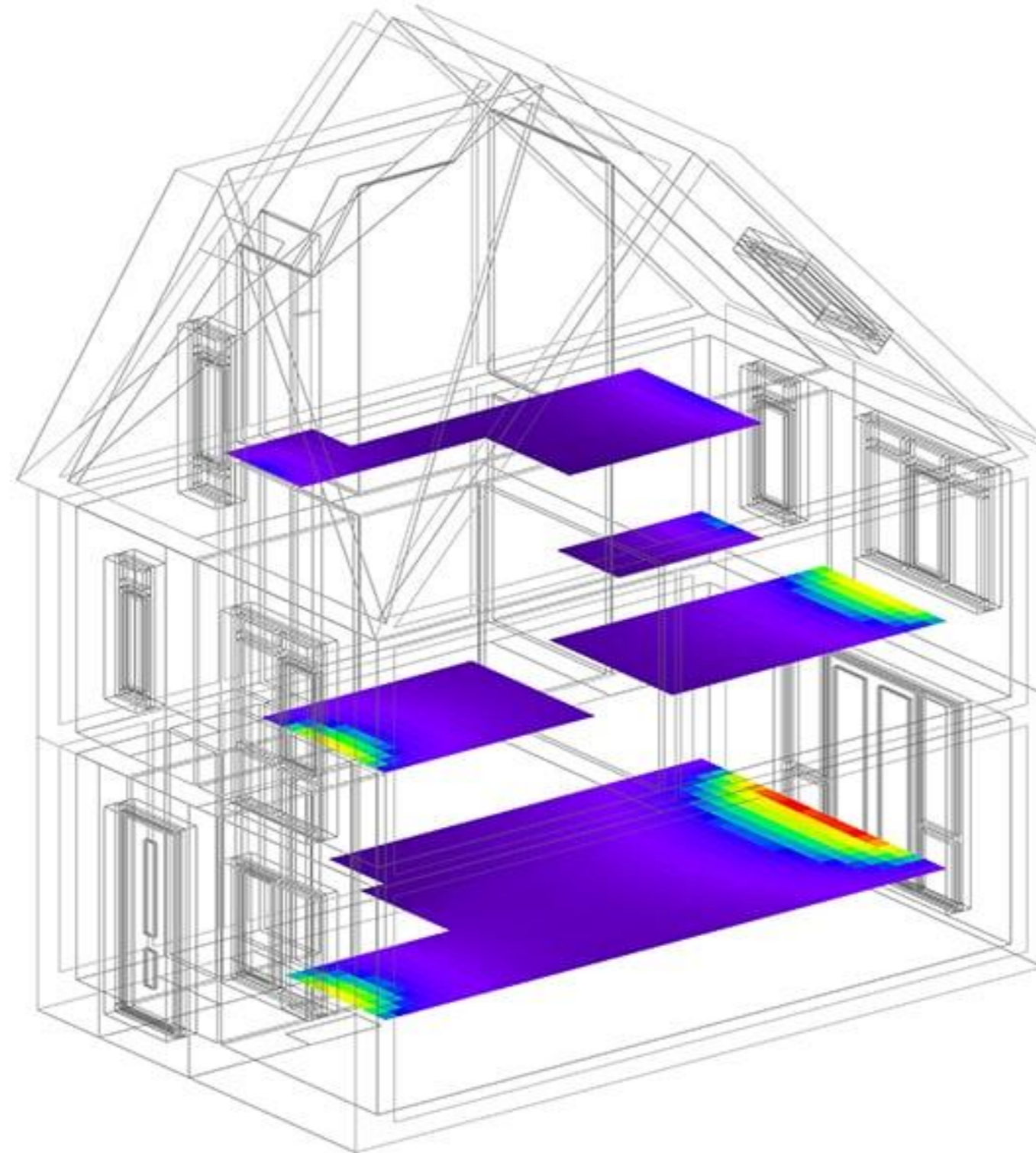


Accelerad: 'De supersnelle rekenkern voor daglichtfactorberekeningen'

Een onderzoek naar de effecten van verschillende omstandigheden op de nauwkeurigheid van daglichtfactorresultaten met Accelerad.



Inleiding

NEN-EN 17037: De nieuwe daglichtnorm

Vanaf 1 januari 2024 zal de nieuwe Omgevingswet van kracht zijn, met onder andere het Besluit Bouwwerken Leefomgeving (Bbl).

Een van de toekomstige wijzigingen heeft betrekking op de bepaling van de daglichttoetreding in nieuw te bouwen gebouwen. De huidige norm voor nieuwbouw, NEN 2057 (equivalente daglichtoppervlakte), wordt vervangen door de Europese norm NEN-EN 17037 (daglichtfactor). De nieuwe norm wordt mogelijk vanaf 1 juli 2024, of nog wat later, van kracht.

Voor het correct toepassen van de nieuwe norm is het essentieel om geschikte software te gebruiken voor het berekenen van daglichtfactoren. DGMR Software heeft onlangs de module 'daglichtfactor' ontwikkeld, die beschikbaar is in hun programma 'Gebouwprestatie'. Met deze module kunnen gebruikers de daglichtfactor in gebouwen berekenen met behulp van de rekenkernen Radiance of Accelerad.

Het onderzoek richt zich op Accelerad, een rekenkern gebaseerd op de rekenmethodiek en algoritmes van Radiance. Accelerad onderscheidt zich door het gebruik van de grafische videokaart in plaats van de processor voor het berekenen van de daglichtfactor. Dit leidt tot aanzienlijk kortere berekeningstijden in vergelijking met Radiance, maar er kunnen lagere daglichtfactorresultaten optreden. Om deze problematiek aan te pakken, is de volgende hoofdvraag geformuleerd:

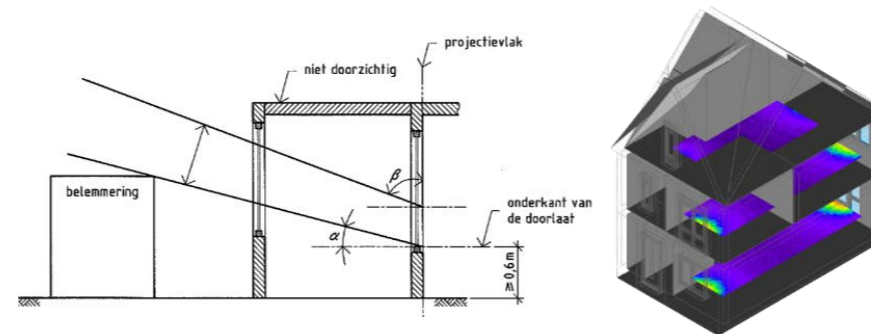
"Onder welke voorwaarde levert Accelerad resultaten die betrouwbaar genoeg zijn om in de praktijk te gebruiken?"

Waarom een nieuwe bepalingmethode?

NEN 2057 beoordeelt de daglichtkwaliteit aan de hand van het equivalente daglichtoppervlak en houdt geen rekening met interne lichtomstandigheden. Het legt de nadruk op het meten van de potentiële hoeveelheid daglicht die door ramen kan binnendringen, zonder rekening te houden met de daadwerkelijke hoeveelheid aanwezig daglicht in een ruimte.

De nieuwe daglichtnorm NEN-EN 17037 beoordeelt de daglichtkwaliteit aan de hand van de daglichtfactor. Met de beoordeling van de daglichtfactor wordt rekening gehouden met factoren zoals de oriëntatie en de vorm van het gebouw, obstakels, de lichttoetredingsfactor en reflectiefactoren.

De daglichtfactor biedt een nauwkeuriger en realistischer beeld van de hoeveelheid daglicht in een gebouw. Dit helpt ontwerpers en bouwers om beter te voldoen aan de behoefte aan voldoende daglicht in binnenruimtes.



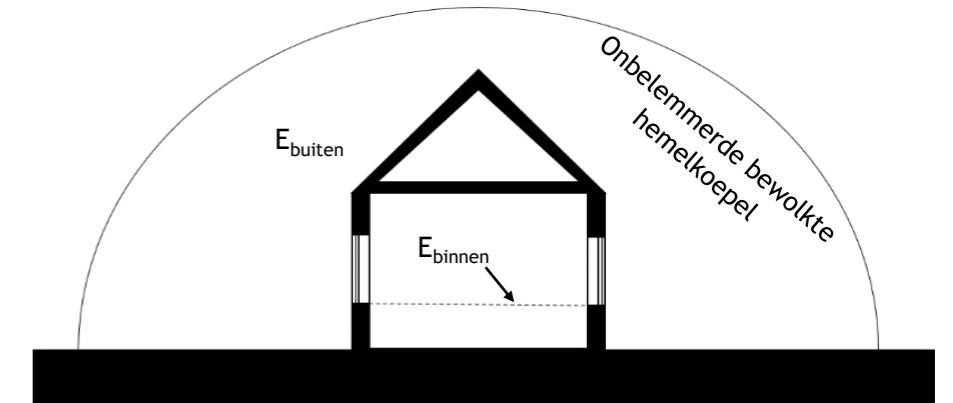
Figuur 1. Huidige bepalingmethode (rechts) NEN 2057 en de nieuwe bepalingmethode (links) NEN-EN 17037

Wat is de daglichtfactor?

De daglichtfactor is een maatstaf voor de hoeveelheid licht dat vanuit een daglichtopening in een ruimte valt ten opzichte van de hoeveelheid licht dat in het vrije veld aanwezig is, uitgaande van een bewolkte hemelkoepel.

De daglichtfactor wordt uitgedrukt in een percentage, afgerond op één decimaal en wordt conform de NEN-EN 17037 in de volgende formule geschreven:

$$DF = \frac{E_{binnen}}{E_{buiten}} * 100$$



Figuur 2. Schematische weergave daglichtfactor

Radiance en Accelerad

Radiance en Accelerad zijn rekenkernen die worden gebruikt voor het berekenen van de daglichtfactor in gebouwen. Ze maken allebei gebruik van de berekeningsmethode 'backward raytracing'.

Accelerad is gebaseerd op Radiance, maar onderscheidt zich door het gebruik van de grafische videokaart in plaats van de processor voor het maken van berekeningen. Beide rekenkernen maken gebruik van een 'Ambient calculation' om de daglichtfactor in gebouwen te kunnen bepalen. Waarbij de 'ambient parameters' een belangrijk onderdeel zijn.

In dit onderzoek is er afgebakend naar de ambient-parameters die door de gebruiker aanpasbaar zijn en van grote invloed zijn op het resultaat van de daglichtfactor.

Het gaat om de volgende parameters:

- ab: ambient bounces
- aa: ambient accuracy
- ar: ambient resolution
- ad: ambient divisions
- as: ambient super-samples

Werkwijze en onderzoek

Ambientparameters

Dit onderzoek maakt gebruik van Radiance als basis vanwege de betrouwbare resultaten die worden ondersteund door talrijke onderzoeken. De ambientparameter-instellingen hebben invloed op zowel de nauwkeurigheid als de snelheid van de daglichtsimulaties.

Voor een nauwkeurige bepaling van de daglichtfactor worden doorgaans de 'very accur' instellingen gebruikt.

In tabel 1 worden nuttige instellingen weergegeven die kunnen helpen bij het maken van keuzes die het eindresultaat beïnvloeden.

Tabel 1. Bruikbare ambientparameter instellingen

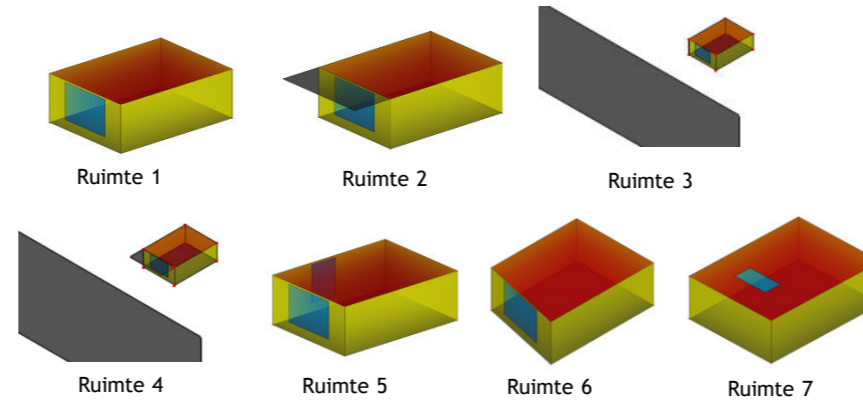
Parameter	Omschrijving	Min	Fast	Accur	Very Accur	Max
-ab	Ambient bounces	0	0	2	5	8
-aa	Ambient accuracy	0,5	0,2	0,15	0,08	0
-ar	Ambient resolution	8	32	128	512	0
-ad	Ambient divisions	0	32	512	2048	4096
-as	Ambient super-samples	0	32	256	512	1024

* Voor meer informatie over de instellingen wordt er verwezen naar de 'Radiance tutorial' van A. Jacobs.

Om de hoofdvraag te beantwoorden, is er onderzoek uitgevoerd naar het aanpassen van de ambientparameters in Accelerad met als doel vergelijkbare resultaten te behalen als Radiance.

Radiance diende als basis voor het vergelijken van Accelerad, met als doel de invloed van de ambientparameters op het resultaat van de daglichtfactor met Accelerad te analyseren. Deze analyse werd uitgevoerd op een testset van de NEN.

Voor een visuele weergave van de ruimtes in de testset, raadpleeg figuur 3.



Figuur 3. Visuele weergave testset

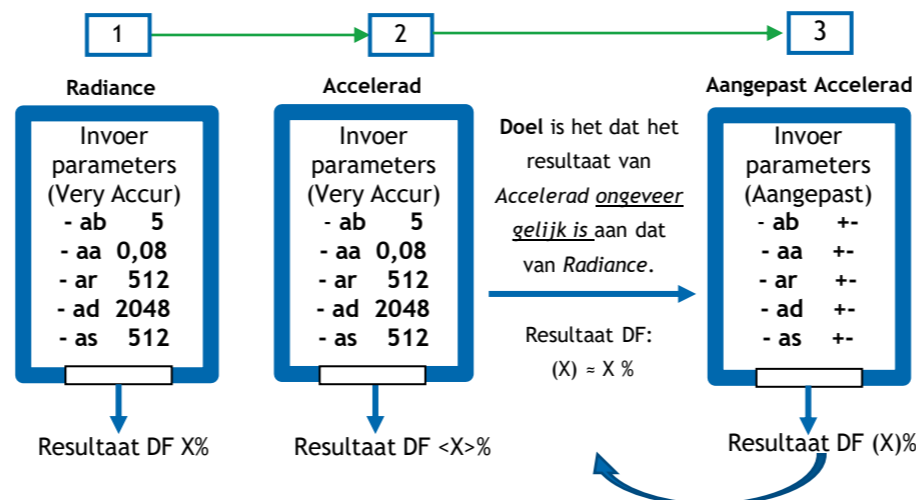
Rekenrandvoorwaarden

De berekeningen werden uitgevoerd volgens de richtlijnen van de NPR4057 en de NEN-EN 17037, tenzij ander is aangegeven.

Het rekenraster werd ingesteld op 100x100 mm om een nauwkeurigere benadering van de daglichtfactor mogelijk te maken, dankzij een hoger aantal aan rekenpunten.

Combinatie van instellingen

Na het evalueren van alle ambientparameters zijn gunstige combinaties van instellingen gegenereerd om de optimale configuratie voor Accelerad te bepalen. Een schematische weergave van deze methode is te vinden in figuur 4.



Figuur 4. Schematische weergave methode

Betrouwbaarheidsgrens

Op dit moment is er nog geen specifieke marge van procentuele afwijking vastgesteld vanwege beperkte beschikbare data van de resultaten van de NEN testset. De NEN-daglichtcommissie werkt aan een validatietraject om een passende afwijkingmarge te bepalen. Gezien mogelijke variaties in resultaten tussen verschillende softwarepakketten en het ontbreken van een vastgestelde tolerantie, wordt in dit onderzoek een tolerantie van +/- 0,1 verschil tussen de rekenkernen als een aanvaardbaar betrouwbaarheidsniveau beschouwd.

Uit het onderzoek bleek dat bepaalde instellingen van de ambientparameters in Accelerad een aanzienlijke invloed hadden op het resultaat.

Aan de hand van deze bevindingen zijn er verschillende combinaties tot stand gekomen. Deze worden weergegeven in tabel 2.

Tabel 2. Combinaties van instellingen in Accelerad die overeenkomen met 'very accur' Radiance.

Ambientparameters	-ab	-aa	-ar	-ad	-as
Combinatie ACC 1	5	0,00	512	2048	512
Combinatie AAC 2	5	0,00	512	1024	512
Combinatie ACC 3	5	0,00	512	512	256
Combinatie ACC 4	5	0,00	256	512	512
Combinatie ACC 5	5	0,00	256	512	256
Combinatie ACC 6	5	0,00	128	512	128

Alle combinaties zijn getoetst op de testset van de NEN, waarbij elke combinatie overeenkomende resultaten had in vergelijking met 'very accur' Radiance. De combinaties onderscheidden zich van elkaar door rektijd. Voor het onderzoek is de meest geoptimaliseerde combinatie uitgebreid getoetst, het gaat hierbij op combinatie ACC6, weergegeven in tabel 2.

Test van de combinatie

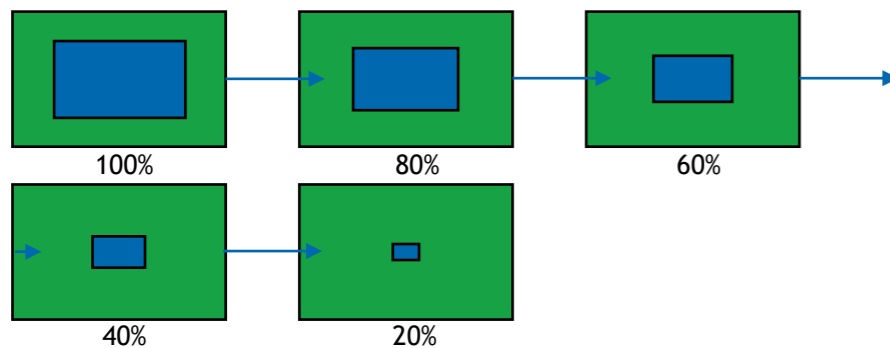
Bouwkundige parameters

De geoptimaliseerde combinatie genaamd ACC6 bestaat uit specifieke instellingen van ambient-parameters waarmee Accelerad vergelijkbare resultaten kan behalen als de 'very accur' instellingen van Radiance. Het is echter belangrijk om te onderzoeken of de ACC6-combinatie geen afwijkende resultaten vertoont in vergelijking met Radiance, vooral wanneer er bouwkundige invloeden zijn die doorgaans in de simulatie aangepast kunnen worden. Het is essentieel om te achterhalen of er eventuele verschillen kunnen optreden tussen ACC6 en 'very accur' Radiance bij het wijzigen van de bouwkundige parameters.

De combinatie is onderzocht op de volgende bouwkundige parameters: glasoppervlak, LTA-waarden, reflectiefactoren en ruimtegeometrieën. Voor het onderzoeken van de bouwkundige parameters zijn de ruimten van de NEN testset gebruikt, behalve bij ruimtegeometrieën.

Glasoppervlak

Om het effect van het glasoppervlak op zowel de resultaten van 'very accur' Radiance als ACC6 te onderzoeken, worden de glasoppervlaktes van testruimten met 20% verkleind. Dit deelonderzoek richt zich uitsluitend op het glasoppervlak, waarbij de kozijnen buiten beschouwing worden gelaten. De werkwijze wordt schematisch weergegeven in figuur 5.



Figuur 5. Schematische weergave werkwijze glasoppervlak

LTA-waarden

Voor de LTA-waarde is in overleg met DGMR bepaald om de testruimten door te rekenen met verschillende LTA-waarden die in de praktijk voorkomen. In tabel 3 worden deze waarden overzichtelijk weergegeven.

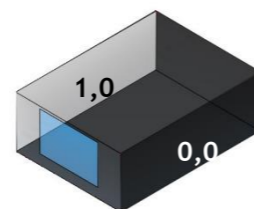
Tabel 3. Verschillende LTA-waarden

Soort beglazing	LTA-waarde
HR ++ $U_g = 1,1$	0,8
HR ++ $U_g = 1,0$ Zonwerend $g = 0,35$	0,7
Volgens NEN-EN 17037	0,6
Triple $U_g = 0,5$ Zonwerend $g = 0,25$	0,5

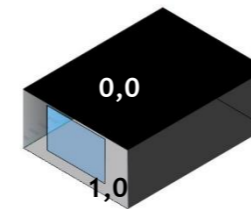
Reflectiefactoren

Binnen het Bbl kunnen de reflectiefactoren niet worden aangepast, omdat de waarden al zijn vastgesteld. Desondanks zijn er twee cases met extreme reflectiefactorwaarden opgesteld om de mogelijke invloed van reflectiefactoren op de resultaten tussen 'very accur' Radiance en ACC6 te onderzoeken. In case 1 wordt één wand in de NEN-testset spiegelen (reflectiefactor 1,0) gemaakt en één wand volledig absorberend (reflectiefactor 0,0). Zie figuur 6 voor een voorbeeld.

In case 2 worden de reflectiefactoren van de vloer en het plafond aangepast, waarbij de vloer een reflectiefactor van 1,0 (spiegelen) krijgt en het plafond een reflectiefactor van 0,0 (volledig absorberend). Zie figuur 7 voor een voorbeeld. Als de resultaten nauwelijks verschillen, kan worden aangenomen dat het aanpassen van andere reflectiefactoren geen invloed heeft op de resultaten tussen 'very accur' Radiance en ACC6.



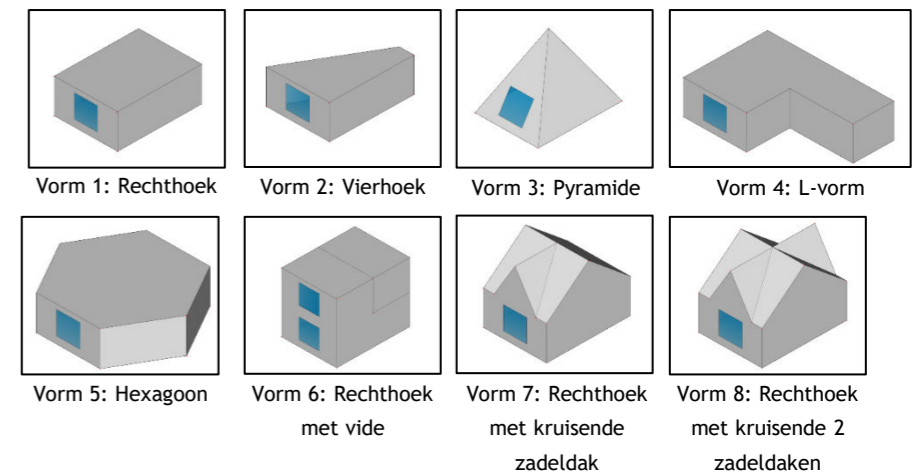
Figuur 6. Case 1: Schematische weergave testruimte met één wand spiegelen en één wand volledig absorberend.



Figuur 7. Case 2: Schematische weergave testruimte met spiegelen vloer en een volledig absorberend plafond.

Ruimtegeometrieën

De resultaten van de daglichtfactor kunnen worden beïnvloed door verschillende ruimtegeometrieën. In overleg met DGMR zijn diverse ruimtevormen opgesteld, waarbij extreme scenario's worden gebruikt om een worstcase-berekeningen uit te voeren. Met behulp van deze ruimtevormen wordt onderzocht of de geometrie van een ruimte invloed heeft op de resultaten tussen ACC6 en 'very accur' Radiance. De berekende ruimten worden weergegeven in figuur 8.



Figuur 8. Verschillende ruimtegeometrieën

Bevindingen

Over het algemeen blijkt uit het onderzoek dat de onderzochte bouwkundige parameters, zoals glasoppervlak, LTA-waarde, reflectiefactoren en ruimtegeometrieën, vrijwel geen effect hebben op het verschil in resultaten tussen ACC6 en 'very accurate' Radiance.

De verschillen die optreden bedragen maximaal +/- 0,1, wat binnen de betrouwbaarheids grens van dit onderzoek valt.

Validatie van de combinatie

Validatie

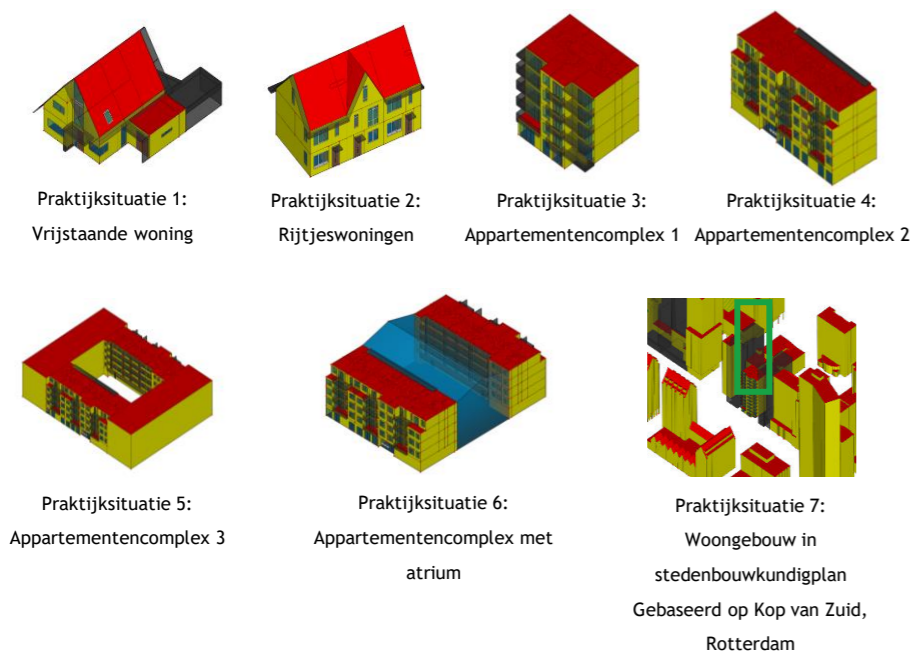
De praktijksituaties zijn gericht op de geoptimaliseerde combinatie van Accelerad, genaamd ACC6, die uitvoerig is onderzocht. Uit de deelonderzoeken van de bouwkundige parameters blijkt dat deze geen invloed hebben op de betrouwbaarheid van de resultaten van de ACC6-combinatie.

Het hoofddoel van dit deelonderzoek is om te bepalen of ACC6 vergelijkbare resultaten kan behalen als 'very accur' Radiance, met name in praktijksituaties.

In samenspraak met DGMR zijn zeven praktijksituaties geselecteerd die een toenemende complexiteit vertonen. Deze situaties zullen worden geanalyseerd met behulp van ACC6 en zowel met 'very accur' Radiance als Accelerad, om te bepalen of ACC6 geschikt is voor praktijksituaties.

Praktijksituaties

De praktijksituaties die in dit onderzoek worden gebruikt, worden weergegeven in figuur 9.



Figuur 9. 3D weergave praktijksituaties

Resultaat

In deze Whitepaper worden slechts enkele resultaten van de praktijksituaties getoond, resultaten van de overige praktijksituaties zijn beschikbaar op aanvraag.

De resultaten van de berekeningen worden weergegeven in tabelvorm, waarbij verschillende kleuren worden gebruikt om de resultaten te verduidelijken. In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de gebruikte kleuren.

Tabel 4. Legenda: kleuren

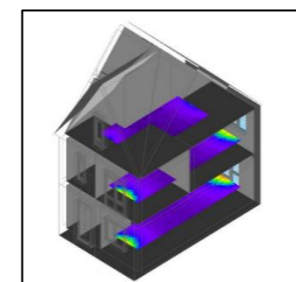
Kleur	Toepassing
Zwart	Resultaat 'very accur' Radiance (uitgangspunt).
Groen	Resultaat komt overeen met 'very accur' Radiance.
Oranje	Resultaat verschilt maximaal +/- 0,1 van 'very accur' Radiance.
Rood	Resultaat verschilt meer dan +/- 0,1 van 'very accur' Radiance.

Praktijksituatie 2: Rijtjeswoning B

Tabel 5 toont het resultaat van woning B, de middelste woning van de rijtjeswoningen.

Tabel 5. Resultaten rijtjeswoning B

Praktijksituatie 2: Rijtjeswoning B	'Very accur' Radiance	'Very accur' Accelerad	ACC6 (Accelerad)
Woonkamer	1,8	1,7	1,8
Slaapkamer 1	1,8	1,4	1,7
Hobbyruimte	1,8	1,6	1,8
Slaapkamer 2	1,2	1,0	1,2
Slaapkamer 4	1,0	0,9	1,1
Rekentijd	31m 7s	30s	13s



Figuur 10. Resultaat rijtjeswoning B

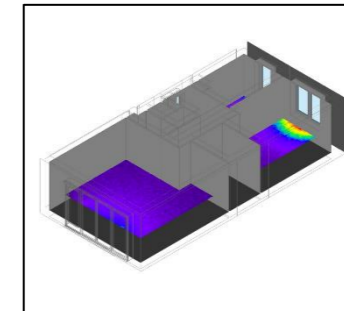
In ruimten met veel inwendige hoeken vertoont de combinatie ACC6 ten opzichte van 'very accur' Radiance een minimaal verschil van +/- 0,1. Daarnaast is ACC6 ongeveer 143,6 keer sneller in rekestijd dan 'very accur' Radiance en 2,3 keer sneller dan 'very accur' Accelerad.

Praktijksituatie 3: Appartementencomplex 1

Tabel 6 toont het resultaat van één appartement (2Asp) van het complex op de tweede verdieping.

Tabel 6. Resultaten Appartement 2Asp

Praktijksituatie 2: Rijtjeswoning B	'Very accur' Radiance	'Very accur' Accelerad	ACC6 (Accelerad)
Woonkamer	1,6	1,3	1,6
Slaapkamer 1	3,4	3,1	3,4
Slaapkamer 2	2,5	2,3	2,5
Rekestijd	12m 2s	40s	12s



Figuur 11. Resultaat appartement 2Asp

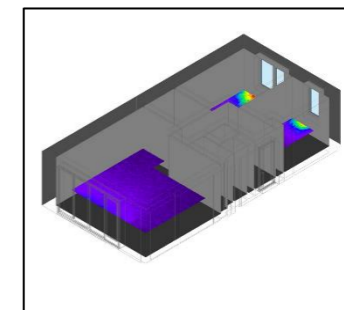
In rechthoekige ruimtes vertoont de combinatie ACC6 vrijwel geen verschil met 'very accur' Radiance. Voor deze situatie is er geen verschil in het resultaat tussen ACC6 en 'very accur' Radiance. Bovendien is ACC6 60,2 keer sneller in berekeningstijd dan 'very accur' Radiance en 3,3 keer sneller dan 'very accur' Accelerad.

Praktijksituatie : Woongebouw in een stedenbouwkundig plan

Tabel 7 toont het resultaat van appartement 4A, gelegen op de vierde verdieping van het woongebouw binnen een stedenbouwkundig plan.

Tabel 7. Resultaten Appartement 4A

Praktijksituatie 2: Rijtjeswoning B	'Very accur' Radiance	'Very accur' Accelerad	ACC6 (Accelerad)
Woonkamer	1,6	0,7	1,0
Slaapkamer 1	3,4	2,2	2,4
Slaapkamer 2	2,5	1,9	2,0
Rekestijd	57m 43s	1m 43s	14s



Figuur 12. Resultaat appartement 2Asp

Net als andere appartementen met rechthoekige ruimtes vertoont dit specifieke appartement, in deze praktijksituatie, geen verschil in resultaat tussen de combinatie ACC6 en 'very accur' Radiance. Verder is ACC6 in deze situatie 247,4 keer sneller in berekeningstijd dan 'very accur' Radiance en 7,4 keer sneller dan 'very accur' Accelerad.

Bevindingen

Uit de getoonde voorbeelden is er een maximale afwijking met het gebruik van ACC6 van +/- 0,1. Dit valt in binnen de betrouwbaarheidsgrens van dit onderzoek.

Conclusie en aanbevelingen

Conclusie

In de conclusie van dit afstudeeronderzoek wordt een antwoord gegeven op de volgende hoofdvraag:

“Onder welke voorwaarde levert Accelerad resultaten die betrouwbaar genoeg zijn om in de praktijk te gebruiken?”

Dit onderzoeksrapport heeft als hoofddoel te onderzoeken of Accelerad, een sneller alternatief voor Radiance, veilige en betrouwbare resultaten kan produceren bij het berekenen van de daglichtfactor. Het doel is om ervoor te zorgen dat Accelerad zonder enige twijfel over de betrouwbaarheid van de resultaten in de praktijk toegepast kan worden.

Ambient parameters

Uit het afstudeeronderzoek is gebleken dat Accelerad vergelijkbare resultaten kan behalen als Radiance door de ambientparameter-instellingen aan te passen.

Het aanpassen van deze parameters stelt gebruikers in staat een balans te vinden tussen nauwkeurigheid en rekentijd, afhankelijk van de gewenste resultaten en beschikbare computercapaciteit. De resultaten en bevindingen van dit onderzoek tonen aan dat met de volgende instellingen van de ambientparameters in Accelerad, zoals weergegeven in tabel 8, betrouwbare resultaten worden verkregen.

Tabel 8.
Combinaties van instellingen in Accelerad die overeenkomen met 'very accur' Radiance.

Ambientparameters	-ab	-aa	-ar	-ad	-as
Combinatie ACC 6	5	0,00	128	512	128

Bij het gebruik van de combinatie zoals vermeld in tabel 8 kan er, afhankelijk van de specifieke situatie, een verschil optreden van +/- 0,1. Momenteel zijn er geen officiële vereisten voor tolerantie van afwijkingen in de resultaten van de daglichtfactor tussen verschillende softwarepakketten. Dit onderzoek beschouwt een verschil van +/- 0,1 als betrouwbaar.

Op basis van de onderzoeksresultaten en bevindingen wordt geconcludeerd dat de gevonden combinatie van Accelerad resultaten levert die betrouwbaar genoeg zijn om in de praktijk te gebruiken.

Aanbevelingen

Er worden een aantal aanbevelingen gedaan aan de hand van het afstudeeronderzoek.

- Daglichtfactor berekeningen uitvoeren conform de NPR4057 en de NEN-EN17037, met uitzondering van het rekenraster. Men is vrij om een kleiner rekenraster dan 500x500 mm toe te passen. Voor dit onderzoek is een rekenraster van 100x100 mm gebruikt, omdat een kleiner raster een nauwkeuriger resultaat oplevert vanwege het grotere aantal rekenpunten.
- Om ervoor te zorgen dat Accelerad betrouwbare resultaten levert die geschikt zijn voor de praktijk, wordt het gebruik van de onderzochte combinatie (ACC6) aanbevolen, vanwege de vergelijkbare resultaten en aanzienlijke tijdsbesparing in vergelijking met Radiance.
- Voor het gebruik van Accelerad is een laptop met een Nvidia grafische videokaart vereist. Uit het afstudeeronderzoek blijkt uit een externe validatie dat het gebruik van een krachtigere videokaart dan degene die in dit onderzoek is gebruikt (GeForce GTX 1050 Ti), leidt tot nog nauwkeurigere resultaten. Waarbij het verschil van +/- 0,1 verwaarloosbaar wordt. Het wordt aanbevolen om een laptop te gebruiken met vergelijkbare of betere specificaties.

DGMR

Zo'n 250 ingenieurs en adviseurs willen de beste in hun vak zijn. We dagen onszelf elke dag uit om met onverwachte oplossingen te komen. Doeltreffend voor de samenleving. Vernieuwend voor opdrachtgevers. Cruciaal voor de comfortabele leefomgeving van vandaag én morgen.

DGMR is een onafhankelijk ingenieursbureau in Nederland. Ons bureau zoekt niet de gebaande paden, maar de grenzen van mogelijkheden op. We gaan graag samen met onze opdrachtgevers de uitdaging aan om iets te bedenken dat van blijvende waarde is. Met nadrukkelijk aandacht voor duurzaamheid, veiligheid en gezondheid.

Afstuderen bij DGMR

Betekent zelfstandig een onderzoek opzetten en uitwerken, met deskundige begeleiding indien nodig. De informele sfeer geeft een prettige werkomgeving waar naast vakinhoudelijke kennisontwikkeling ook veel plek is voor zelfontwikkeling.

Uniek is daarbij de combinatie van software en bouwfysica. We hebben zowel programmeurs als inhoudelijke expertise en kunnen zo samen gebruikersvriendelijke en goede onderbouwde software ontwikkelen. Op dat grensvlak is Rishano afgestudeerd.

Voor meer informatie over dit onderzoek kunt u contact opnemen met:

Rishano Moti

Afstudeerder bouwfysica & software
Student bouwkunde aan Hogeschool Rotterdam

Gertjan Verbaan

Unitmanager & Senior Adviseur Bouwfysica DGMR Bouw
088 346 76 50 | vb@dgmr.nl

Hans Bosch

Productmanager DGMR Software
hbc@dgmr.nl