen tot eind februari van 2022.

### CONTROLEMETING

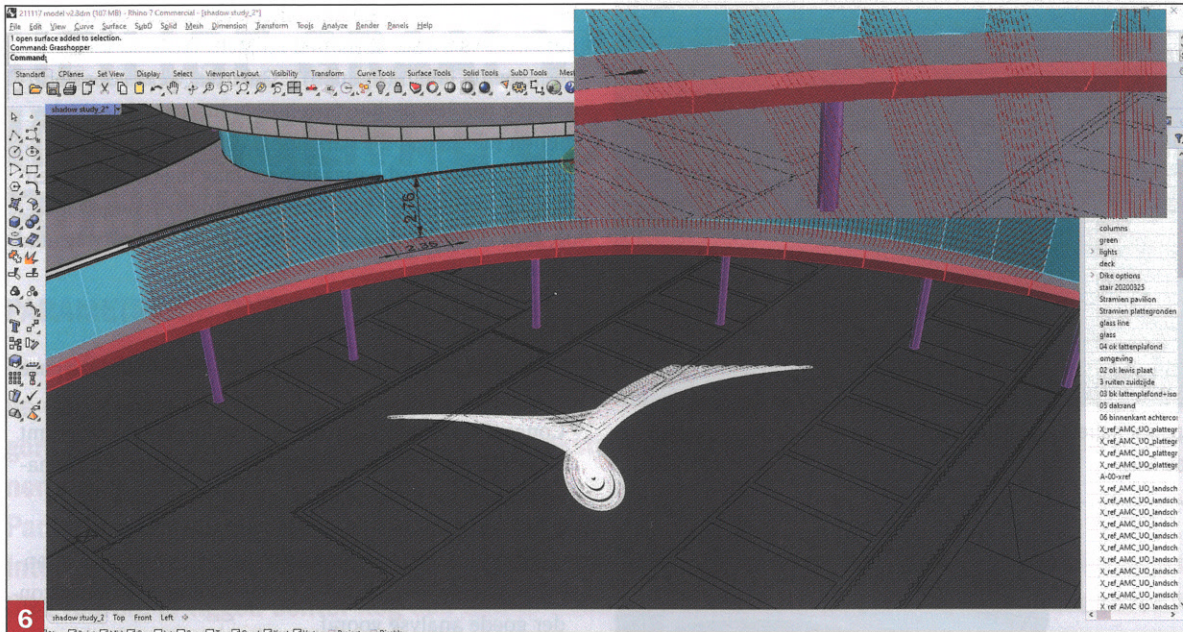
Begin maart 2022 begon het fenomeen - conform de simulaties in Radianc - inderdaad weer terug te komen, waardoor controlemetingen konden worden uitgevoerd. Er werd gebruik gemaakt van een pyranometer, een warmtebeeldcamera en een goede fotocamera waarmee gekalibreerd lichtniveaus konden worden vastgesteld. De parkeervakken in de voorspelde gevarezone werden inmiddels door afzetting met steigermateriaal buiten gebruik gehouden (zie figuur 8 en figuur 9). De situatie bleek, vreemd genoeg, nog ernstiger dan gedacht: de



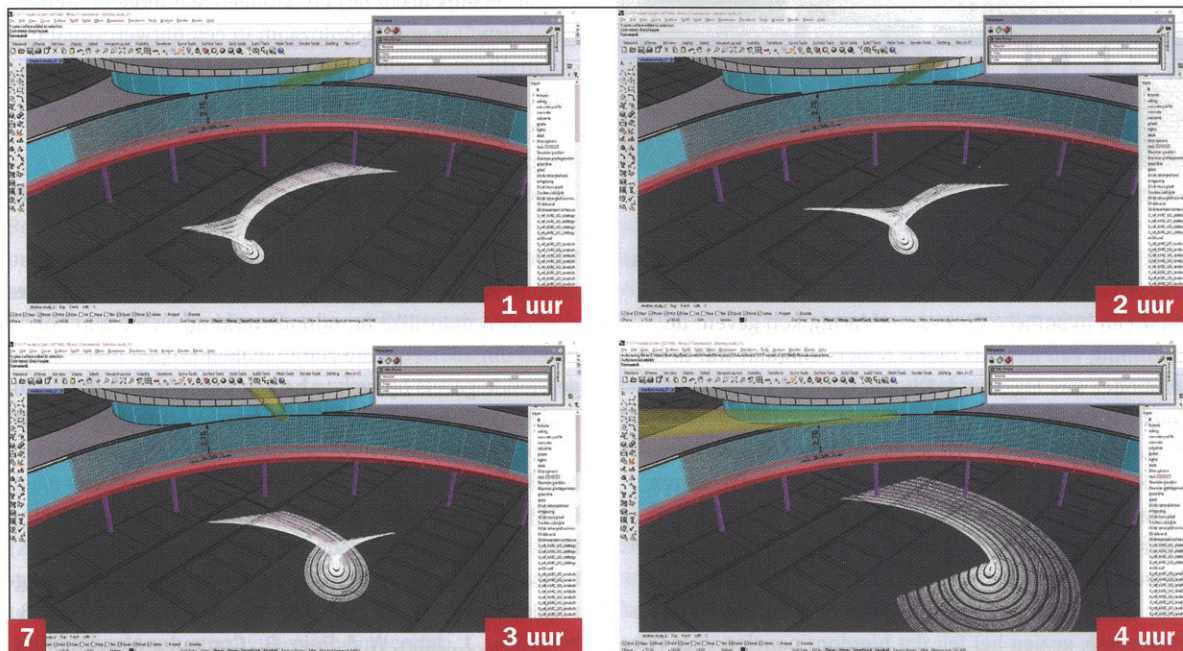
5

Jaaroverzicht zonbestraling van Radianc - op de horizontale as de datum, op de verticale as de tijd. De kleurcodering geeft de intensiteit van de bundeling in  $W/m^2$





Visualisatie van de zonreflecties en bundeling via Rhino-Grasshopper



Verschuiving en veranderende focus van brandpunt met tijdstip op de dag



Controlemeting met Pyranometer en fotografie

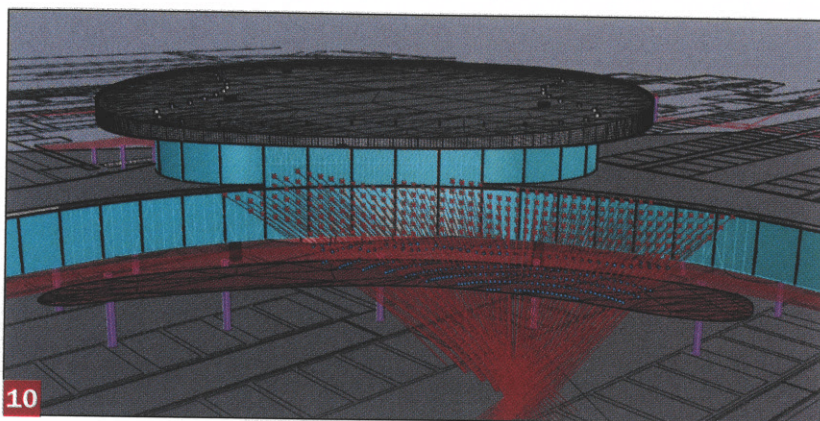


Controlefoto's van intensiteit brandpunten

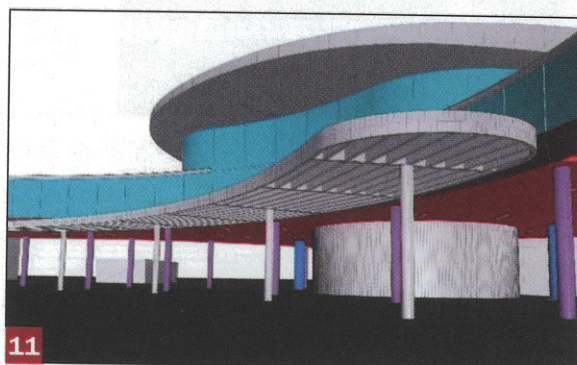
gefocusseerde streepvormige bundel van slechts één enkel glaspaneel gaf al een intensiteit van meer dan  $1300 \text{ W/m}^2$ , terwijl in het kruispunt van strepen de intensiteit ver boven het meetbereik van de gebruikte pyranometer bleek te liggen. Voorzichtige extrapolatie van de wel meetbare waarden gaf indicatief  $2800$  à  $3000 \text{ W/m}^2$  tijdens de piek van het brandpunt, wat het smelten van een

lichtgewicht kunststof front met een donkere kleur goed zou kunnen verklaren. Tijdens de meting werden oppervlaktetemperaturen van zo'n  $70^\circ\text{C}$  gemeten op het textiel dat als ondergrond werd gebruikt, bij een buitentemperatuur van zo'n  $7^\circ\text{C}$  en een directe horizontale zombestraling (GHI) van  $425 \text{ W/m}^2$ . Wetende dat deze intensiteit in de zomer veel hoger kan liggen, was dit niet geruststel-





10 Onderzoek effect pergola op parkeerterrein - de blauwe punten zijn snijpunten van de gereflecteerde zonnestrallen met de luifel



11 Architectonisch ontwerp pergola

lend. Maar waarom gaf het rekenmodel in Radiance toch nog een onderschatting van 300 tot 500 W/m<sup>2</sup>? Er was maar één hypothese die een verklaring kon geven: de kromming van het glas moest anders zijn dan wat in het 3D-model was ingevoerd. Dit zou ook het streep patroon van de reflecties verklaren. Nogmaals navraag doen bij de leverancier leerde ons dat in de zuidgevel, die een straal van  $R = 25$  m beschreef, inderdaad glaspanelen waren geplaatst met een iets van het bestek afwijkende kromtestraal, namelijk  $R = 22$  m, een buigstraal die ook voor de westgevel was gebruikt. Overigens was dit binnen de door de leverancier aangegeven toleranties. Een begrijpelijke keuze, gezien het feit dat hierdoor panelen voor twee gevels met één mal konden worden gebogen, wat een aanzienlijke kostenbesparing opleverde en met het blote oog toch niet waarneembaar zou zijn. Hier sloeg de wet van Murphy helaas onverbiddelijk toe: bij reconstructie van de iets afwijkende kromtestraal van de individuele glaspanelen in Rhino-Grasshopper bleek dat dit inderdaad precies voor de extra scherpe bundeling van zonnestrallen zorgde ten opzichte van de al kritieke situatie in de eerder gemaakte rekenmodellen. Deze extra bundeling verklaarde de resultaten van de meting. Maatregelen waren dus zeker nodig.

### OPLOSSINGEN

In de winter waren ondertussen diverse alternatieve oplossingsrichtingen bedacht in brainstormsessies met alle betrokken partijen, variërend van matte folie op de buitenzijde van het glas, buitenzonwering in diverse configuraties, begroeiing van de gevel met groen, plaatsen van een pergola op kritieke punten (figuur 10), of aanpassingen van de inrichting van het parkeerterrein met bijvoorbeeld straatmeubilair. Het parametrisch model bleek

hier een snelle en bruikbare check te kunnen bieden op het effect van deze varianten en hielp met de exacte vormgeving ervan (figuur 11). Gekozen werd voor herinrichting van het parkeerterrein, om hiermee de kritieke punten niet langer als parkeerplaats aan te wijzen. De kans op letsel werd aanvaardbaar laag ingeschat, gezien de korte verblijftijd van personen op de beschreven locatie, plus de waarschuwendende werking die van de warmte zelf uitgaat.

### CONCLUSIES

De belangrijkste lessen voor bouwfysici die uit deze case getrokken worden:

- Concaaf gekromd glas richting zuid, west of oost vormt een reëel risico op bundeling van zonlicht tot een schadelijk niveau. Gebogen glas geeft hierbij een sterkere bundeling dan vlakglas en dus een hoger risico.
- Of er wel of geen probleem optreedt is heel sterk afhankelijk van de geometrie en tamelijk onvoorspelbaar zonder goede analyse vooraf.
- De combinatie van traditionele ray-tracing (langzaam maar redelijk accuraat) en parametrisch model ("quick and dirty") is zeer behulpzaam in een ontwerpsituatie, of in dit geval, achteraf bij het zoeken naar een passende oplossing.
- Een rekenmodel is altijd een vereenvoudiging van de werkelijkheid: wees kritisch en realiseer je dat een model soms te optimistische resultaten kan geven.

We hopen dat met deze publicatie in Bouwfysica nu voldoende aandacht is gegeven aan het fenomeen van zonreflecties en mogelijke brandpuntwerking, en we zijn ook bereid om adviseurs die zelf te maken krijgen met gekromde gevels op weg te helpen deze analyse voor hun project zelf uit te voeren met de beschikbare software. ■

### BRONNEN

- [1] Schipper, Hordijk, Turrin, Mureau, Fransen & Van Rhijn (2018), Parametrisch-geometrische modellen voor beoordeling van zonreflecties en andere bouwfysica-vraagstukken, NVBV Bouwfysica, jaargang 29, nummer 1, p2-6
- [2] Zhu, J., Jahn, W. & Rein, G., Computer simulation of sunlight concentration due to façade shape: application to the 2013 Death Ray at Fenchurch Street, London, Journal of Building Performance Simulation (2018) doi:10.1080/19401493.2018.1538389
- [3] Brembilla, E., & Rastogi, R., (2020), Weather Data for Urban Solar Convergence Analysis, Glasgow: CIBSE Technical Symposium April 16-17
- [4] Driemel, A., e.a., Baseline Surface Radiation Network (BSRN): structure and data description (1992–2017), Earth Syst. Sci. Data, 10, 1491-1501, doi:10.5194/essd-10-1491-2018, 2018
- [5] Danks, R. & Good, J., Urban Scale Simulations of Solar Reflections in the Built Environment: Methodology & Validation. in Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture & Urban Design SimAUD 2016, London (2016)
- [6] Danks, R., Good, J., & Sinclair, R., (2016), Assessing reflected sunlight from building facades: A literature review and proposed criteria, Building and Environment, 103, 193-202, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.017>